

Tesi di Dottorato di ricerca in  
Tecnologia dell'Architettura ICAR 12  
XX Ciclo

Coordinatore: Prof. Graziano Trippa  
Anni 2005 - 2007

---

# Film d'Architettura: uso di strati con funzione di coating attivi per il sistema involucro.

Un modello di simulazione a supporto della scelta  
progettuale

Dottoranda: Valeria Zacchei

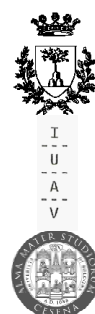
Tutore: Prof. Giovanni Zannoni

Co-Tutore: Prof. Giuseppe Morabito

Università degli Studi di Ferrara

Università IUAV di Venezia

Università degli Studi di Bologna



Università degli Studi di Ferrara  
Università IUAV di Venezia  
Università degli Studi di Bologna



I  
U  
A  
V



Tesi di Dottorato di Ricerca in  
Tecnologia dell'Architettura

XX CICLO

**FILM D'ARCHITETTURA: USO DI STRATI CON FUNZIONE DI COATING  
ATTIVI PER IL SISTEMA INVOLUCRO.**  
Un modello di simulazione a supporto della scelta progettuale.

Coordinatore: **Prof. Graziano Trippa**

Dottoranda: **Valeria Zacchei**

Tutore: **Prof. Giovanni Zannoni**

Co-Tutore: **Prof. Giuseppe Morabito**

*Valeria Zacchei*  
*Giovanni Zannoni*  
*Giuseppe Morabito*

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Anni 2005/2007



---

#### Abstract:

I film per l'involucro edilizio rappresentano una soluzione tecnica dai molti possibili effetti sulla prestazione globale del sistema. Dato che il loro impiego è recente e spesso sperimentale, non esiste ancora un bagaglio consolidato di esperienze a riguardo. Obiettivo della ricerca è sviluppare un supporto progettuale all'uso di tale innovazione di prodotto. I risultati raggiunti dalla ricerca sono:

- a) un sistema di dati di film per l'involucro edilizio, organizzati e finalizzati all'architettura;
- b) una strumentazione sperimentale, simile ad un modello semplificato di previsione del comportamento termico-luminoso del sistema involucro comunemente impiegate per il controllo energetico in fase ideativa, sviluppato in modo da controllare il progetto al variare dei film impiegati per il controllo del flusso solare. Questo è stato possibile realizzarlo utilizzando il sistema dati del punto a).

Il team di ricerca del Martin Centre di Cambridge, riconoscendo l'utilità dei risultati di questa tesi, ha deciso di inserire nel modello ufficiale un piccolo set di esempi realizzati dalla strumentazione prodotta.

0. Introduzione	11
Collaborazioni e ringraziamenti	19
<b>PARTE 1. Stato dell'arte: ambiti e dinamiche</b>	
I. Impostazione del problema: Differenziazione e specializzazione degli strati che compongono il sistema involucro	
1.0 Abstract	
1.1 Un panorama dell'innovazione per l'involucro edilizio.....	23
1.1.1 Complessità del sistema: stratificazione e specializzazione delle parti .....	24
1.1.2 Disponibilità di tecnologie e conoscenze che confluiscono nell'involucro..	26
1.1.3 Spinta della ricerca e aspetto multidisciplinare.....	28
1.2 L'idea di involucro come successione di film sottili: genesi, linee evolutive .....	28
1.2.1 Tendenza ad accorpare più sotto-sistemi del sistema tradizionale in uno o più strati dotati delle corrispondenti prestazioni .....	30
1.2.2 La "scienza del piccolo", "microinnovazione" diffusa, consentita dai progressi tecnologici maturati .....	31
1.2.3 Tendenza ad affidarsi a materiali dal comportamento dinamico come fattori di "intelligenza".....	31
1.2.4 Tendenza ad affidarsi a superfici sempre più complesse e strutturate , che innovano materiali tradizionali .....	33
1.3 Sperimentazione e ricerca di un involucro come successione di film sottili .....	34
1.4 L'innovazione affidata a film funzionalizzati: alcuni esempi.....	35
1.4.1 Edificio Euralille, Arch. Jean Nouvel, 1994.....	37
1.4.2 Edificio Stadsparkasse, Arch. Bauer & Keller, 1999.....	41
1.4.3 Edificio La Defense, Arch. UN Studio, 2004.....	45
II. Stato dell'arte: Disponibilità di tecnologie e innovazione	
2.0 Abstract	

2.1 Trasferimento tecnologico.....	53
2.1.1 Categorie di innovazione nel caso di alcuni strati funzionalizzati .....	55
2.1.2 Principali traiettorie del trasferimento tecnologico per gli strati funzionalizzati .....	57
2.2 Ricerca e Sviluppo come fattori chiave della politica industriale europea .....	59
2.3 Il settore delle costruzioni e le sue sinergie con altri settori di R&D(scenario europeo) .....	60
2.3.1 Nanotecnologie .....	63
2.3.2 Chimica Industriale .....	64
2.3.3 Industria per l'automobile .....	65
2.3.4 Industria elettronica .....	66
2.4 Scenari produttivi e di mercato .....	66
2.5 L'innovazione senza ricerca: il ruolo di sperimentazione e creatività (scenario italiano) .....	68
2.6 Come film e strati funzionalizzati stanno entrando nel mercato .....	69
<b>III. Proposizione del problema e metodologia di ricerca</b>	
3.0 Abstract	
3.1 Proposizione del problema .....	73
3.2 Obiettivi .....	76
3.3 Linea di ricerca .....	77
<b>PARTE 2. Costruzione di un sistema di dati</b>	
<b>IV. Metodologia I fase:</b>	
<b>Strati funzionalizzati e supporto</b>	
4.0 Abstract	
4.1 Gli strati funzionalizzati: materiali o prodotti? .....	87
4.2 Definizione degli Strati Funzionalizzati in Architettura .....	88
4.3 Tecniche di realizzazione .....	94

4.4 Tecniche di applicazione .....	95
4.4.1 metodi di Lay-up .....	96
4.4.2 Adesivi .....	97
4.4.3 Termosaldatura .....	98
4.4.4 Serigrafia .....	99
4.4.5 Cubic printing (Cubictura) .....	100
4.4.6 Stampa a caldo .....	101
4.4.7 Metallizzazione da fase vapore (Physical Vapor Deposition) .....	101
4.4.8 Deposizione chimica .....	103
4.4.9 Verniciatura .....	104
4.4.10 Spin coating .....	105
4.5 Caratteristiche principali del supporto: compatibilità con gli strati funzionalizzati (film, coating, trattamenti funzionalizzanti) .....	106
4.6 Le parti del sistema involucro .....	106
4.7 Gli effetti indotti nel costo .....	109

## V. Metodologia II fase:

### Gli strati funzionalizzati organizzati per prestazioni

5.0 Abstract	
5.1 La classificazione dei prodotti per l'involucro di Architettura .....	113
5.2 Classificazione prestazionale degli strati funzionalizzati .....	115
5.3 Ulteriori prestazioni che alcuni film danno all'involucro: gli aspetti adattivi ...	116
5.4 Controllo della temperatura (Comfort termico) .....	117
5.4.1 Materiali termoregolanti a cambio di fase .....	119
5.4.2 Film conduttivi .....	120
5.4.3 Film fotovoltaici .....	122
5.4.4 Smart Wrap .....	124
5.4.5 Film termotropici .....	126
5.5 Controllo del flusso luminoso (comfort termico e visivo) .....	127

5.5.1	Coating e film basso-emissivi .....	129
5.5.2	Film riflettenti .....	131
5.5.3	Film anti UV .....	131
5.5.4	Pellicole a controllo solare .....	132
5.5.5	Film fotocromici .....	132
5.5.6	Film termocromici .....	134
5.5.7	Film elettrocromici .....	135
5.5.8	Specchi “switchable” .....	138
5.5.9	Cristalli liquidi .....	138
5.5.10	SPD .....	141
5.5.11	Pellicole opacizzanti .....	141
5.5.12	Film olografici .....	143
5.5.13	Film anti-riflesso .....	145
5.5.14	Film anti-infrarossi .....	145
5.5.15	Pellicole prismatiche .....	146
5.5.16	Laser cut film .....	146
5.6	Sicurezza .....	147
5.6.1	Film resistenti al fuoco .....	148
5.6.2	Film anti-sfondamento .....	148
5.7	Gestione: manutenibilità (pulibilità) .....	149
5.7.1	Film autopulenti .....	149
5.7.2	Film idrorepellenti per natura fisica (superfici drenanti) .....	151
5.7.3	Film antibatterici .....	151
5.7.4	Film antiodore .....	151
5.8	Aspetto (fruizione percettiva del sistema) .....	152
5.8.1	Film dicroici .....	153
5.8.2	Film a selettività angolare (ottico- selettivi) .....	154
5.8.3	Film cangianti .....	154
5.8.4	Film elettroluminescenti .....	154

5.8.5 Film Oled .....	161
<b>VI. Metodologia III fase: Costruzione di un sistema di dati</b>	
6.0 Abstract .....	
6.1 L'organizzazione delle informazioni rispetto al modello adeguato .....	161
6.1.1 Principali modelli esistenti di selezione dei dati .....	162
6.1.2 Modello proposto di selezione dati .....	164
6.2 Obiettivi della schedatura .....	165
6.3 Strumenti per la schedatura .....	166
6.4 Le schede .....	167
6.5 Il database .....	167
<b>VII. Valutazione dei dati raccolti: Considerazioni critiche e limitazione del campo d'indagine</b>	
7.0 Abstract .....	
7.1 La questione del "sottile": film e progetto .....	173
7.1.1 da limite modificato ... a superficie aggiunta .....	175
7.2 Strati funzionalizzati per materiali visualmente muti o prestazionalmente poveri .....	176
7.3 Atteggiamento dei progettisti .....	177
7.4 Film per il controllo del flusso solare .....	179
<b>PARTE 3. Costruzione del modello</b>	
<b>VIII. Obiettivo: Cercare le relazioni. Costruzione di un modello di supporto alla scelta</b>	
8.0 Abstract .....	
8.1 Necessità di valutare per scegliere .....	185

8.2 I modelli e l'informazione .....	187
8.3 Il problema da simulare .....	189
8.4 Strumenti per realizzare modelli: VENSIM PLE .....	191
8.5 Il criterio energia negli environmental assessment .....	195
8.6 I metodi di valutazione preventiva .....	198
8.7 I principali metodi semplificati .....	200
8.7.1 Il MIT Design Advisor .....	201
8.7.2 Il Building Design Advisor .....	204
8.7.3 Il metodo LT .....	206
8.8 Scelta del modello di riferimento .....	210
8.9 I dati del modello LT (parametri non-modificabili del modello) .....	213
8.10 Le variabili progettuali nel modello LT (variabili di immissione) .....	214
8.10.1 Zone climatiche .....	215
8.10.2 Orientamento delle facciate .....	215
8.10.3 Superficie e tipo di vetratura .....	216
8.10.4 Fattore di ostruzione urbana .....	216
8.10.5 Impiego di sistemi di ombreggiamento .....	218
8.10.6 Il foglio di lavoro .....	219
8.10.7 Le curve LT.....	220
8.11 Cosa può essere migliorato .....	222
8.12 Approfondimento sulla funzione energetica dell'involucro .....	223
8.13 Elementi opachi .....	224
8.14 Aperture .....	225
8.14.1 Dispositivi di controllo del flusso luminoso non aderenti .....	225
8.14.2 Dispositivi di controllo del flusso luminoso in aderenza: gli strati funzionalizzati .....	227
8.15 Come valutare l'influenza degli strati funzionalizzati sul sistema involucro..	228

## IX. Risultati: il modello finale

9.0 Abstract	233
9.1 Esplicitare il metodo LT : architettura del modello .....	235
9.1.1 I dati .....	237
9.1.2 Le relazioni .....	240
9.2 Il metodo di integrazione al modello LT .....	241
9.2.1 Criteri di inserimento dei dispositivi schermanti non aderenti .....	242
9.2.2 Criteri di inserimento per film e strati funzionalizzati .....	243
9.3 Utilizzare le funzioni derivate dalle curve LT .....	246
9.4 Architettura del modello modificato .....	250
9.5 Esempi di uso del modello: soluzioni a confronto valutate con il modello .....	000
9.6 Validazione delle operazioni compiute sul modello con gli autori del metodo LT .....	262
9.7 Continuità con la nuova versione del metodo LT .....	263

## X. Conclusioni, discussione

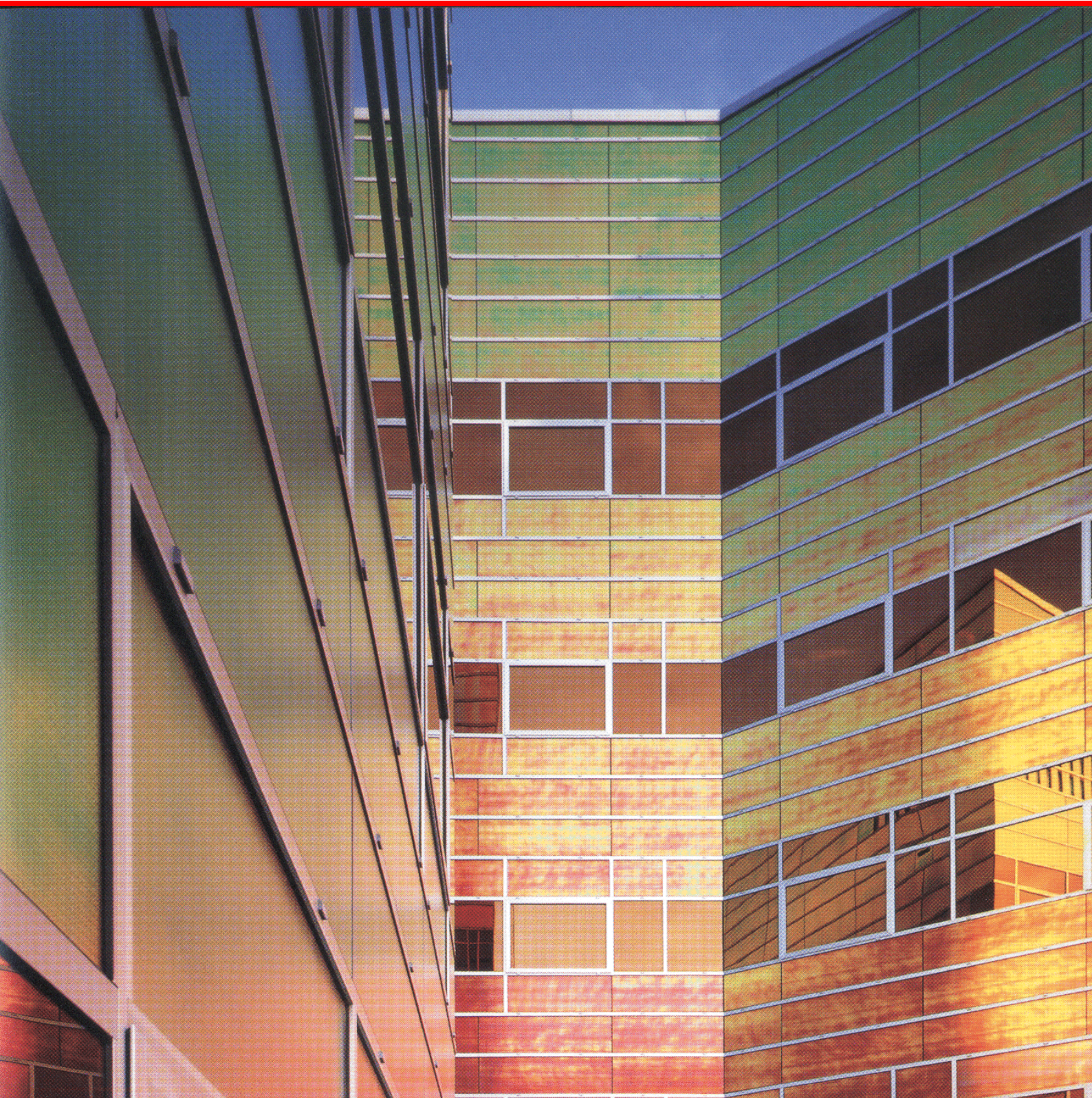
10.0 Abstract	
10.1 Risultati	271
10.2 Conclusioni (bilancio del lavoro di ricerca) .....	272
10.2 Limiti e riserve .....	276
10.3 Discussione .....	278



Appendice 1: Le schede dei prodotti	283
Appendice 2: Le funzioni delle curve LT	313
Bibliografia	331



Figura 0.1 : L'involucro dell'edificio per uffici La Defense è stato realizzato con l'impiego di un film diecrico, che varia la colorazione della lastra in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare. arch. UN Studio, Almere, 2004,





La tesi si inserisce all'interno del tema generale dell'innovazione nel progetto di Architettura. Innovazione di prodotto, che si attua attraverso dinamiche ricorrenti che definiscono la nascita, lo sviluppo e la trasformazione di nuovi materiali e tecnologie costruttive.

Nei fenomeni che regolano il processo innovativo si assiste, in alcuni casi, ad una convergenza di equilibri e dinamiche presenti sia all'interno del settore delle costruzioni, che in settori ad essa tradizionalmente esterni, che portano a sperimentare nuove soluzioni tecniche nel tentativo di migliorare processi o prestazioni; non sempre però le conoscenze legate a tali sperimentazioni arrivano a costituire uno strumento progettuale per gli architetti: dopo una fase di sperimentazione, si rende necessaria un'organizzazione di insieme di conoscenze e risultati, utilizzabili anche come strumento di previsione e di indirizzo progettuale, alla luce di una visione che dovrebbe consentire di individuare gli aspetti più promettenti e quelli meno fecondi.

Il sistema involucro ha attraversato uno scenario evolutivo che lo ha visto, da elemento più o meno "omogeneo", trasformarsi progressivamente in un sistema di parti e strati differenziati e specializzati, accoppiati secondo criteri di controllo delle loro prestazioni; tra questi, la ricerca vuole occuparsi degli strati specializzati di spessore sottile, ovvero degli strati funzionalizzati: film, coating, pellicole, sono parti del sistema caratterizzate da spessori assai ridotti, eppure in grado di accrescere dal punto di vista delle prestazioni il supporto cui si applicano, e, quindi, l'intero sistema.

Il recente configurarsi di dinamiche interne al settore delle costruzioni, legate da un lato alla specializzazione funzionale di parti e componenti del sistema stesso, e dall'altro alla sperimentazione di sistemi innovativi polivalenti a spessore sottile, unito ad una notevole disponibilità di tecnologie maturate in settori tradizionalmente lontani da quello delle costruzioni, ha portato all'introduzione, nei componenti d'involucro edilizio, di un'intera famiglia di elementi a spessore sottile.

Il problema: rilevanza dei film tra le tecnologie per l'involucro

Si può affermare che gli strati funzionalizzati, nelle diverse accezioni di film, pellicole, foglie o coating (cfr. cap.4.2) rappresentino una tecnologia di decisiva importanza per supporti prestazionalmente poveri (come il vetro), o visualmente muti (come molti dei

componenti edilizi opachi prefabbricati), per arricchire tali supporti di nuove prestazioni o per riqualificarne l'aspetto .

I film, che attualmente si presentano sul mercato soprattutto sottoforma di semilavorati, tendono sempre più spesso a diventare "prodotti", prediligendo tecnologie di laminazione che li rendono da un lato meno dipendenti da un supporto e dall'altro applicabili da un sempre maggior numero di produttori.

Gli effetti derivati al sistema involucro dall'impiego degli strati funzionalizzati si rivelano con particolare evidenza nella prestazione di controllo del flusso solare, come dimostra il grande numero di dispositivi individuati ed utili a tale scopo (cap. 5, par. 5.5), e come dimostrato dalla influenza di questi dispositivi sul comportamento energetico passivo dell'intero edificio (cap. 9).

La progettazione della parte trasparente dell'involucro, infatti, è critica per il raggiungimento degli obiettivi di estetica, efficienza e sostenibilità, e per una corretta interazione con l'energia solare. Per sfruttare al meglio tali materiali e per evitare che una scelta superficiale possa avere degli effetti complessivi negativi, sia in termini energetici che economici, è necessario che i progettisti conoscano nel dettaglio le proprietà più rilevanti, nonché i campi ed i limiti di utilizzo dei prodotti avanzati.

I film vengono sviluppati e studiati in modo estremamente analitico ed approfondito nei laboratori chimici; vi sono grandi quantità di test e simulazioni estremamente sofisticate, e precise, ma proprio queste caratteristiche rendono i dati non utilizzabili dal progettista, e quindi, in definitiva, non direttamente utili.

Rispetto a questi prodotti, si pone il problema di organizzare e finalizzare le conoscenze per poterne comprendere l'utilità e potenzialità di impiego. Perché diventino, dunque, strumento progettuale a disposizione dell'architetto, sono necessarie alcune operazioni.

## Obiettivi

*"Innovazione è uno sviluppo che tutti trovano comodo e significativo. Per essere innovativi, gli architetti – e gli stessi lavori di architettura – devono diventare più rispondenti ai loro utenti e all'ambiente. In altre parole, essi devono incorporare controllo tramite feedback dai loro contesti fisici e culturali piuttosto che affidarsi solamente a processi di sviluppo convenzionalmente analitici o interni ... dal progetto alla costruzione"<sup>1</sup>.*

Il pensiero di Rahim pone l'attenzione su un aspetto importante: il *contesto fisico e culturale* della costruzione, entro cui gli architetti devono riportare le innovazioni, non affidandosi semplicemente a *processi di sviluppo convenzionalmente analitici* (ai dati e agli strumenti, cioè, di tipo analitico, forniti da specialisti) ma invece dotandosi di strumenti che garantiscano rispondenza e feedback nell'ambito del proprio contesto (ed operando, dunque, un'operazione di sintesi). Riprendendo il pensiero di Rahim, dunque, la ricerca vuole sviluppare un approccio all'innovazione di prodotto rappresentata dai film per l'architettura, concentrandosi sull'uso dell'informazione da parte di un architetto. Per non affidarsi a dati analitici, ma renderli utili all'impiego da parte di un architetto, sarà necessario comprenderli e finalizzarli, per costruire un patrimonio di dati, organizzati e possibilmente omogenei; per avere rispondenza e feedback, si dovrà proseguire costruendo uno strumento semplificato in grado di simulare alcune soluzioni possibili al variare dei film impiegati. Poiché le possibili applicazioni dei film sono molte, in questa ricerca si svilupperà uno strumento finalizzato al solo aspetto del loro comportamento termico e luminoso, lasciando necessariamente inesplorate altre caratteristiche, ma auspicando sviluppi ed integrazioni successive.

Tale obiettivo può essere espresso in due fasi principali:

- Organizzazione di dati e conoscenze relativi al panorama dei film e trattamenti superficiali funzionalizzati per l'involucro edilizio, secondo una logica rivolta ad architetti.
- Elaborazione di un modello teorico di previsione e supporto alla decisione, fase che si propone di riportare le informazioni raccolte all'interno del modo, complesso, di operare di un architetto: individuare, cioè, le relazioni tra i prodotti individuati ed il sistema tecnologico di cui fanno parte, per individuarne concretamente l'interazione.

La prima operazione necessaria consiste nell'organizzare i dati (dai fatti ai dati attraverso la selezione), poiché non esiste, in Architettura, una letteratura specifica sull'argomento, ed i film vengono considerati come parte dei componenti di involucro, ma molto raramente come elementi a sé stanti (se pure a spessore estremamente sottile). Si pone dunque in prima battuta la questione dell'omogeneizzazione dei dati provenienti dalle specifiche tecniche: un'operazione di traduzione dei dati raccolti tale sia da consentire comparazioni, sia da fornire una lettura finalizzata ad un impiego progettuale (dai dati all'informazione attraverso

la comprensione). Alla luce di dati e conoscenze organizzate, è possibile concentrare l'attenzione sugli impieghi che sembrano più fecondi rispetto al panorama dei film per l'involucro edilizio.

Il secondo passaggio consiste invece nella realizzazione di uno strumento che consenta di valutare le relazioni che i film instaurano con il sistema involucro, considerandoli come soluzioni tecnologiche alternative alle schermature solari tradizionali, di cui valutare sinteticamente il contributo (dall'informazione alle soluzioni possibili attraverso la modellizzazione). L'informazione, infatti, diventa una quantità misurabile in rapporto all'utilità, soggettiva, del dato recepito. La ricerca affronta la problematica inerente la prima fase di progettazione tecnologica dell'involucro edilizio - fase critica, in cui si compiono scelte strategiche determinanti - con lo scopo di integrare i film tra le tecnologie disponibili e validarne l'uso attraverso uno strumento di previsione e supporto alla decisione. Dopo aver finalizzato l'indagine, la ricerca intende infatti cercare di valutare le interazioni tra i film ed il sistema involucro nel suo complesso, impiegando le informazioni in un modello di simulazione. Questa operazione implica un'utilizzazione dei dati precedentemente acquisiti in un modello che faccia emergere le relazioni tra film e involucro, consentendo di ottenere valutazioni sintetiche delle diverse configurazioni possibili, tali da poter essere comparate fra loro, e supportare il progettista nella sua scelta.

#### Metodo

Alle due fasi principali della ricerca corrispondono due aspetti metodologici differenti.

Rispetto all'operazione di organizzazione e gestione dei dati, si è resa necessaria una riflessione sui modelli esistenti di selezione dati, e, tra questi, si è individuato un frame funzionale, derivato dalla teoria esigenziale-prestazionale.

*“Il problema centrale del progettista continuerà ad essere perciò quello di porre le domande corrette, formandosi delle immagini mentali adeguate alla realtà sulla cui base organizzare l'esplorazione. Che quest'ultima si realizzi frequentando fabbriche e laboratori, o sfogliando libri e riviste, o parlando con specialisti, o interloquendo con un calcolatore, il problema resta quello di far emergere l'informazione dal rumore, di dotarsi di filtri e codici interpretativi in grado di estrarre dalla massa dei dati disponibili quelli dotati in quel momento di significato per il progettista”<sup>11</sup>*

Seguendo il pensiero di Manzini sul metodo di raccolta di dati più adatto, i prodotti sono stati organizzati innanzitutto secondo le loro prestazioni primarie. Per rendere poi flessibile ed aperta la fruizione dei dati raccolti, si è adottata la struttura informativa di un database, che raccoglie le schede secondo un set di parole-chiave (tra cui, ad esempio, le funzionalità secondarie, i supporti cui possono applicarsi, le caratteristiche chimico-fisiche...), corrispondenti a dati di diversa qualità. Il database consente una serie di possibili letture trasversali dei dati raccolti, per questo consente una conoscenza tecnica più simile ad un metodo operativo che non ad una classificazione di tipo tradizionale.

*“Dai fatti ai dati attraverso la comprensione; dai dati alle soluzioni possibili attraverso la modellizzazione; dalle soluzioni possibili a quelle analizzate attraverso la valutazione; dalle soluzioni valutate alla organizzazione attraverso l’implementazione dell’intero sistema”<sup>III</sup>*

Il lavoro di ricerca non è una semplice accumulazione di teorie ed osservazioni, bensì la loro incessante confutazione o falsificazione che ne permetta la correzione o modificazione: è necessario dunque procedere nella elaborazione critica dei dati raccolti.

Dopo alcune riflessioni sull’uso dei film, vengono individuate alcune applicazioni di maggiore interesse, restringendo il campo d’indagine e finalizzandolo alla prestazione di controllo del flusso solare.

Nella seconda fase, dunque, individuata una specifica applicazione dei film, si vuole trasformare l’insieme delle informazioni raccolte in soluzioni possibili, attraverso la costruzione di un modello simulativo, per il quale si possa verificare una corretta impostazione dei fattori più importanti nonché il riconoscimento dei suoi limiti.

Un modello consente di mettere in luce le relazioni tra i fenomeni in maniera concreta ed efficace, fornendo soluzioni possibili che è possibile valutare; per far questo, è necessario che divenga uno strumento di analisi sintetica.

Dopo un’analisi degli strumenti semplificati a disposizione dei progettisti, e dopo averne individuato vantaggi e svantaggi d’uso, l’attenzione si è concentrata sul metodo di simulazione LT (Light and Thermal)<sup>IV</sup>, per alcune caratteristiche di snellezza operativa e di struttura potenzialmente aperta. Intervenendo opportunamente sul modello LT, si è poi costruito uno strumento per comprendere, fino dalla fase iniziale di un progetto, il contributo dei film per le parti trasparenti dell’involucro sia dal punto di vista termico che

luminoso, valutato attraverso possibili comparazioni tra i dati di output per diverse configurazioni possibili. Dopo alcune operazioni sul modello iniziale e sulla sua struttura, si è costruito un nuovo modello che inserisce i film come schermi solari a spessore sottile, che agiscono in aderenza ed interferiscono a vari livelli nella trasmissione della radiazione luminosa, sia per quanto riguarda la sua componente termica che per quanto riguarda la trasmissione luminosa visibile. L'ultima fase, relativa alla validazione del modello proposto, si è svolta a Cambridge, con il supporto degli autori del modello LT iniziale.

La Tesi si struttura in tre parti, distinte secondo un'organizzazione che segue la procedura metodologica utilizzata durante le fasi di sviluppo della ricerca.

#### Prima parte

La prima parte della ricerca inquadra lo stato dell'arte nell'uso dei film per i componenti di involucro edilizio, delineando le principali dinamiche in atto. Accanto ad un progressivo assottigliamento delle parti, che procede per continua specializzazione funzionale, si assiste ad una intensa fase di sperimentazione sui temi dell'involucro sottile polivalente. L'interesse si rivolge dunque all'innovazione di prodotto più o meno "silente" che passa per gli spessori sottili che innovano materiali tradizionali: questi nuovi materiali sotto-strutturati costituiscono di fatto strati da considerare non più come elementi monofunzionali ma polifunzionali: strati dotati di proprie funzionalità, elementi complessi e strutturati, a volte reattivi, da mettere a sistema, e da considerare come componenti a spessore sottile.

Poiché tale innovazione procede sostanzialmente da una disponibilità di tecnologie all'integrazione graduale nei materiali e componenti di involucro, vengono delineate alcune delle traiettorie del trasferimento tecnologico in atto nell'ambito della ricerca e sviluppo di strati funzionalizzati per le costruzioni, da parte soprattutto di produttori e istituti di ricerca.

#### Seconda parte

La seconda parte della ricerca definisce ed organizza dati e conoscenze relative agli strati funzionalizzati con l'intento di creare un sistema di dati utili al progettista.



L'indagine si svolge in tre fasi:

- I rapporti tra film e supporto

Si indagano le principali modalità di connessione tra film e supporto, affrontando le principali tecniche di produzione ed applicazione dei film ai materiali di supporto.

- I principali tipi di film

Si identificano ed analizzano le principali famiglie di film e strati funzionalizzati, organizzate per prestazioni principali. Poiché il fine è quello di creare un insieme di conoscenze utili per un architetto, i dati raccolti sono stati organizzati rispetto ai parametri della normativa esigenziale – prestazionale. Gli strati funzionalizzati sono quindi stati individuati innanzitutto rispetto alle loro prestazioni primarie. Tale criterio di selezione rappresenta già di per sé una delle infinite possibili letture del problema, e si propone di rendere più facilmente comprensibile per un architetto il principale contributo prestazionale di questi nuovi prodotti.

- L'organizzazione dei dati in un sistema multi criterio

Alla luce di riflessioni su metodi ed obiettivi della organizzazione dei dati, si propone un metodo multi criterio, composto da schede che raccolgono dati di diversa qualità. Tali schede sono a loro volta gestite da un database: uno strumento aperto, che individua in alcune parole-chiave le caratteristiche principali, permettendo però di ricomporre tali aspetti in una serie di possibili letture dei dati raccolti.

Alla luce di un insieme organizzato di conoscenze rispetto ai materiali individuati, si rendono necessarie alcune considerazioni critiche volte ad individuare quelli che si considerano gli aspetti più promettenti dell'impiego dei film per i componenti dell'involucro edilizio. Sulla base di alcune riflessioni si effettua dunque una restrizione del campo di indagine ai film con funzione di controllo del flusso solare, intesa come capacità di modificare la trasmissione della radiazione solare sia dal punto di vista termico (Trasmissione di energia solare) che luminoso (Trasmissione luminosa visibile).

Terza parte

La terza parte della ricerca parte dalla constatazione dell'importanza delle implicazioni energetiche legate alle scelte progettuali e tecniche che investono il sistema involucro. Individuato questo aspetto specifico, si vuole realizzare uno strumento di previsione

dell'integrazione dei film alle parti trasparenti del sistema involucro, in grado di supportare le scelte progettuali fin dalle prime fasi. Si affrontano alcuni passaggi:

- La scelta di concentrare l'attenzione sulle prime fasi progettuali, in quanto fasi strategiche, determinanti per le scelte tecniche successive. Per supportare un architetto in questa fase del progetto, gli strumenti più utili a disposizione della tecnologia sono i modelli simulativi semplificati, in grado di essere facilmente utilizzati ed in grado di supportare le scelte con indicazioni sintetiche.
- Poiché nei principali modelli semplificati non compaiono i film come possibile soluzione tecnica, si dovrà realizzare uno strumento che li integri. Per fare questo, si è scelto di partire da un modello esistente, modificandone la struttura con l'aggiunta di un "sotto-modello" corrispondente all'impiego dei film.

Note:

<sup>I</sup> RAHIM Ali, *Catalytic Formations: Architecture and Digital Design*, New York, Taylor & Francis, 2006, cit. in CELENTO David, "Innovate or Perish. New Technologies and Architecture's Future", in *Harvard Design Magazine*, n. 26, Summer 2007

"Innovation is a development that people find useful or meaningful. To be innovative, architects — and works of architecture themselves — must become more responsive to their users and environments. In other words, they must incorporate feedback from their physical and cultural contexts rather than relying solely on conventional analytical or internal processes of development . . . from design to construction". Trad. Valeria Zacchei

<sup>II</sup> MANZINI Ezio, *La materia dell'invenzione*, Arcadia, Milano, 1986, pp.255., cit. p.57

<sup>III</sup> MORABITO Giuseppe (a cura di), *Percorsi di ricerca*, quaderni del dipartimento ITACA, Università degli Studi La Sapienza, Roma, 1999, pp.170, cit. p.14

<sup>IV</sup>Il modello LT è uno strumento semplificato di valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio basato su tabelle precalcolate, in cui la principale variabile è la percentuale di vetratura per ogni esposizione. Sviluppato dai prof. Baker e Steemers del Martin Centre di Cambridge nel 1994, è uno dei primi strumenti semplificati ideati per supportare le prime fasi progettuali con feedback di tipo energetico-ambientale. Per la sua semplicità è stato molto utilizzato dai progettisti e nelle università, ed è tuttora utilizzato nei suoi diversi aggiornamenti (l'ultimo dei quali vedrà il modello LT confluire nella realizzazione del modello IBDS, che dovrebbe essere completato tra qualche mese).

## 0. I Collaborazioni e Ringraziamenti

Questa ricerca è stata svolta tessendo contatti e rapporti tra professori e gruppi di ricerca di varie città, italiane e straniere, che ringrazio per il supporto e la collaborazione. Ringrazio invece in modo particolare:

il mio relatore, prof. Giovanni Zannoni, dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia, la cui impronta metodologica sottende tutte le fasi della ricerca, per la fiducia ed il supporto.

Un contributo fondamentale mi è stato dato dal prof. Giuseppe Morabito, della Facoltà di Architettura dell'Università La Sapienza di Roma, per l'approccio metodologico e soprattutto, nella terza parte, in relazione alla sperimentazione di un modello simulativo derivato da operazioni compiute su un modello esistente (Il modello LT). Riferimento costante in tutte le fasi della ricerca, continuo stimolo al ragionamento, lo ringrazio per la disponibilità, i contributi, i consigli offerti.

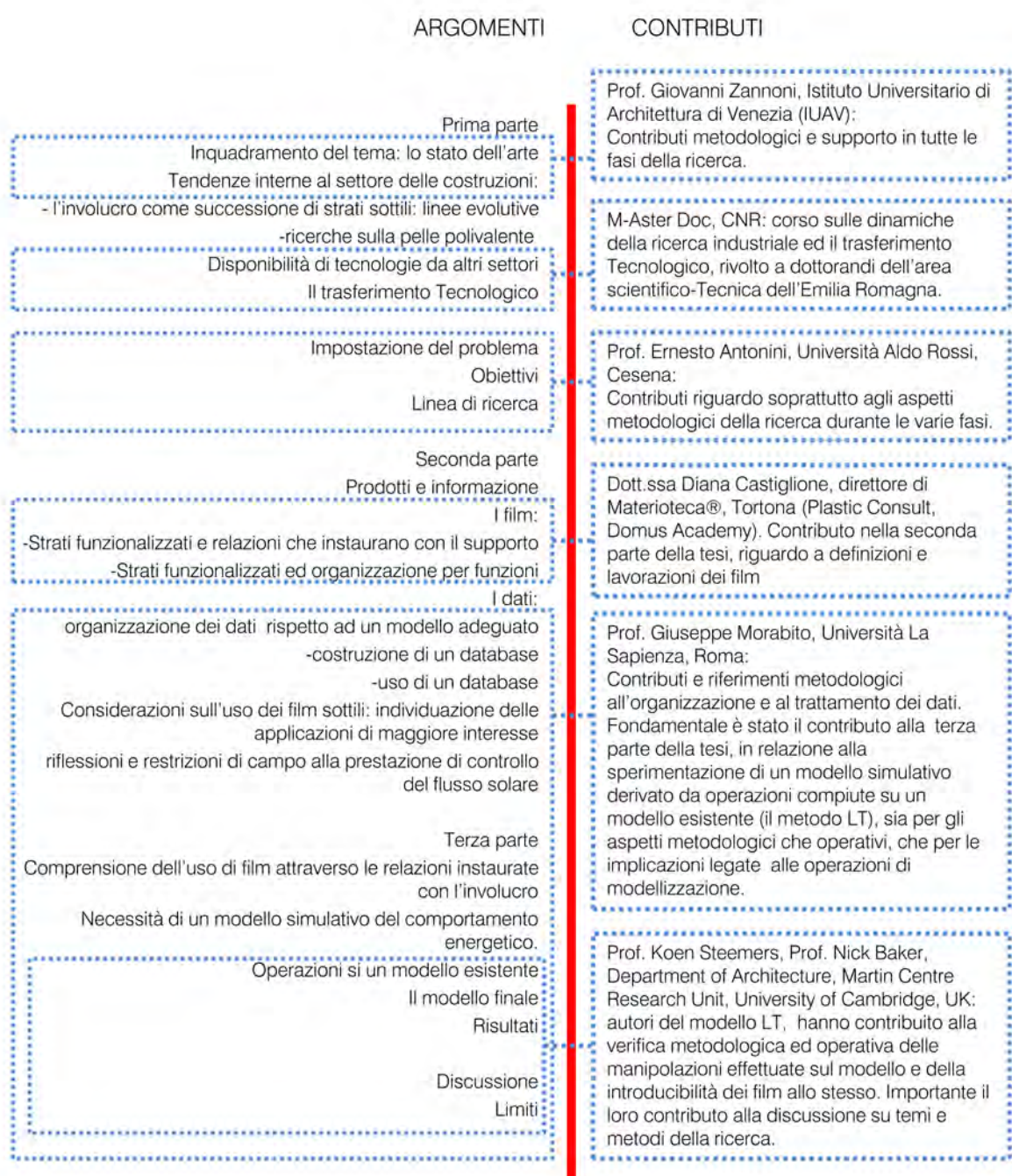
Il prof. Ernesto Antonini, della facoltà di Architettura Aldo Rossi, Cesena, che ha contribuito suggerendo aspetti metodologici nelle varie fasi della ricerca.

La Dott.ssa Diana Castiglione, direttore di Materioteca®, Tortona (Plastic Consult, Domus Academy), ha invece contribuito alla seconda parte della tesi, supportando la ricerca riguardo a definizioni e lavorazioni dei film.

I professori Koen Steemers e Nick Baker del Martin Centre Research Unit, faculty of Architecture, Cambridge University, portano avanti da anni studi sull'uso ottimale dell'illuminazione naturale, con una forte sensibilità ai temi della progettazione delle soluzioni tecnologiche di involucro. Autori del modello LT (Light and Thermal), che continua ad essere sviluppato, e di numerosi altri studi, mi hanno concesso tempo ed accesso ai rapporti scientifici e tecnici dei numerosi programmi di ricerca sviluppati dalla loro unità di ricerca, oltre a fornirmi strumenti quali la nuova versione del metodo LT (che sarà depositata a fine aprile 2008). Il prof. Steemers ha contribuito ad una serie di riflessioni critiche che sono confluite soprattutto nelle considerazioni critiche conclusive di questa ricerca.

Il prof. Baker ha contribuito verificando sia dal punto di vista metodologico che operativo le manipolazioni da me effettuate sul modello, validando la possibilità di integrare i film allo stesso LT. Ringrazio entrambi per la disponibilità, la collaborazione e gli importanti contributi.

Figura 0.2: Schema dei contributi ricevuti nelle diverse fasi della ricerca



# PARTE 1

## Stato dell'arte: ambiti e dinamiche



Figura 1.1: Un esempio della progressiva scomposizione dell'involucro in strati differenziati e specializzati è la facciata dell'ampliamento del Palazzo di Belle Arti di Lille, Francia, degli architetti Ibos & Vitart, 1997.





# I. Impostazione del problema: Differenziazione e specializzazione degli strati che compongono il sistema involucro.

## 1.0 Abstract

Lo scenario della ricerca è il sistema involucro, investito da tendenze evolutive che lo vedono da un lato trasformarsi in un sistema di parti e strati differenziati e specializzati, accoppiati secondo criteri di controllo delle loro prestazioni, e dall'altro luogo privilegiato per l'introduzione di prodotti e soluzioni sperimentali cui sempre più spesso si affida l'innovazione del sistema (innovazione di prodotto). In questo scenario, si focalizza l'attenzione su film e strati funzionalizzati per i componenti d'involucro: materiali in spessore sottile che intervengono a definire la qualità dell'involucro a diversi livelli, aumentandone le prestazioni e la complessità fino a poterli considerare sistemi sotto-strutturati. Individuando alcune delle principali tendenze in atto, attraverso la lettura di tre edifici realizzati, possiamo affermare che l'evoluzione di tali materiali si caratterizza attraverso:

- l'accentuazione progressiva della loro funzione di filtro
- la possibilità di accorpare numerosi sottosistemi del sistema tradizionale in una o più lastre con corrispondenti prestazioni
- la possibilità di realizzare filtri dinamici,

## 1.1 Un panorama dell'innovazione per l'involucro edilizio

Le più recenti trasformazioni del panorama progettuale mostrano una progressiva frammentazione degli apparati disciplinari dell'architettura, riflettendo un contesto culturale in cui si sono perduti i grandi temi unificanti della modernità a vantaggio di una crescente prevalenza delle condizioni di indeterminatezza e di un decisivo incremento della complessità del progetto<sup>1</sup>. La tendenza ad affidare sempre più spesso alla sola configurazione dell'involucro edilizio la caratterizzazione tecnico-formale degli edifici, attraverso le tendenze architettoniche che avevano dominato lo scenario degli anni Ottanta e Novanta, come il post-modern, l'High-tech o il decostruttivismo, ha dato luogo ad opere emblematiche, in cui l'innovazione era sottolineata e resa visibile in alcuni punti notevoli dell'edificio, investendone soprattutto la componente di involucro e rendendo così manifesta e registrabile l'innovazione tecnologica per la presenza di alcuni elementi all'avanguardia (Un esempio fra tanti, è rappresentato dall'edificio rappresentato in figura 1.1, 1.2.). Questo approccio ha però generato anche molte zone d'ombra, evidenziando innanzitutto la difficoltà di coniugare istanze di



Figura 1.2

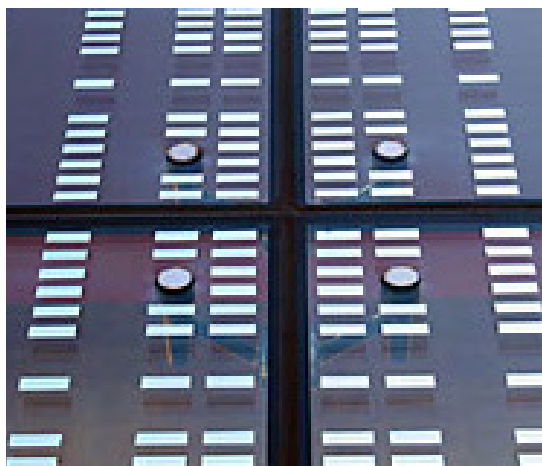


Figura 1.3

Figura 1.2, 1.3:

dettagli della facciata dell'ampliamento del Palazzo di Belle Arti di Lille, Francia, degli architetti Ibos & Vitart, 1997. L'effetto di smaterializzazione e riflessione tra le due "pelli" dell'edificio è dato da un'accurato disegno della parte vetrata, riflettente.

spettacolarità e di complessità dell'architettura con un'innovazione che fornisce risposte efficaci a tutto campo, e quindi denunciando cattivi funzionamenti, bassa durata, o innovazioni solo apparenti<sup>2</sup>. Dopo gli anni dell'esibizione delle potenzialità della tecnologia si è assistito ad una lenta ma progressiva inversione di tendenza, che vede decrescere le istanze di rappresentazione dell'innovazione a vantaggio della coerenza costruttiva e di migliori prestazioni, più adeguate al contesto ambientale ed urbano.

Si è così affermato, sin dall'inizio degli anni Novanta, il concetto di *Tecnologia diffusa*, così definita per il fatto che essa permea il sistema involucro, rinunciando alla concentrazione in alcuni punti emergenti; si è assistito dunque all' *"introduzione e la diffusione su larga scala di prodotti risultanti da innovazioni più o meno palesi"*<sup>3</sup>, che hanno posto una sempre maggiore attenzione alle caratteristiche di sicurezza, durabilità, controllo delle prestazioni, secondo un processo di appropriazione sempre più consapevole delle soluzioni tecniche, in cui la semplificazione linguistica deve corrispondere ad un innalzamento del livello prestazionale delle parti costitutive dell'edificio e all'innesto di soluzioni tecnologicamente evolute, diffuse e non più localizzate in alcuni punti.

Le principali spinte in questa direzione sono provenute sicuramente da un mutato contesto economico e culturale, che ha visto affermarsi al contempo istanze energetiche e logiche produttive rinnovate, delineando alcune tendenze evolutive importanti entro cui questa ricerca si colloca:

### 1.1.1 Complessità del sistema: stratificazione e specializzazione delle parti

Nel dibattito contemporaneo sul rapporto tra architettura e ambiente, l'involucro architettonico rappresenta la sede di *"quell'insieme di connessioni tra interno ed esterno connaturate alle modalità di scambio desiderate tra uomo e ambiente fisico"*<sup>4</sup>. Il termine stesso involucro, che trova origine nel verbo involvere, indica tutto ciò che avvolge esternamente qualcosa, definendo uno spessore-filtro leggibile in sezione, che rappresenta anche il luogo in cui si svolgono una pluralità di funzioni complesse.

Ponendo l'accento sulla complessità di funzionamento di tale sistema, si sono sempre più consolidate accezioni quali membrana, o pelle, a ribadire da un lato la qualità osmotica e (almeno potenzialmente) dinamica di tali scambi, dall'altro la consistenza fisica di elementi che vanno progressivamente assottigliandosi a



Herzog dice nel 1995 "è

significativo parlare di un edificio come di una "pelle" e non meramente di una "protezione",

qualcosa che "respira", che regola le condizioni climatiche e ambientali tra interno ed esterno, in

analogia a quella delle creature umane".

vantaggio di una crescente multifunzionalità.

L'involucro dialoga di fatto con l'esterno, in conseguenza dei sistemi differenziati assunti rispetto alle condizioni ambientali. Tuttavia, valutare le prestazioni di un involucro "alleggerito" in relazione al grado di comfort che esso è in grado di generare comporta un controllo più complesso delle situazioni dinamiche e spaziali, dovendo confrontarsi sia con gli strumenti validi per una parete composta che con gli strumenti adatti per un sistema stratificato in parallelo. Alle prestazioni elevate si associano spesso materiali e sistemi di semplicità solo apparente.

*"I recenti sviluppi della ricerca stanno dunque sgombrando il campo da una possibile erronea convinzione secondo cui soluzioni innovative poco evidenti siano di minore validità rispetto a quelle morfologicamente caratterizzate. L'essere poco appariscente o nascosta, può costituire, in molti casi, un significativo valore aggiunto dell'innovazione, in linea con la tendenza alla leggerezza e alla progressiva dematerializzazione degli interventi"<sup>5</sup>.*

#### *progressiva stratificazione*

Il primo macroscopico aspetto riguarda il rapporto con la tradizionale costruzione massiccia in muratura, rispetto alla quale si sono, nel tempo, verificati significativi cambiamenti dal punto di vista delle prestazioni e della complessità globale degli involucri edilizi. Nel panorama dell'architettura contemporanea, infatti, la progettazione e conseguente realizzazione degli elementi di involucro appare interessata essenzialmente da un generale processo di alleggerimento della materia, associato ad una progressiva suddivisione in strati successivi, accoppiati secondo criteri prestazionali<sup>6</sup>; questo processo trova la sua massima espressione nell'orizzonte tecnologico dell'assemblaggio a secco, inteso come modalità di unione delle parti di una costruzione mediante sistemi prevalentemente meccanici, e coinvolge anche i materiali cosiddetti tradizionali, i quali subiscono una sorta di metamorfosi, assottigliandosi e trovando nuove sinergie nell'accoppiamento con altri materiali, dando così origine a nuovi prodotti di alto contenuto tecnologico-prestazionale

#### *specializzazione degli strati*

A questo primo aspetto, legato alla consistenza fisica dell'involucro, si affianca la tendenza ad una progressiva specializzazione funzionale degli strati che compongono i componenti d'involucro: andamento che procede di pari passo con la progressiva riduzione degli spessori, con l'assottigliamento ed alleggerimento della massa,

secondo il motto “più intelligenza, meno materia”. Occorre notare come, negli ultimi anni, il mondo dei materiali impiegati nella realizzazione di involucri sia stato teatro di profonde e significative trasformazioni, mosse da un sistema di produzione tecnico-scientifico maturo: la tendenza alla progressiva stratificazione con una precisa suddivisione delle prestazioni affidate ai vari strati di cui la parete si compone, accostati “in parallelo”, ha reso l’involucro “*il luogo deputato a gestire una crescente complessità*”<sup>7</sup>. Per assolvere a questo compito, è in fase di sviluppo, dimostrazione o commercializzazione un nutrito gruppo di prodotti che presentano interessanti proprietà secondo i punti di vista descritti.

Si delinea una tendenza che ha come tema centrale la riduzione degli spessori e la differenziazione funzionale delle parti che costituiscono il componente. L’involucro si specializza, differenziando le soluzioni tecnologiche per le strutture massive e per quelle trasparenti. Nel primo caso, la parete si scompone in strati funzionali progettati per rispondere a precisi requisiti, nel secondo, anche la vetrata subisce un processo di progressiva acquisizione di strumenti tecnici e strati funzionalizzati atti a migliorare il comportamento prestazionale del componente stesso. Tale tendenza si manifesta con l’affermazione dei procedimenti costruttivi basati sull’assemblaggio a secco di prodotti e sistemi industrializzati: le ricadute progettuali di queste tecniche sono individuabili nella ricerca di un approccio di tipo integrato al progetto stesso, ma anche nella progettazione stratificata<sup>8</sup>, nella considerazione di nuove modalità di assemblaggio in cantiere, nello sviluppo dei requisiti di leggerezza, versatilità, trasparenza, ed infine nell’impiego di dispositivi sottili per il controllo del flusso luminoso sempre più raffinato e specializzato (coating magnetronici, film a selettività angolare e così via)

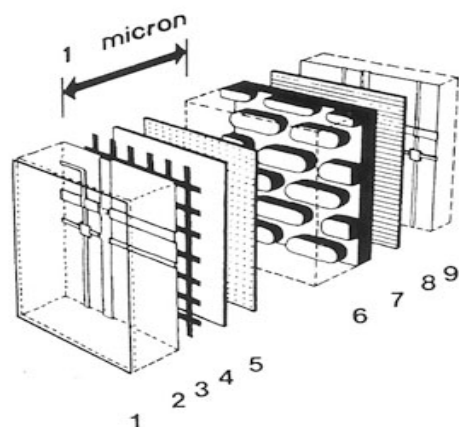
### 1.1.2 Disponibilità di tecnologie e conoscenze che confluiscono nell’involucro

Attualmente “*l’evento del nuovo, nel settore delle costruzioni, è dato dalla sua interazione con una realtà di industrializzazione sempre più avanzata*”<sup>9</sup>, rispetto cui spesso manca una cultura materiale legata alle soluzioni disponibili sul mercato. Se da un lato è presente la tendenza per cui tecniche esecutive e materiali tradizionali, in seguito a processi di continuo adeguamento produttivo hanno ormai assunto caratteristiche radicalmente diverse da quelle originarie, dall’altro si assiste ad una sempre crescente attenzione all’innovazione tecnologica, dovuta ai molteplici risvolti del

costruire. Con l'adozione di tecnologie di continuo miglioramento dei processi produttivi, è in atto una convergenza fra industria edilizia e ambiente che si inquadra nel passaggio da una produzione di massa ad una di tipo snello e flessibile. In questo panorama, molte aziende produttrici di sistemi di facciata attingono dal campo della Ricerca e Sviluppo le risorse per essere competitive e presenti sul mercato. Si assiste dunque al moltiplicarsi di risposte e soluzioni tecniche sempre più orientate alla flessibilità, alla versatilità, alla specializzazione e alla risposta prestazionale complessa dei singoli prodotti e dei sistemi integrati. A questa politica commerciale e produttiva, si associa anche da parte dei progettisti un atteggiamento orientato alla richiesta di un'architettura sempre più efficiente sul piano del comfort e delle prestazioni, e si riscontra una precisa relazione tra l'influsso esercitato dalla domanda di innovazione (demand pull), e la spinta delle attività a carattere scientifico-tecnico (technology push). Questa relazione, che si avrà modo di approfondire nel cap.2, si riflette nelle istanze di propositività del progettista e del committente, che inducono a sperimentare e innovare per raggiungere determinati obiettivi, e nell'atteggiamento delle industrie, che tendono a promuovere e diffondere nuovi materiali e tecnologie con frequenza sempre maggiore. Il campo di sperimentazione è l'edificio, e la sfida più importante si gioca sulle parti e componenti del sistema involucro.

*miglioramento sempre più affidato ad un'innovazione di prodotto*

I materiali da costruzione si inseriscono a vari livelli nella dialettica tra materia e tecnica, secondo requisiti di tipo formale, funzionale e tecnico, mettendo il progettista di fronte ad "elementi" che presentano differenti proprietà: da un lato, la scelta del materiale ha relazioni dirette con la sfera della cultura materiale e dell'immaginario simbolico, dall'altro tale scelta ha a che fare con la definizione del sistema fisico, in termini di configurazione della morfologia dei suoi componenti e controllo delle reciproche relazioni. "Oggi, il possibile con cui interagire ha smesso di presentarsi nella forma di prestazioni congelate in pochi tangibili materiali. Di fronte al progettista si presenta un sistema di potenzialità difficilmente riportabile a un modello mentale con cui lavorare"<sup>10</sup>. A tutt'oggi, di fronte alle esigenze esplicitamente definite dal progetto, invece di elaborare una risposta sul piano globale del sistema materiale-tecnica, spesso si circoscrive la risposta ad una sua parte componente: il materiale da costruzione. Ovvero accade che i materiali da costruzione siano divenuti dei prodotti a tutti gli effetti, da progettare e produrre secondo specifici vincoli tecnici, economici e qualitativi. Si aprono quindi nuovi scenari di ricerca



#### POLYVALENT WALL:

- 1 Silica weather skin and deposition substrate
- 2 Sensor and control logic layer-external
- 3 Photoelectric grid
- 4 Thermal sheet radiator/selective absorber
- 5 Elektro-reflective depositino
- 6 Micro-pore gas flow layers
- 7 Electro-reflective deposition
- 8 Sensor and control logic layer-internal
- 9 Silica depositing substrate and inner skin

Figura 1.3: Polyvalent wall, ipotesi progettuale innovativa per lo sviluppo di un sistema di involucro multi-prestazionale, composto da una successione di strati sottili in grado di svolgere tutte le funzioni complesse di un involucro edilizio.

sui materiali, capaci di possedere un'identità specifica rispetto a colore, texture, oppure materiali progettati secondo determinati modelli qualitativi di base o ancora secondo modalità nuove di scelta delle risorse di produzione informate da considerazioni di natura ambientale.

#### 1.1.3 Spinta della ricerca e aspetto multidisciplinare

Il lavoro sulla consistenza dimensionale dell'involucro viene ripreso e interpretato alla luce di una progettualità nuova, basata sull'idea di involucro concepito come sistema di parti interagenti, il cui spessore varia a seconda del funzionamento complessivo della facciata. Considerando dunque l'involucro come sistema, la suddivisione tra parti opache e trasparenti si ricompone nella messa a punto di strati fortemente interrelati e specializzati, in cui le diverse qualità dei materiali coinvolti giocano un ruolo strategico nella determinazione del controllo climatico, ambientale e formale dello spazio.

Questo atteggiamento mostra una grande capacità di progettisti e produttori di riportare all'interno della produzione edilizia i risultati di avanzate ricerche scientifiche multidisciplinari, grazie ad un continuo aggiornamento e ad un crescente sviluppo tecnologico legato alla comunicazione di informazioni e dati sui prodotti stessi. Si è in presenza di un sistema di prodotti e materiali per i progettisti molteplici ed articolato, in cui possono verificarsi le condizioni di impiego di materiali e sistemi che non sono convenzionali per il settore edilizio, o anche l'applicazione in campo architettonico di materiali e prodotti di portata sperimentale in termini assoluti. Il loro impiego non è sempre evidente in modo visibile, cioè con una specifica connotazione morfologica, poiché spesso avviene attraverso processi di Microinnovazione, così definiti per il fatto di essere attuati a una scala non sempre visibile (quindi in spessori ridotti, per qualità intrinseche dei materiali, o per interventi nascosti sotto strati di finitura), oppure non immediatamente percepibili, in quanto le prestazioni innovative vengono mimetizzate sotto l'aspetto usuale di prodotti già noti.

#### 1.2 L'idea di involucro come successione di film sottili: genesi (polyvalent wall), linee evolutive

Nell'articolo dal titolo "A wall for all seasons"<sup>11</sup>, comparso sul RIBA Journal nell'ormai lontano 1981, Mike Davies (Richard Rogers

Partnership, London), proponeva una ipotesi progettuale innovativa per lo sviluppo di un sistema di involucro multi-prestazionale: il “polyvalent wall” (figura 5), un sistema composto da strati in grado di comportarsi come dispositivi auto-regolanti dal punto di vista termico e luminoso, e che allo stesso tempo fossero in grado di generare da soli l'energia elettrica necessaria alla gestione di queste operazioni. Davies stimolava all'impiego in architettura di principi già sviluppati per altre aree della tecnologia, e, proponendo un parallelo tra il modello teorico del “Polyvalent wall” e l'analisi del comportamento della pelle di un camaleonte, coniava l'espressione “intelligent skin”, riferita all'involucro considerato come membrana dell'intero edificio, dove l'intelligenza è misurata nella capacità di sfruttare ed adattarsi alle condizioni ambientali.

L'articolo suscitò uno scalpore immediato in quel contesto culturale che aveva da poco superato le crisi petrolifere del 1973 e del 1979, cominciando a prendere drasticamente coscienza del problema energetico in edilizia; l'involucro, in particolare, cominciava ad essere considerato come luogo di soluzione di problemi sempre più complessi, secondo un approccio prestazionale che permettesse di valutare preventivamente diverse soluzioni, aprendo un periodo di sperimentazioni sempre più evolute e fortemente innovative, sia dal punto di vista tecnico che formale.

“*Le utopie*” diceva Lamartine “*non sono altro che verità premature*”<sup>12</sup>, e se è vero che il “polyvalent wall” progettato da Davies non è mai stato completamente realizzato, quel modello di componente di involucro stratificato e polivalente pare però contenere in nuce, e delineare, alcune importanti tendenze evolutive contemporanee, offrendo spunti che meritano ancora oggi qualche riflessione.

A ben vedere, Davies ha il merito di porre per primo in modo organico alcune implicazioni legate alla crescente possibilità di progettare componenti composti da strati sottili, affidando a questo nuovo tipo di prodotto gran parte delle prestazioni che si richiedono all'intero involucro.

Aumenta infatti la disponibilità di strati sottili in grado di conferire qualità superficiali, riferite non solo ad aspetti protettivi e a nuove qualità estetiche, ma anche con importanti caratteristiche di multi-funzionalità o di capacità di rispondere in modo adattivo alle sollecitazioni. La ricerca crea la possibilità di progettarne le prestazioni e la complessità fino a poterli considerare sistemi sotto-strutturati da mettere a sistema.

**1.2.1** la tendenza ad accorpare più sotto-sistemi del sistema tradizionale in uno o più strati dotati delle corrispondenti prestazioni

L'esigenza di controllare preventivamente le prestazioni di un sistema divenuto complesso porta alla tendenza sempre più diffusa di affidarsi a prodotti industriali controllati, testati e certificati "a monte" del loro impiego, cercando allo stesso tempo di ridurre al minimo le operazioni realizzative più delicate e dall'esito aleatorio. Considerazione, questa, che vale per tutti i prodotti industriali, e che rimane valida per quelli destinati all'edilizia. Si assiste quindi alla tendenza a sostituire lavorazioni ed elementi tradizionalmente eseguiti in opera a vantaggio di una sempre maggior semplificazione delle operazioni di cantiere: l'aumento dei costi e la scarsità di manodopera spingono ad incorporare nei prodotti il maggior numero di lavorazioni, e a semplificare al massimo il montaggio, *"verso una grande organizzazione del cantiere, verso la messa in serie delle lavorazioni e verso assemblaggi semplici, rapidi e tendenzialmente asciutti e reversibili"*<sup>13</sup>. Il numero delle parti che compongono un oggetto (e quindi il numero delle sue fasi produttive) tende a ridursi, ed il numero delle funzioni svolte da ciascuna parte tende ad aumentare. La molla di questo cambiamento è il costo economico delle operazioni di assemblaggio e la conseguente convenienza a produrre in un'operazione unica pezzi che integrino diversi sottocomponenti funzionali. Nel tentativo di garantire qualità all'involucro edilizio, assistiamo, dunque, alla proposizione di nuovi materiali concepiti e prodotti in funzione di un "pacchetto" specializzato di prestazioni. Grazie alla crescente capacità tecnico-scientifica di intervenire in profondità nella struttura della materia, si rileva infatti la tendenza a produrre materiali sempre più mirati su impieghi specifici, soluzioni *"a più alta intensità di prestazioni"*<sup>14</sup>; questa tendenza muta profondamente il rapporto tra materiali e componenti: si arriva infatti a materiali che presentano una complessità intrinseca (progettata e gestita dagli scienziati dei materiali e successivamente incorporata nel materiale stesso) che lo rende capace in sé di svolgere funzioni: il materiale diventa così in grado di produrre in sé prestazioni che altrimenti richiederebbero apparecchiature e componenti macroscopici. Il materiale, in quest'ottica, non viene più considerato come un operatore elementare, bensì come un sistema in grado di fornire prestazioni molto specifiche e complesse.

**1.2.2** la “scienza del piccolo”, “microinnovazione” diffusa, consentita dai progressi tecnologici maturati

Nel suo articolo Davies aveva intuito uno strumento significativo dell'attuale sviluppo tecnologico: la cosiddetta “Scienza del piccolo”, ovvero la ricerca di base e applicata che si sviluppa alla piccola scala e che riguarda elementi di dimensione minima, sia nel campo dei semilavorati che dei lavorati, e che arriva ad investire le dimensioni infinitesime della materia al livello molecolare degli stessi. La possibilità di manipolare le strutture atomiche, molecolari e macromolecolari ha permesso di inventare una serie pressoché infinita di nuovi composti; quasi si trattasse di plasmare, una stessa comune matrice in maniera di volta in volta sempre diversa; una matrice che, a dispetto della riconoscibilità e della distinguibilità proprie dei materiali a priori, si presta ad assumere forme, proprietà ed aspetti differenti al variare delle specifiche esigenze e delle applicazioni previste. L'effettiva portata innovativa di questo tipo di intervento nel campo dell'architettura non è sempre percepibile in modo immediato, poiché la provenienza è in larga parte dovuta a processi di trasferimento tecnologico da vari settori industriali, *“privilegiando l'interconnessione e la trasversalità dei saperi tecnici, oltre che la ricerca applicata nell'interazione progettista-industria per quanto riguarda nuovi materiali e sistemi”*<sup>15</sup>. Questo tipo di innovazione è nascosta oltre che silenziosa, e si attua attraverso soluzioni integrate. La consistenza materiale dei componenti che costituiscono l'involucro è sempre più leggera, trasparente, ambigua, immateriale, nonché sottile.

**1.2.3** la tendenza ad affidarsi a materiali dal comportamento dinamico come fattori di “intelligenza”

Poiché l'involucro si configura come *“quell'insieme di connessioni tra interno ed esterno connaturate alle modalità di scambio desiderate tra uomo e ambiente fisico”*<sup>16</sup>, appare evidente l'aspetto di filtro per un sistema che abbia valenze di apertura sia verso l'esterno che l'interno, e che sia in grado di adattarsi alle condizioni energetico-ambientali dell'intorno. Secondo una ormai consolidata metafora, in questo carattere di adattamento alle sollecitazioni risiede l'analogia tra la pelle di un organismo e quella di un edificio *“è significativo parlare di un edificio come di una pelle, e non meramente di una protezione, qualcosa che respira, che regola le condizioni climatiche e ambientali tra interno ed esterno, in analogia a quella delle creature*



*umane*<sup>17</sup>. L'adattabilità dell'involucro è innanzitutto misurata in ragione della sua capacità di sfruttare risorse naturali, e per ottenere sistemi adattivi la ricerca si è in questi anni concentrata tanto su risorse progettuali quanto su aspetti materiali del sistema, sviluppando, soprattutto per le componenti vetrate, ma anche per le parti opache del sistema, materiali complessi, dalle capacità innovative e dinamiche. Dopo la fase dei materiali per involucro a complessità "controllata", in cui l'obiettivo era quello di materiali perfetti e privi di impurità e anisotropie, si è passati infatti ad una fase di complessità "gestita"<sup>18</sup>, nella quale impurità e anisotropie vengono appositamente progettate e realizzate per ottenere prestazioni molto precise e puntuali. Sono nati così nuovi materiali prodotti dall'uomo con l'aiuto della chimica, in grado di assumere differenti forme, aspetti, proprietà: materiali progettabili creati su misura per assolvere a precise funzioni. Ma l'emergere della questione ambientale e la sua globalizzazione, hanno posto in evidenza i limiti dei materiali sviluppati "su misura": *"Il limite della materia esatta è proprio nella sua stessa struttura: è proprio, infatti, nella identità tra prestazioni ed essenza della materia che risiedono i motivi della sua rapidissima obsolescenza, del rapporto non attivo che essa ha con l'ambiente. La materia esatta diventa rapidamente rifiuto, quantità di energia non più disponibile"*<sup>19</sup>.

Ranzo invita a riflettere su una delle nuove fasi in atto nell'ambito dell'evoluzione dei materiali per l'involucro: la "complessità prestazionale", che fa cioè riferimento al tentativo di innovare i prodotti per le costruzioni incorporandovi più conoscenza e meno materia. Ciò dovrebbe portare al materiale non più considerato come operatore elementare ma come un sistema in grado di fornire prestazioni molto specifiche e complesse, di contenere informazioni ed adattarsi.

Il polyvalent wall da questo punto di vista sembra anticipare alcuni sviluppi successivi, tra cui le soluzioni tecnologiche impiegate nell'edificio Stadtparkasse, a Dresda, degli arch. Bauer & Keller (vedi approfondimento nel par.1.3.2), in cui un edificio dall'aspetto sobrio e quasi tradizionale adotta tecnologie di controllo del flusso luminoso del tutto innovative, affidandosi ad un film elettrocromico attivato elettricamente ed in grado di modificare la propria caratteristica di fattore di trasmissione dell'energia luminosa adattandosi alle diverse esigenze. In questo caso l'intelligenza intesa come capacità adattiva dell'intero involucro è affidata alle prestazioni di un suo singolo componente: un film, uno strato a spessore estremamente sottile integrato al sistema.



Il tema dei materiali intelligenti è peraltro preso in seria considerazione dalla critica, che ne vede potenzialità di grande interesse nelle applicazioni concrete sull'architettura più evoluta.

*“Possiamo [...] far trasformare l'architettura in maniera intelligente in risposta al mutare delle situazioni climatiche o ambientali e possiamo anche farla mutare al mutare di scenari d'uso[...]. Non soltanto si possono modificare interattivamente una serie di meccanismi legati direttamente all'elettronica (dalle luci agli elettrodomestici, alle musiche, ai sistemi di controllo) ma anche i materiali stessi, che possono mutare con microfibre nei rivestimenti, nel vetro, addirittura nei nuovi marmi, e cambiare nella grana, nella porosità, nella capacità di assorbimento del suono o del colore. L'architettura, insomma, può reagire, ma può anche inter-reagire, e cioè adattarsi al mutare dei desideri degli utenti attraverso scenari percorribili come se fossero un ipertesto”<sup>20</sup>*

Gli involucri adattivi sono dunque in grado di reagire ai cambiamenti del loro ambiente, anche grazie alle proprietà fisiche e chimiche degli elementi che li compongono.

Spesso si tratta di materiali nanostrutturati, la cui forma di impiego più diffusa nell'involucro edilizio è costituita dai film sottili. Questi, già utilizzati come rivestimenti superficiali prima dell'introduzione delle nanotecnologie, risultano notevolmente migliorati nelle prestazioni e presentano nuove possibilità di impiego.

**1.2.4** la tendenza ad affidarsi a superfici sempre più complesse e strutturate, che agiscono come componenti a spessore sottile

Film e strati funzionalizzati a spessore sottile rappresentano, ormai da anni, parti del sistema involucro che contribuiscono prestazionalmente al miglioramento delle parti del sistema involucro. Focalizzando però l'attenzione su queste parti specifiche, appare con evidenza che esse stanno evolvendosi e migliorando notevolmente le loro prestazioni

*“La vernice, la pellicola ed altri tipi di rivestimenti creano strati sottili capaci di trasformare i materiali ai quali vengono applicati. Una semplice applicazione superficiale può modificare le proprietà ottiche, le possibilità isolanti e persino la forza strutturale. Le prestazioni di queste stratificazioni superficiali possono essere migliorate attraverso la manipolazione molecolare e la nanotecnologia: la sottigliezza dei materiali diviene una virtù e consente di ottenere risultati non realizzabili con materiali di spessore più consistente”<sup>21</sup>*

La più grande innovazione introdotta, non solo tecnologica ma

Figura 1.4: Smart Wrap, prototipo di pellicola polivalente, esposto al Cooper Hewitt National Design Museum, New York.



culturale, consiste nella possibilità di modificare le proprietà dei materiali progettandole su misura per le singole applicazioni. Sono ormai disponibili una serie di film a spessore sottile, in grado di rivestire un ruolo di fondamentale importanza nell'accoppiamento con i materiali tradizionali, *“assumendo l'immagine di componenti complessi, che svolgono per le stesse proprietà della materia che li costituisce particolari e sofisticate prestazioni”*<sup>22</sup>

Dunque, film, pellicole, strati funzionalizzati si comportano in modo da rappresentare parti “in sè” significative, e anzi dal grande potenziale innovativo per il sistema involucro.

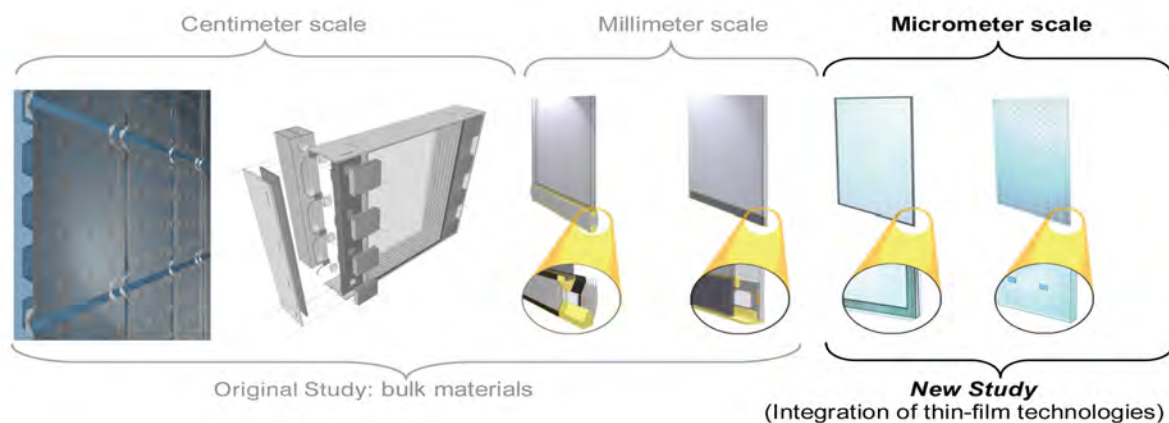
*“La matrice/nanostruttura della superficie liminare guadagna una nuova dimensione per la sua grande estensione, divenendo così un nuovo strumento (materiali determinati dalla loro superficie liminare)”*<sup>23</sup>

Schmidt, direttore dell'istituto di ricerca sulle Nanotecnologie INM, pone l'attenzione sul carattere di “frontiera attiva” dello strato funzionalizzato, in grado di per sé di conformare dal punto di vista prestazionale il supporto cui si applica.

### 1.3 Sperimentazione nella ricerca di un involucro come successione di film sottili (Smart Wrap)

Di fatto il polyvalent wall di Mike Davies, ha aperto da un lato il dibattito e la ricerca per un rinnovato impiego del vetro, arricchito di nuovi dispositivi a spessore sottile, e volto ad un approccio integrato di componenti innovativi ed impianti, e dall'altro ha stimolato le ricerche sulla congruenza di tecnologie emergenti nel sistema involucro. Il polyvalent wall non venne mai completamente realizzato, a causa soprattutto dei limiti tecnologici legati al periodo (1981). È tuttavia significativo il fatto che si possa delineare una certa continuità nella ricerca di un involucro innovativo completamente affidato ad elementi a spessore sottile. Uno degli esempi più interessanti per tracciare questo percorso di ricerca è il prototipo “Smart Wrap” (figura 1.4).

*“C'è stato un tempo in cui la complessità del mondo e la cultura materiale con cui avevamo a che fare, le scienze coinvolte, erano significativamente più semplici di quello che sono ora. Un architetto non era solo un progettista: era uno scienziato dei materiali, un ingegnere, un costruttore. Quell'epoca ha portato ad una qualche virtù straordinariamente profonda che muove tutti noi ancora, quando abbiamo la possibilità, di girare tutto il mondo cercando di trovare, vedere, ricercare, perché ciò muove le nostre anime. Una delle più*



*tristi eredità del Modernismo, in architettura ed in altri campi, è la convinzione che per far progredire la conoscenza dobbiamo inquadrarci tutti in una limitata specializzazione: se questo può (o non può) essere bene per altri campi, come la medicina, per esempio, ciò che è perduto per gli architetti è la capacità di portare l'insieme di un artefatto così complesso come un edificio a vivere in un modo olistico e integrato”<sup>24</sup>.*

Ispirati, dunque, da un approccio generalista e aperto alle innovazioni tecnologiche rese disponibili soprattutto dalla chimica, nel 2003, gli architetti americani Kieran e Timberlake hanno proseguito la stessa ricerca di Davies verso la sperimentazione di un involucro polivalente a spessore di pellicola, che si avvalsesse delle tecnologie emergenti sviluppate in altri settori: lo studio condotto dagli architetti, con l'appoggio di DuPont, ha portato al prototipo di Smart Wrap, un film plastico polivalente composto in strati, per uno spessore complessivo assai sottile, e che incorpora in sé tutte le funzioni di un involucro complesso e adattivo (vedi par.5.4.4). Su un film di poliestere che funge da substrato, infatti, sono stati depositi degli strati successivi che riassumessero le caratteristiche di intere parti del sistema involucro: il tutto stampato e laminato in una singola pellicola.

Nel complesso, Smart Wrap ha la funzione di riparare dagli agenti atmosferici (substrato in poliestere), proteggere da vento e pioggia (film PET, a sua volta substrato per altri film), controllare gli aspetti climatici (microsfere di materiale a cambio di fase, disperse in resina e poi estruse in un film sottile) luminosi e di comunicare informazioni (film OLED, alimentati dalle celle fotovoltaiche in film), oltre a generare energia elettrica (piccole batterie in film, celle fotovoltaiche in silicio amorfo ed inchiostro conduttivo).

Un prototipo di Smart Wrap è stato impiegato in un allestimento ed esposto nel giardino del Cooper Hewitt National Design Museum di New York. In questo filone di ricerca merita un accenno anche il progetto ABE (Active Building Envelope), condotto dal prof. Van Dessel e già brevettato, che cerca di ottimizzare le prestazioni dell'involucro rendendolo estremamente sottile e sfruttando le tecniche di deposizione e stampa dei film sottili. (cfr. par. 2.3)

#### 1.4 L'innovazione affidata a film funzionalizzati: alcuni esempi

I film per l'involucro d'architettura stanno, dunque, acquisendo una rilevanza sempre maggiore rispetto alle prestazioni complessive del sistema cui appartengono. L'atteggiamento di produttori e progettisti ad affidarsi sempre più a materiali innovati (innovazione

Figura 1.5: ABE (Active Building Envelope), ricerca svolta presso il Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) dal prof. Steven Van Dessel, che ha portato nel 2006 alla prototipazione e brevettazione di un involucro attivo a spessore di pellicola, impiegando le recenti tecnologie a film sottile.

di prodotto), e tra questi, in particolare, ai film, per dare una risposta alle esigenze esplicitamente definite dal progetto. ciò è particolarmente evidente in tre esempi di edifici realizzati negli ultimi anni:

**1.4.1** Edificio Euralille, Progettista: Jean Nouvel, Lille, Francia, 1994  
Centro commerciale, ristoranti, attività per il tempo libero, uffici, hotel, residenze e altri servizi pubblici. Caratterizzato da una facciata grigia, che costituisce uno sfondo neutro, su cui è applicato un film serigrafico contenente una serie di immagini olografiche di enormi dimensioni. Queste generano un pattern che echeggia ed accompagna la segnaletica di diversi negozi, smaterializzando l'architettura sulla superficie stessa.

1.4.2. Edificio Stadsparkasse a Dresda, Germania, ha una semplice facciata realizzata con vetri su cui sono applicati film elettrocromici che consentono una regolazione automatica della quantità di luce che attraversa la vetrata, sviluppati da Pilkington.

1.4.3. Edificio La Defense, progettista UN Studio, Almere, completato nel 2004, in cui una facciata in pannelli prefabbricati è rivestita da uno speciale film adesivo diecrico iridescente, prodotto dalla multinazionale della chimica 3M, che provoca cambi continui nella percezione visiva

Progettista: Jean Nouvel

Luogo: Lille, quartiere Euralille

Indirizzo: Place de l'Europe,  
avenue Willy Brandt, avenue Le  
Corbusier

Anno di realizzazione: 1996

Tipologia Edilizia: Terziario,  
servizi, residenze

Dati dimensionali:  
spazi commerciali mq. 92.000  
servizi pubblici e privato mq.  
15.150  
appartamenti mq. 43.000

### 1.4.1 Euralille

Il sito su cui sorge l'edificio è di forma approssimativamente triangolare, con un angolo vicino alla stazione ferroviaria della SNCF ed il lato opposto adiacente alla nuova stazione del treno ad alta velocità. La costruzione scende verso la stazione del TGV, seguendo parzialmente il pendio della terra. Il progetto doveva integrare diversi livelli, destinati a negozi, scuole, centri sportivi ed un centro culturale, tutti sotto un singolo tetto, da cui si accede a cinque torri allineate al prospetto del sud della costruzione. Il piano terra del centro commerciale di Euralille è concepito come collegamento delle due stazioni ferroviarie, per colmare la lacuna fra il centro e la periferia precedentemente generati dalla strada principale. L'entrata principale è sulla stazione ferroviaria. Questo percorso incrocia, ad angolo, un'altra arteria principale a metà strada attraverso la costruzione, che si apre sulla facciata nord di fronte alla stazione dei treni ad alta velocità. Questa irregolarità intenzionale genera non soltanto interessanti piani di negozi ma anche una gamma di prospettive differenti ed inattese, particolarmente sui piani superiori, sotto l'inclinata del tetto. Il tetto stesso copre peraltro i quattro ettari nella zona, attraverso una griglia di metallo posta in cima ad una superficie di asfalto. Le luci ed i patterns colorati su questa superficie, come la segnaletica astratta codificata delle piste dell'aeroporto, generano disegni sconosciuti debolmente percepiti al di sopra della griglia. Il tetto svolge un ruolo importante nel collegamento degli elementi dislocati in una grande area. In più, per Nouvel, la luce, i materiali ed il colore sono importanti quanto la forma ed il volume nella definizione di spazio architettonico. Questo principio è stato rinviato sui prospetti del centro commerciale e delle torrette.

#### Requisiti di progetto:

La ricerca di Jean Nouvel si sviluppa verso l'economicità, che in questo progetto ha una funzione ideologica, visto che la comunità virtuale può lavorare solamente se la nuova Lille rimane più economica delle città limitrofe.

#### Prestazioni:

La scelta di Nouvel ricade su una tipologia costruttiva ampiamente sperimentata in calcestruzzo, acciaio, vetro, con largo impiego di elementi prefabbricati standard. Per rispondere a criteri di





Figura 1.6: Vista dell'edificio

Figura 1.7: Vista dell'edificio verso la stazione



Figura 1.8: Vista della facciata con effetto di diffrazione della luce dovuto alla pellicola olografica

Figure 1.6, 1.7, 1.8: Viste di due fronti dell'edificio. Per le chiusure verticali Jean Nouvel impiega pannelli prefabbricati opachi e trasparenti; su entrambi è applicata una pellicola olografica. Mediante l'effetto fisico della diffrazione tale pellicola guida la luce analogamente agli specchi, prismi, lenti ed altri elementi ottici, senza diminuire in maniera significativa la trasmissione della radiazione solare



Fonti:

AA.VV. "Obras: Centro Euralille, Euralille Centre Lille, Francia, 1991/1994", in *El Croquis*, Jean Nouvel, 65/66, 1998, pp.270-285

AA.VV. "Jean Nouvel, Centro Euralille", in *Casabella* 623, n.5, 1995, p. 26-33

economicità, sobrietà e allo stesso tempo ottenere un effetto prezioso in facciata, egli impiega come rivestimento superficiale delle pellicole olografiche.

Tecnologia di involucro:

Su una struttura a telaio in calcestruzzo armato si impostano i solai e l'involucro. L'altezza di ciascun corpo, varia in base alla forma irregolare del lotto e alle esigenze di collegare a livello ipogeo il corpo centrale con le due stazioni; rispetto ai fronti stradali, tuttavia, essa è resa unitaria dalla grande copertura che collega e completa i volumi, lasciando emergere le cinque torri. Le chiusure verticali sono realizzate con pannelli prefabbricati opachi e trasparenti; su entrambi è applicata una pellicola olografica. Questa genera un pattern che echeggia ed accompagna la segnaletica di diversi negozi, smaterializzando l'architettura sulla superficie stessa.

Film impiegato:

La serigrafia è un comune, nonché economico, processo di stampa su pellicole adesive adatte ad essere applicate anche su grandi superfici all'esterno. In questo edificio, la facciata ha struttura in acciaio con chiusure verticali realizzate da pannelli prefabbricati modulari trasparenti ed opachi, entrambi a loro volta rivestiti da pellicole trasparenti olografiche.

L'effetto di redirezionamento della radiazione incidente in questo caso è ottenuto tramite la diffrazione di una struttura prismatica invisibile ottenuta mediante "stampa" con tecnica olografica. Gli ologrammi vengono prodotti mediante laser sotto forma di pellicole sottili e successivamente incorporate all'interno di lastre trasparenti di vetro stratificato. Mediante l'effetto fisico della diffrazione, essi guidano la luce analogamente agli specchi, prismi, lenti ed altri elementi ottici, senza peraltro diminuire in maniera significativa la trasmissione della radiazione solare. I sistemi olografici ottici (Hoe), si inseriscono tra quelle soluzioni che sfruttano meglio la luce diurna sia nelle condizioni di cielo coperto, sia durante i periodi di illuminazione solare diretta, consentendo di ottenere un miglioramento della distribuzione dell'illuminazione diurna mediante la deviazione controllata della radiazione solare sia diffusa, sia diretta. Attraverso il trattamento grafico dei prospetti si ottiene un gigantesco effetto caleidoscopico e dinamico, in grado di generare effetti di cromatismo dinamico e tridimensionalità.

Figura 1.9: Vista della facciata verso la stazione ferroviaria



Figura 1.10: Vista della facciata vetrata

Figure 1.9, 1.10, 1.11: Vista dell'involucro dell'edificio. Si noti che i sistemi schermanti sono pressochè assenti. L'effetto di redirectione della radiazione incidente in questo caso è ottenuto tramite la diffrazione di un film olografico: una struttura prismatica sottile e invisibile ottenuta mediante "stampa" con tecnica olografica, in questo edificio posta davanti ai pannelli prefabbricati modulari trasparenti ed opachi della chiusura verticale



Figura 1.11: dettaglio della facciata





Progettisti: Bauer & Keller, Dresden

Localizzazione: Dresden, Germania

Anno di realizzazione: 1999

Tipologia: Terziario

Dati dimensionali:

Volume complessivo 82.600 metri cubi

Uffici 23.000 metri quadrati

Parcheggi 15.000 metri quadrati

### 1.4.2 Stadtparkasse –Dresden

L'edificio realizzato dagli architetti Bauer e Keller per la banca Stadtparkasse di Dresda sorge in un lotto regolare nel centro di affari della città, ai margini del centro storico e in prossimità di un giardino pubblico. Sia l'impianto architettonico che i prospetti denotano la precisa intenzione di mimetizzare l'intervento nel tessuto consolidato della città, con il risultato di un edificio per uffici apparentemente tradizionale, sobrio e dall'impianto semplice. L'innovazione introdotta è così poco appariscente da essere apparentemente invisibile: la grande vetrata che individua dall'esterno l'atrio centrale dell'edificio (di dimensioni 8 × 17 m) è la più ampia superficie elettrocromica realizzata in Europa, come pure sono elettrocromiche le ottanta aperture vetrate esposte a Est, Sud, Ovest, all'irraggiamento diretto.

#### Requisiti di progetto:

Sobrietà di immagine, in linea con l'idea di stabilità e durevolezza che la banca vuole rappresentare, e allo stesso tempo integrazione nell'edificio di sistemi estremamente avanzati per il controllo termico e luminoso dell'apporto solare. La banca ha fatto parte di un nucleo di investitori sul progetto di ricerca congiunto tra la Flabeg GmbH, azienda tedesca, e la PILKINGTON, che ha portato alla commercializzazione del prototipo di E-Control, qui applicato.

#### Prestazioni:

Questi dispositivi hanno necessità di alimentazione elettrica solo per avviare il cambiamento di stato. Infatti il dispositivo si caratterizza per la capacità di conservare la propria condizione molecolare a lungo, una volta modificata con un minimo impulso elettrico. Ogni pannello dispone di un proprio potenziometro di controllo di intensità elettrica che viene collegato ad un sistema centralizzato e informatizzato. In questi dispositivi l'oscuramento avviene gradualmente tanto da risultare impercettibile. Pur essendo dei vetri molto sofisticati richiedono la manutenzione di un vetro ordinario; quanto all'incidenza di costi, esiste già una documentata letteratura di fattibilità economica e previsioni di ammortamento della spesa iniziale (ancora oggi elevata) rispetto al risparmio globale (eliminazione totale della spesa relativa ai sistemi di oscuramento

Figura 1.12



Figura 1.13



Figure 1.12, 1.13, 1.14, 1.15: Fronti dell'edificio nel contesto urbano. L'innovazione introdotta nell'edificio per la banca Stadtparkasse di Dresda è così poco appariscente da essere apparentemente invisibile. Figura 11: la grande vetrata che individua dall'esterno l'atrio centrale dell'edificio (di dimensioni  $8 \times 17$  m) è la più ampia superficie elettrocromica realizzata in Europa, come pure sono elettrocromiche le ottanta aperture vetrate esposte a Est, Sud, Ovest, all'irraggiamento diretto

Figura 1.14



Figura 1.15



Fonti:

LANGELLA Carla, *Nuovi Paesaggi materici*, Firenze, Alinea Editrice, 2003, pp. 207

[www.mbm-dresden.de](http://www.mbm-dresden.de)

convenzionali).

Tecnologia d'involucro:

Struttura portante a telaio in acciaio, sistema di facciata con struttura in acciaio, con pannelli in calcestruzzo rivestito e vetro intelaiato con alluminio. Poiché si sperimentavano per la prima volta in modo estensivo le vetrature elettrocromiche, Pilkington ha monitorato il funzionamento ed il consumo delle vetrature: ogni pannello è stato connesso ad un'unità di controllo e può assumere diversi gradi di trasmissione luminosa. Tale sistema di controllo è stato integrato al sistema di gestione centrale dell'edificio in modo da ottenere il massimo comfort al massimo dell'efficienza energetica. Ciò ha consentito all'edificio di rispondere sia al variare delle condizioni climatiche esterne, sia alle esigenze funzionali interne. Alla fine del monitoraggio, è stata verificata una riduzione dei consumi energetici legati al raffrescamento di circa il 20% rispetto all'ipotesi di utilizzo dei convenzionali sistemi di protezione solare.

Film impiegato:

Film elettrocromico in tre strati, applicato ad un supporto in vetro ed attivato elettricamente. Si trova in commercio composto nel modulo E-Control prodotto da Flabeg GmbH, e distribuito da Pilkington. Le sue dimensioni standard sono: larghezza da mm. 400 a 900 fino a mm.1200 su ordinazione, lunghezza da mm. 400 a mm.2000. Il modulo E-Control ha spessore mm.29 in doppia vetro-camera, con proprietà basso emissive, e proprietà termico-ottiche che variano a seconda dello stato: il fattore di trasmissione luminosa nello stato attivato è del 15%, nello stato disattivato del 50%, mentre il fattore di trasmissione solare nello stato attivato va dal 9% a 7%, nello stato disattivato dal 29% a 35% a seconda dei tipi a disposizione.

Figura 1.16, 1.17: dettagli delle vetrature. Il film elettrocromico, attivato elettricamente, ha proprietà termico-ottiche che variano a seconda dello stato: il fattore di trasmissione luminosa nello stato attivato è del 15%, nello stato disattivato del 50%, mentre il fattore di trasmissione solare nello stato attivato va dal 9% a 7%, nello stato disattivato dal 29% a 35% a seconda dei tipi di film a disposizione. Il comportamento energetico dell'edificio è stato monitorato nell'arco di un anno dando buoni risultati.

Figura 1.16: dettaglio dell'atrio con la vetrata elettrocromica



Figura 1.17: dettaglio di una delle finestre con controllo solare elettrocromico





Progettisti: Ben Van Berkel, UN studio

Localizzazione: Almere, Olanda,

Indirizzo: Business Center, Willem Dressweg 14-24

Anno di realizzazione: 2004

Tipologia: Terziario

Dati dimensionali:

Volume complessivo 82.600 metri cubi

Uffici 23.000 metri quadrati

Parcheggi 15.000 metri quadrati

### 1.4.3 La Defense – Almere

#### Descrizione:

Il complesso è costituito da due corpi di fabbrica che si articolano lungo il perimetro del lotto: uno segue con un andamento a linea spezzata il fronte strada, l'altro chiude l'isolato con un impianto a "C" a bracci diseguali. L'assetto d'insieme è compatto, ed organizzato intorno ad ampie corti aperte ricavate tra i corpi di fabbrica, a creare un suggestivo spazio pubblico racchiuso tra gli edifici. Le facciate che guardano verso l'esterno alternano un rivestimento in pannelli di alluminio a vetrate di tonalità argentata, leggermente riflettente, che conferiscono, insieme al metallo, un aspetto solido e impenetrabile. All'immagine di protezione e chiusura che connota il complesso dall'esterno, si contrappone la vibrante immagine delle facciate rivolte verso le corti interne. Le ampie vetrate sono state realizzate con l'impiego di un apposito film che varia la colorazione della lastra in funzione dell'angolo di incidenza dei raggi solari.

#### Requisiti di progetto:

la committenza aveva espresso necessità di massimizzare l'edificazione consentita nell'area, e di avere un edificio "visibile" e riconoscibile. L'attività progettuale di Van Berkel, caratterizzata da una spiccata speri mentalità, ha portato a questa inedita soluzione

#### Prestazioni:

Queste superfici sono state concepite con il primo obiettivo di rendere quanto più confortevoli possibile le condizioni ambientali all'interno degli uffici sia in termini di benessere termoisometrico sia in termini di relazione con l'ambiente esterno. In luogo dei sistemi di schermatura esterni, spesso impiegati in progetti di questo tipo, i progettisti si sono concentrati, sin dalle prime fasi, sulla ricerca di una soluzione che consentisse di variare l'apporto di luce all'interno dell'edificio senza alterare, dall'esterno, la percezione delle superfici piane dei volumi. Ne deriva un mutevole effetto di diffusione dei colori all'interno delle corti per tutta la giornata in base alla posizione del sole, all'orientamento delle facciate e alla prospettiva di chi guarda.

#### Tecnologia d'involucro:

Su una struttura a telaio in calcestruzzo armato si impostano i solai e l'involucro di chiusura verticale. L'altezza di ciascun corpo, in base alla normativa locale, varia in funzione della dimensione

Figura 1.18: Vista dell'edificio dall'alto: si nota, nella corte interna, l'effetto cangiante della facciata



Figura 1.19: dettaglio della corte in diverse condizioni di luce

Figura 1.18, 1.19, 1.20: L'involucro dell'edificio per uffici La Defense è stato realizzato con l'impiego di un apposito film che varia la colorazione della lastra in funzione dell'angolo di incidenza dei raggi solari



Figura 1.20: dettaglio della corte in diverse condizioni di luce



Fonti:

GASPARI Jacopo, La Defense,  
in Modulo n° 326 del 2006

[www.unstudio.com](http://www.unstudio.com)

VAN BERKEL Ben, BOS  
Caroline (a cura di), Rizzoli  
Editore & Imprint United  
States - Publications - New  
York, NY, p 400

della strada su cui si affaccia, resa unitaria dall'andamento inclinato della copertura che come un solido sfaccettato completa i volumi. In linea di massima, tutte le facciate presentano un'alternanza di fasce vetrate trasparenti, semitrasparenti e opache. Varia, invece, il trattamento del materiale adottato per le facciate rivolte verso l'interno rispetto a quelle verso l'esterno. L'involucro di chiusura affianca alle superfici vetrate un rivestimento metallico in alluminio dietro al quale sono disposti gli strati isolanti e la sottostruttura di sostegno. Un sistema di "tagli" a nastro con telaio metallico e vetro leggermente riflettente scandisce i prospetti verso la strada. In corrispondenza delle facciate sulle corti vi è, invece, un continuo alternarsi di fasce vetrate con diversi gradi di permeabilità visiva. Il progetto di Van Berkel per Almere rappresenta il primo vero tentativo di adottare Radiant Color Film su ampia scala tanto che il progettista ha dovuto garantire il suo impiego per una consistente superficie delle facciate per convincere la 3M a produrre la quantità di pellicola che rendesse economicamente vantaggiosa la scelta di questo prodotto. In questo aspetto, oltre che nell'interpretazione degli effetti di variazione dell'ambiente delle corti, risiede il carattere sperimentale del progetto.

Film impiegato:

Durante le fasi di studio del progetto sono state prese in considerazione varie soluzioni e diversi materiali per poi optare per l'inserimento tra due vetri accoppiati di un intercalare dalle particolari proprietà riflettenti.

Il film utilizzato è un prodotto realizzato dalla 3M chiamato "Radiant Color Film" che combina più di 200 strati di poliestere e acrilico di vario spessore aventi diversi valori di riflessione della luce per ottenere un effetto di variazione cromatica che copre l'intero spettro del visibile da ogni angolazione possibile. L'effetto che deriva dalle proprietà dicroiche del materiale è quello di una facciata che, in base alle condizioni atmosferiche e alla posizione dell'osservatore, sembra mutare continuamente.

Sono disponibili due tipi di film di colorazione diversa ( il CM 500 e il CM 590), che presentano due differenti effetti di variazione cromatica: il primo sui toni del blu, del magenta e dell'oro, il secondo sui toni del ciano, del blu e del Magenta. Dai tre colori dominanti di ciascuno dei due prodotti si ottiene uno spettro cromatico molto ampio che dipende dall'angolo di incidenza della luce e dal punto di vista.



Figura 1.21: Vista della facciata verso la corte interna

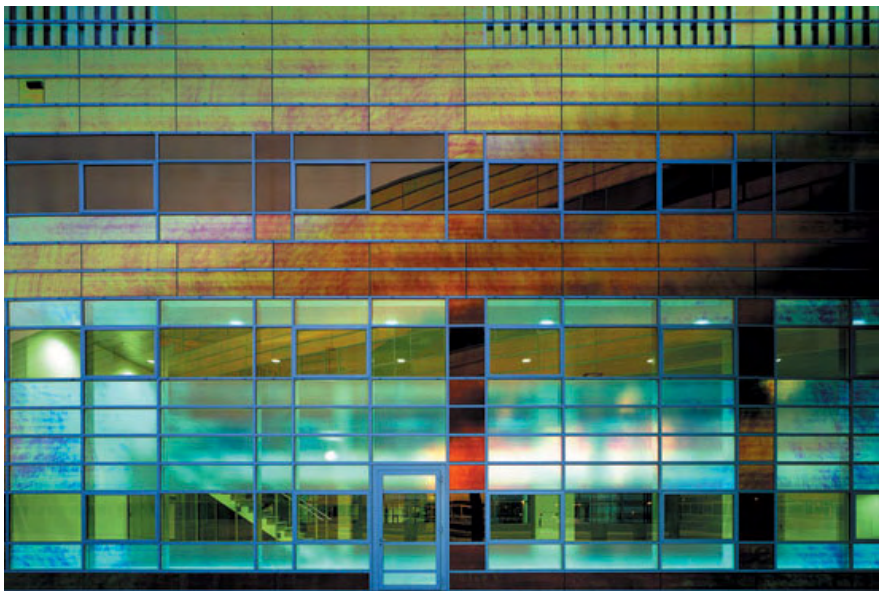


Figura 1.22: dettaglio dell'atrio con la vetrata elettrocromica

Figura 1.21, 1.22, 1.23: L'effetto che deriva dalle proprietà dicriche del materiale è quello di una facciata che, in base alle condizioni atmosferiche e alla posizione dell'osservatore, sembra mutare continuamente. Per una precisa scelta progettuale, non vi sono altri sistemi schermanti in facciata, e la funzione di controllo del flusso solare è affidata al film dicrico.



Figura 1.23: dettaglio di una delle finestre con controllo solare elettrocromico

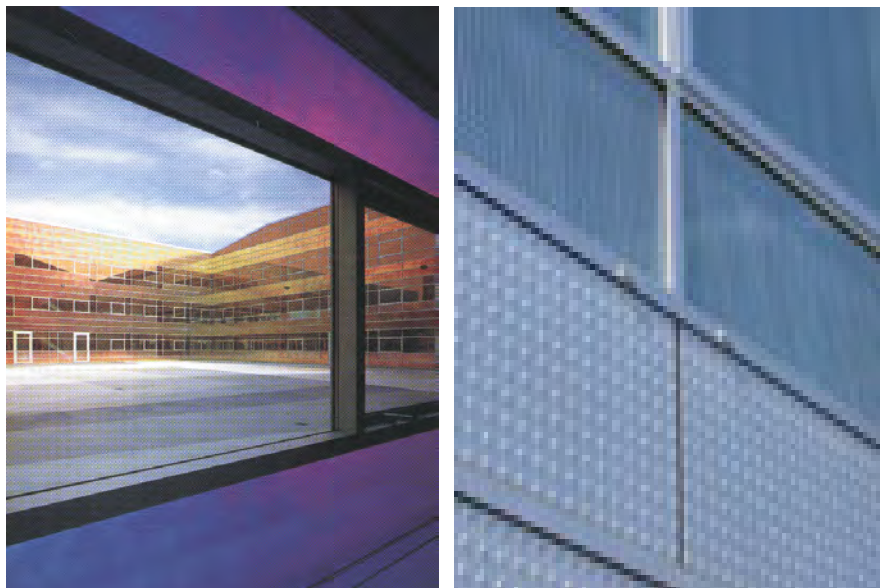






Figura 1.24: vista verso la corte interna

<sup>1</sup> Cfr. FRAMPTON K, *Tettonica e Architettura*, Kenneth Frampton *Tettonica e architettura*, Milano, Skira, 1999, p.448,

<sup>2</sup> BIONDO Giuseppe, “Innovazioni”, in AA. VV., *Abitare il futuro. Innovazione tecnologia architettura*, Milano, BE-MA editrice, 2003, p. 217.

<sup>3</sup> NARDI Guido, “Innovazione, sue caratteristiche nell’architettura”, in NARDI Guido (a cura di), *Percorsi di un pensiero progettuale*, Milano, Libreria CLUP, 2003, p.311

<sup>4</sup> DONATO Franco, SPADOLINI Pier Luigi, *La connessione spazio/energia nella progettazione architettonica*, Firenze, Tipografia G. Capponi, 1980, p.86

<sup>5</sup> LOSASSO Mario (a cura di), *Progetto e Innovazione, nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Napoli, CLEAN, 2005, pag.21

<sup>6</sup> MANGIAROTTI Anna, *Le tecniche dell’architettura contemporanea. Evoluzione e innovazione degli elementi costruttivi*, Milano, Franco Angeli, 1995, p.224

<sup>7</sup> ALTOMONTE Sergio, *L’involucro architettonico come interfaccia dinamica, strumenti e criteri per una architettura sostenibile*, Firenze, Alinea, 2004, pag. 92

<sup>8</sup> cfr. NARDI, Guido, *Le nuove radici antiche*, Milano, Franco Angeli, 1992, p.183

<sup>9</sup> NARDI Guido, “La cultura dell’innovazione”, in NARDI Guido (a cura di), *Percorsi di un pensiero progettuale*, Milano, Ed.Libreria CLUP, 2003, p.180

<sup>10</sup> MANZINI Ezio, (1986), op. cit., p.17.

<sup>11</sup> DAVIES Michael, “A wall for all Seasons” in *RIBA Journal*, February 1981, pagg 55-57

<sup>12</sup> Cit. da: BRUGELLIS Pino, PICCARDO Emanuele (a cura di) “Utopia, Etica e tecnologia: Incontro con Frei Otto”, sul blog *Architettura di pietra* <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/p=269>

<sup>8</sup> Guido Nardi, *Le nuove radici antiche. Saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, Milano, Franco Angeli, 1996, p.183.

<sup>13</sup> SINOPOLI Nicola, “L’innovazione Tecnologica in edilizia:una premessa”, in SINOPOLI Nicola, TATANO Valeria (a cura di) *Sulle tracce dell’innovazione tra tecniche e architettura*, Milano, FrancoAngeli, 2002, pag.13

<sup>14</sup> MANZINI Ezio,( 1986), op. cit. pag.39

<sup>15</sup> PAOLETTI Ingrid, *Una finestra sul Trasferimento. Tecnologie innovative per l’architettura*. Milano, CLUP, 2003, pp.296

<sup>16</sup> DONATO Franco, SPADOLINI Pier Luigi, *La connessione spazio/energia nella progettazione architettonica*, Firenze, Tipografia G. Capponi, 1980, p.86

<sup>17</sup> HERZOG Thomas, KRIPPNER Roland, LANG Werner, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET, 2005

<sup>18</sup> MANZINI Ezio, (1986), op.cit. pag.30

<sup>19</sup> RANZO ,”Trans-disciplinarietà e cultura progettuale: la ricerca di nuove connessioni”, in GANGEMI Virginia (a cura di), *Cultura e impegno progettuale. Orientamenti e strategie oltre gli anni ’90*, Franco Angeli, Milano, 1992.

<sup>20</sup> BARZON Furio, *La carta di Zurigo*, Testo & Immagine, Torino, 2003, p.96

<sup>21</sup> MORI Toshiko, *Immateriale/ Ultramateriale*, Architettura, progetto e materiali, (tr.it. di Antonella Bergamin, titolo originale *Immaterial / Ultramaterial. Architecture, design and materials*, New York, Harvard Design School e George Braziler Inc., 2002,) Postmedia books, Milano, 2004, pp.127.

<sup>22</sup> MANZINI Ezio, (1986), op.cit. pag..74

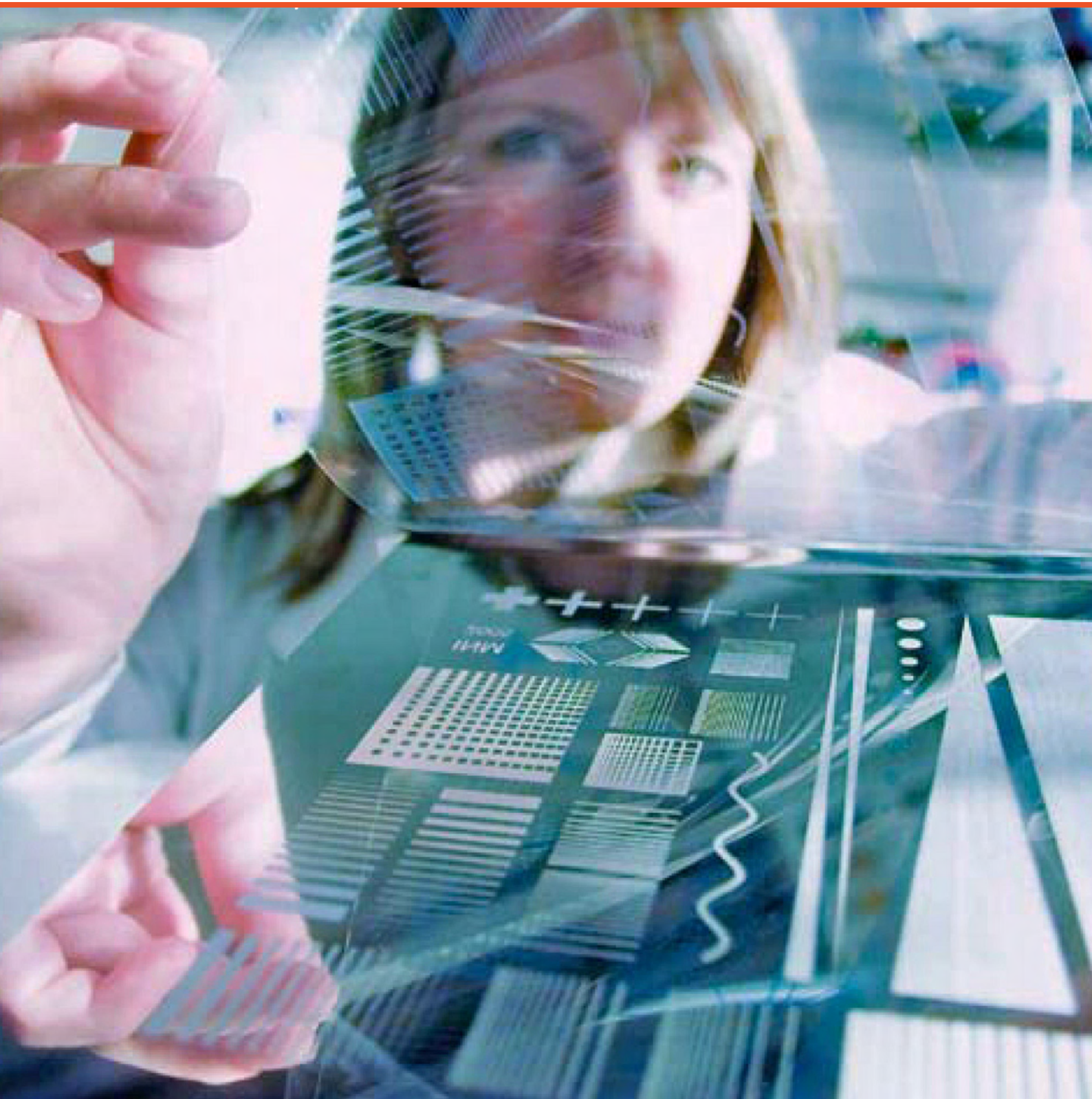
<sup>23</sup> SCHMIDT Helmut, in [www.inm-gmbh.de](http://www.inm-gmbh.de) ;

“The boundary surface matrix/particle gains a new dimensions through its large volume and thus becomes a new forming element (boundary surface determined materials ).”

<sup>24</sup> KIERAN e TIMBERLAKE, intervistati da PATTON Phil, *The New York Times*, 7 Aug 2003



Figura 2.1: fase finale della realizzazione di un film polimerico con proprietà ottico-selettive all'INM GmbH



## II. Stato dell'arte: Disponibilità di tecnologie e innovazione

### 2.0 Abstract

Si individuano le dinamiche di innovazione tecnologica che hanno sostenuto (push e pull) l'evoluzione degli involucri edilizi (cap.1). In particolare, focalizzando l'attenzione su film e strati funzionalizzati, si delinea il trasferimento tecnologico in atto da altri settori industriali a quello delle costruzioni, analizzandone le principali dinamiche e modalità, corrispondenti a casi di studio

- Innovazioni fondamentali
- Innovazioni adattive (es. film per il controllo solare)
- Innovazioni funzionali (es. film di sicurezza, autopulenti,etc)

Si accenna a scenari di ricerca e politica europea di sviluppo, come generatori di innovazione e quadri di riferimento per il mondo delle costruzioni. Si analizzeranno alcune delle traiettorie seguite da questi materiali per entrare nel mondo delle costruzioni, attraverso fasi di integrazione (prima ai vetri, poi agli elementi opachi), e descrizione generale del panorama dei film di rivestimento funzionalizzati per l'architettura. Si guarderà poi al contributo di nuovi scenari di mercato: i produttori organizzati in rete, il ruolo di alcune piccole aziende e della sperimentazione senza ricerca.

### 2.1 Trasferimento Tecnologico

A determinare le linee evolutive fin qui delineate hanno contribuito in maniera decisiva le tecnologie maturate in altri settori, poi trasferite in Architettura attraverso vari passaggi intermedi, che hanno naturalmente richiesto tempi e modalità differenti. Questo tipo di trasferimento di tecnologie, definito Research o Technology push da alcune teorie economiche<sup>25</sup>, ha fatto in modo che la disponibilità di conoscenze scientifiche e tecnologiche sviluppate in altri settori fosse applicata al settore delle costruzioni attraverso trasformazioni che hanno portato a nuovi materiali e prodotti. L'innovazione per trasferimento si è sviluppata prevalentemente nel campo dei materiali, ed è stata poi assorbita e diffusa dall'industria con tempi variabili in funzione dei diversi contesti; in generale, comunque, il sistema di prodotti e materiali a disposizione dei progettisti è divenuto molteplice ed articolato, e spazia dai materiali della tradizione, più o meno visibilmente innovati, fino a materiali che non sono affatto convenzionali per il settore edilizio, e all'applicazione in campo architettonico di

materiali e prodotti di portata sperimentale in termini assoluti, per cui, quindi, si sperimenta di fatto la condizione di impiego. Nella situazione attuale, inoltre, bisogna rilevare che, oltre all'avvenuta spinta da settori esterni, che ha portato ad un'iper-offerta, da parte dei grossi produttori, di materiali avanzati, si assiste ad una affermazione dei materiali stessi attraverso una trasformazione in prodotto che va di pari passo con l'emergere di esigenze nuove, o più specifiche, secondo le modalità del demand pull.

La dinamica dell'accettazione e dello sviluppo dell'innovazione all'interno di un dato mercato è ben descritta dal modello di Geoffrey Moore (figura 2.2): indicando sulle ascisse il tempo, e sulle ordinate il reddito, si individuano cinque zone, corrispondenti a fasi e attori successivi. La prima fase è quella dell'introduzione dell'innovazione: l'impatto è molto limitato, in quanto il mercato appare poco maturo ad accettarla e solo una fascia ristretta di persone è disposta ad investire. Dopo un gap, dovuto allo sviluppo delle tecnologie necessarie per sviluppare l'innovazione, c'è la fase dell'innovazione per adattamento: attraverso modifiche del prodotto o applicazioni nuove, l'innovazione comincia ad affermarsi, attraverso una fase di sviluppo; dopo di che, si arriva alla produzione, che può essere di tipo verticalmente integrato (e cioè in grado di produrre al suo interno tutte le parti necessarie), o di tipo outsourcing (che, cioè, disloca la produzione e centralizza l'assemblaggio), e si struttura in questi due modelli a seconda dell'organizzazione più snella e semplice per il prodotto in questione. Dopo questa fase, per affermarsi ulteriormente, il prodotto innovativo dovrà puntare su un miglioramento del modo di vendere: la cosiddetta marketing Innovation, seguendo poi un'ultima fase di business innovation, ovvero di riorganizzazione dell'organizzazione aziendale che è ormai lontana dalle logiche produttive, per giungere poi alla fine del ciclo di vita del prodotto innovativo.

Dal punto di vista strettamente tecnico, si può affermare che l'innovazione penetra nel sistema degli oggetti in due fasi: in principio il nuovo si fa strada lungo direttrici secondarie, in parallelo con le strutture produttive e i modelli organizzativi esistenti, o modificandole il meno possibile. In questa fase avviene spesso che, per esempio, i nuovi materiali vengano adottati in forma imitativa, cioè come puri sostituti di un materiale impiegato precedentemente, o mimetizzati sotto aspetti consueti e già noti. A questa prima fase segue una seconda in cui, invece, l'intero sistema viene ridefinito in funzione dell'innovazione disponibile. *“Perché ciò avvenga, tuttavia, occorre che al maturare dell'opportunità economica del cambiamento si uniscano la maturità culturale degli attori sociali*



# The Market Development Life Cycle

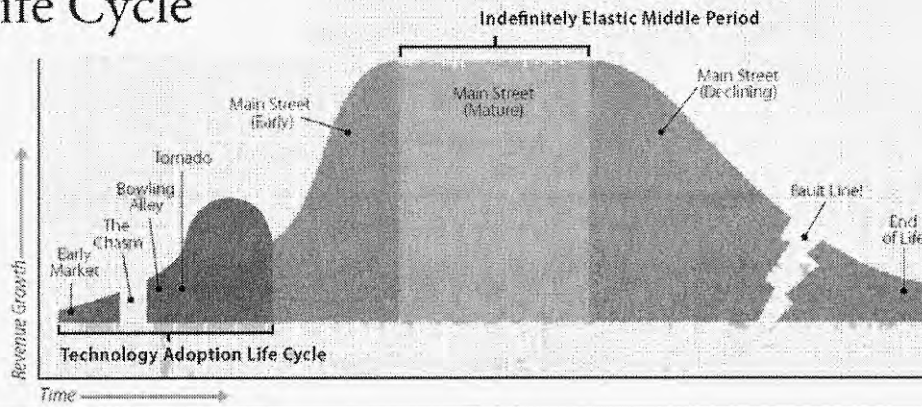


Figura 2.2

interessati e la capacità inventiva e progettuale di superare il modello di riferimento tradizionale per cogliere tutte le possibilità del nuovo”<sup>26</sup>

La disponibilità di conoscenze e strumenti, unita alla volontà di rispondere ad un'esigenza, rappresentano dunque i principali motori dell'innovazione che ha investito, in questi anni, il mondo della produzione di materiali e componenti per l'edilizia.

*“I nuovi materiali hanno profondamente trasformato la scatola degli attrezzi a disposizione oggi di ogni settore produttivo, costruzioni e architettura compresi. In questo ambito, però, i nuovi materiali tendono a seguire traiettorie del tutto originali a causa del fatto che il settore delle costruzioni è un settore arretrato, nel quale l'innovazione non nasce autonomamente e che, a causa di questa sua arretratezza, è da sempre tributario delle innovazioni che si sviluppano in altri ambiti. Ciò significa che i materiali, i prodotti, le macchine, le tecnologie produttive e via via fino ai programmi di disegno automatico, che in questi ultimi cento anni hanno così profondamente modificato il panorama del progetto e il mestiere stesso dell'architetto, ci sono quasi sempre arrivati perché altri settori più “forti” hanno deciso di intervenire e promuovere materiali, prodotti e know-how derivati da ricerche nate e promosse per altri scopi”<sup>27</sup>.*

L'affermazione di Sinopoli viene citata per l'interesse riguardo ad una delle principali dinamiche di Trasferimento Tecnologico nel settore delle Costruzioni: quelle “traiettorie originali” difficili da seguire e da riconoscere eppure costantemente in atto, come avviene nel caso specifico dello sviluppo di superfici funzionalizzate, nate in settori piuttosto lontani da quello delle costruzioni; trasferimento che pertanto pone una serie di questioni particolarmente interessanti, che avremo modo di approfondire nei prossimi paragrafi. La considerazione sull'arretratezza del settore fa invece da sfondo, e viene poi in parte smentita dall'affermazione di nuove opportunità, per l'edilizia, di una ricerca autonoma (vedi par. 2.3, nota4).

## 2.1.1 Categorie di innovazione nel caso di alcuni strati funzionalizzati

Il contenuto di innovazione incorporato in molti dei materiali e prodotti proposti per trasferimento tecnologico non bastano, di per sé, per portare ad un'automatica affermazione degli stessi nel settore delle costruzioni. Innanzitutto, la portata innovativa dei film funzionalizzati non è omogenea, e va dai film protettivi migliorati ad i più raffinati sistemi attivi (come ad esempio i film a cristalli

Figura 2.2: Grafico dell'accettazione dell'innovazione da parte di un mercato

La prima fase è quella dell'introduzione dell'innovazione, in cui l'impatto è molto limitato: il mercato appare poco pronto ad accettarla e solo poche persone sono disposte ad investire. Dopo un gap, dovuto allo sviluppo delle tecnologie necessarie per renderla accessibile, c'è la fase dell'innovazione per adattamento: attraverso modifiche del prodotto o applicazioni nuove l'innovazione comincia ad affermarsi, dopo una fase di produzione a regime, che può strutturarsi in vari modi, per affermarsi ulteriormente il prodotto innovativo dovrà puntare su un miglioramento del modo di vendere (marketing innovation), seguendo poi un'ultima fase di business innovation (riorganizzazione aziendale), ormai lontana dalle logiche produttive. Di qui si giunge alla fine del ciclo di vita del prodotto innovativo.

MOORE Geoffrey, “Darwin and the demons. Innovating within established Enterprise” in Harvard Business Review n. 82, Luglio-Agosto 2004, p. 86-92

liquidi, o i film elettrocromici o termotropici e così via), per cui, di fatto, è necessario un maggiore sforzo per la comprensione delle nuove potenzialità offerte. L'ampia offerta di prodotti può essere organizzata in tre tipologie, a seconda del contenuto innovativo e dell'impatto con il sistema e le capacità tecniche e materiali a disposizione: secondo una letteratura oramai consolidata<sup>28</sup> vi sono

- Innovazioni fondamentali, dette così perché soddisfano un bisogno che prima non era soddisfatto. Questo tipo di innovazione è il più raro, poiché rappresenta un atto di creazione di qualcosa di assolutamente nuovo, e nel panorama dei film funzionalizzati nasce, come si è detto, nell'ambito di settori di ricerca lontani da quello delle costruzioni.
- Innovazioni adattive, sono quelle che esistono già in altri settori, e che vengono poi trasferite e adottate dall'industria delle costruzioni, subendo trasformazioni più o meno originali. A questa famiglia appartengono molti dei film funzionalizzati oggi disponibili: film per il controllo solare, derivati dalle ricerche dell'industria automobilistica, film elettrocromici, a comportamento dinamico, per il controllo dell'incidenza termico-luminosa, ereditati dalle ricerche della NASA sui veicoli spaziali, film fotocatalitici, derivati anch'essi dalle ricerche nel settore dei trasporti volte a ridurre le emissioni di gas di scarico i film idrofobici o anti-adesivi, sviluppati grazie alle nanotecnologie e ispirati al comportamento degli organismi naturali (il cosiddetto effetto loto), etc.
- Innovazioni funzionali, che di solito si riferiscono all'evoluzione di un prodotto all'interno di uno stesso settore industriale per soddisfare nuove necessità. A questo gruppo appartengono molti film funzionalizzati, come ad esempio i film di sicurezza, mutuati dal settore automobilistico, o le pellicole schermanti, e così via.

Rappresentando il ciclo di vita di un prodotto come una successione di fasi che vanno dai requisiti al riciclo, attraversando le fasi della progettazione e produzione, è possibile notare che l'innovazione può riguardare tutte le fasi di vita di un prodotto, ed ogni fase ha il suo percorso di innovazione (figura 2.3).

Nel caso dei film funzionalizzati per l'involucro edilizio, possiamo tracciare una traiettoria che investe la parte alta del grafico: in questo momento coesistono ricerche in atto rispetto alla definizione di nuove funzionalità qualitative, rispetto alle nuove prestazioni quantitative, e rispetto alle prime indagini applicative che investono la progettazione a sistema e la progettazione dettagliata di tali elementi.

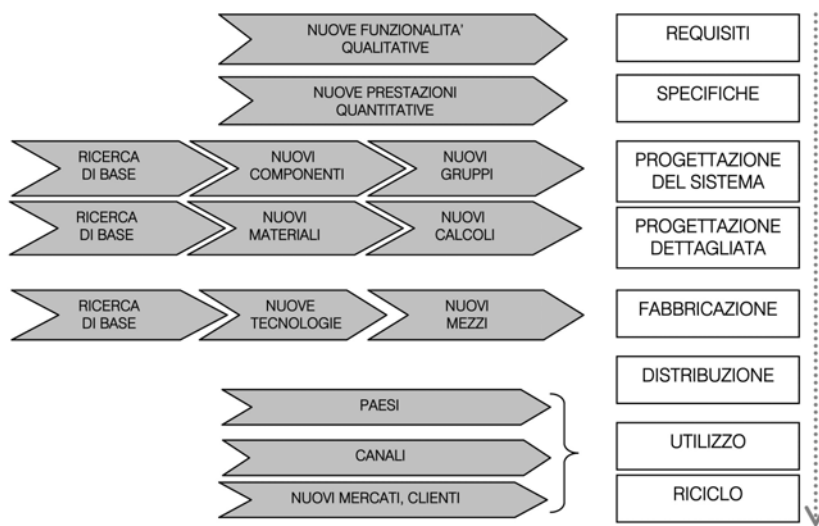


Figura 2.3:

### 2.1.2 Principali traiettorie del trasferimento tecnologico per gli strati funzionalizzati

I film, già largamente impiegati come rivestimenti superficiali con funzione prevalentemente protettiva, rappresentano oggi la sede privilegiata per l'introduzione, in Architettura, di tecnologie maturate in settori come la chimica avanzata (nanotecnologie) o l'elettronica, presentandosi notevolmente migliorati nelle prestazioni ed offrendo nuove possibilità di impiego.

La prima applicazione dei film funzionalizzati si è avuta per le parti trasparenti dell'edificio, e soprattutto per i vetri, sia perché questi presentavano forti criticità dal punto di vista energetico (se, da un lato, è ben nota l'importanza dell'illuminazione naturale, per la riduzione dei consumi di energia per l'illuminazione e per il benessere degli utenti, dall'altro bisognava disporre di strategie complementari per controllare i forti carichi termici estivi e le forti dispersioni invernali), sia perché, indubbiamente, i produttori del settore avevano una maggiore predisposizione culturale ad accogliere innovazioni di questo tipo; durante questa prima fase si è sviluppata un'ampia gamma di film sottili in grado di offrire prestazioni di sensibile miglioramento energetico, dal punto di vista dell'emissività, del grado di riflessione, e quindi del conseguente guadagno termico e luminoso.

Dopo questa prima fase, si è avuto un consolidamento di alcuni settori di ricerca unito all'organizzazione in rete da parte di istituti in grado di offrire spin-off ai produttori di materiali e componenti da costruzione. In un momento di congiuntura con la forte competitività internazionale sull'offerta di materiali di base, si è assistito ad un notevole sviluppo di film dalle prestazioni complesse, che pure, a ben vedere, erano stati brevettati da qualche anno (figura 2.4, 2.5, 2.6); per i vetri si sono messi a punto dispositivi raffinati di film elettrocromici, a cristalli liquidi, termotropici, per citarne alcuni, ed altri film di rivestimento innovativi hanno cominciato a proporsi anche per le parti opache degli edifici, sui supporti più vari: film anti-adesivi e idrofobici, film fotocatalitici (le cosiddette superfici autopulenti), film antibatterici, film fotocromici, cangianti, luminescenti, fotovoltaici. Allo stato attuale, accanto agli esiti delle prime applicazioni industriali si assiste ad un certo numero di applicazioni per l'edilizia, ed è già possibile constatare che i primi prodotti ad essere accettati sono stati quelli che non mettevano in discussione il sistema di conoscenze tecniche acquisite per il materiale in questione, ma che hanno viaggiato "in parallelo", accostandosi

Figura 2.3: Modello ad albero dell'innovazione nelle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto.

Rappresentando il ciclo di vita di un prodotto come una successione di fasi che vanno dai requisiti al riciclo, attraversando le fasi della progettazione e produzione, è possibile notare che l'innovazione può riguardare tutte le fasi di vita di un prodotto, ed ogni fase ha il suo proprio percorso di innovazione.

Tratto da "Traiettorie dell'Innovazione", lezione tenuta dall'ing. Mario Salmon nel quadro di M-Aster DOC, CNR, Bologna, 9 Luglio 2007

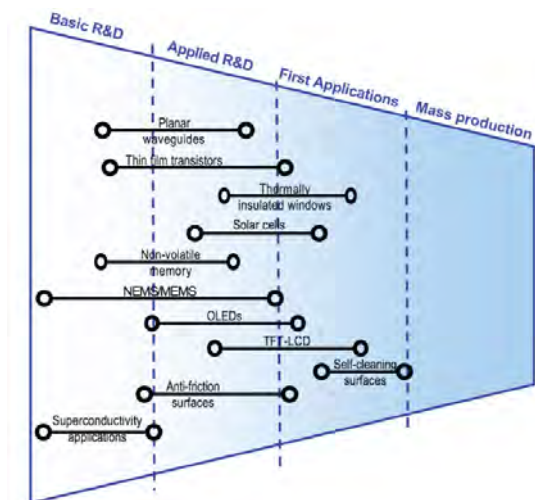


Figura 2.4

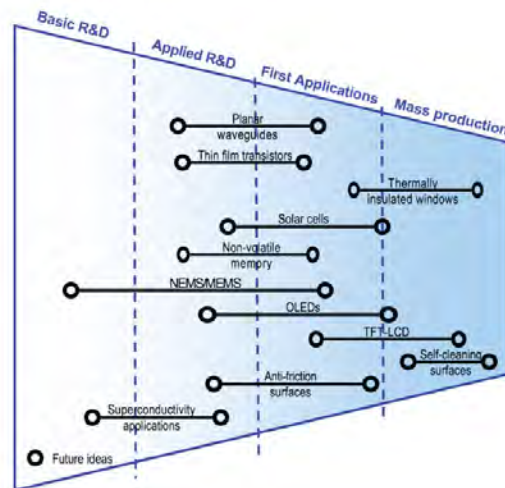


Figura 2.5

Figura 2.4, 2.5, 2.6: Fasi di sviluppo dei film nanostrutturati rappresentati ad oggi (figura 30), fra dieci anni (figura 31) e tra quindici anni (figura 32). Prospetto presentato nella conferenza "Nanotechnology Roadmap report", Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute, 2005.

Si prevede che molti dei prodotti oggi in fase di sperimentazione possano in breve giungere alla produzione di massa.

al materiale di supporto per un processo di stratificazione in grado di aggiungere nuove prestazioni di facile comprensione (come la caratteristica di autopulibilità, che consente al materiale o al prodotto in questione di mantenersi ad un livello di qualità elevato di per sé, senza bisogno di grandi interventi manutentivi esterni), ma senza modificarne, sostanzialmente, l'immagine. In questa fase l'applicazione dei film si è estesa ai produttori di materiali come le ceramiche, le leghe metalliche, i materiali plastici. E' negli edifici più rappresentativi, che si cominciano invece ad introdurre i dispositivi più avanzati, sperimentando soluzioni adattive e di forte richiamo cercando di indagare volta per volta gli aspetti dell'adattività per un comportamento climatico responsabile o delle grandi potenzialità espressive e comunicative degli involucri (aspetti che verranno approfonditi in cap. 7). Altra applicazione di grande interesse riguarda il potenziale impiego nella domotica, grazie allo sviluppo di film che si comportano come sensori ad alta prestazione, in grado di rivelare e misurare diverse grandezze (come temperatura, pressione, potenziale elettrico, lunghezze, ecc.) e le loro variazioni in funzione del tempo o di altre variabili, o che si comportano come attuatori: elementi in grado di determinare cambiamenti in un sistema controllato fino a raggiungere la condizione specifica desiderata. Questo, tuttavia, è un settore ancora tutto da indagare, ed inoltre

*"il percorso dell'innovazione dal pezzo unico al mercato diffuso, dal monumento al quotidiano, è molto meno rapido e certamente meno lineare per gli edifici e materiali da costruzione che per qualunque altro prodotto industriale (...) Dai prototipi si arriva abbastanza agevolmente a qualche applicazione nei segmenti alti del mercato, quelli che meritano almeno un articolo nelle riviste, mentre lo zoccolo duro del settore sembra refrattario a ogni innovazione poco più che funzionale. Che viene accettata a fatica e solo a condizione che riesca a trovare una collocazione, senza perturbarlo, nell'assetto tecnico consolidato"*<sup>29</sup>.

Volendo, dunque, tracciare un sintetico panorama del livello di integrazione di questi specifici prodotti al settore delle costruzioni, notiamo che il segmento alto del mercato, quello dei grandi edifici rappresentativi, viaggia sperimentando piuttosto liberamente le diverse applicazioni di film avanzati all'involucro, perseguendo obiettivi e strategie differenti ma comunque dimostrando ricettività ed interesse, mentre per lo zoccolo duro della produzione destinata al settore, e cioè per i grandi numeri, si assiste ad una integrazione di film avanzati molto più silenziosa, ma comunque progressiva.

Rispetto a quanto detto, sembra ancora attuale e appropriata



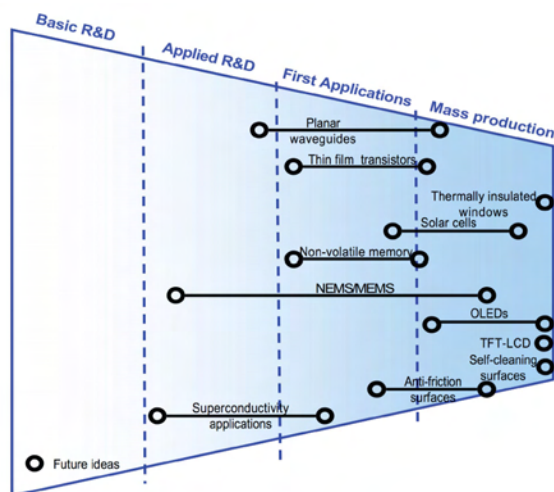


Figura 2.6

un'affermazione fatta da Manzini nel 1986 :

*“I nuovi materiali si presentano come un’innovazione pervasiva, analoga a quella dell’informatica, che penetra trasversalmente e capillarmente nel sistema tecnico, sociale e culturale, agendo su piani diversi: dall’organizzazione della produzione alle strutture della conoscenza, dalle tematiche occupazionali a quelle ambientali. Incentivi e freni alla trasformazione sono il riflesso delle complesse relazioni che legano ogni singolo elemento del sistema a un altro: oggi come sempre, il nuovo deve misurarsi con l’esistente e con l’inerzia del sistema complesso che esso rappresenta.”*<sup>30</sup>

## 2.2 Ricerca e Sviluppo come fattori chiave della politica industriale europea

A rafforzare ulteriormente le dinamiche di Trasferimento Tecnologico e di innovazione di prodotto di cui si appena detto, bisogna sottolineare l’importanza delle nuove strategie comunitarie europee per lo sviluppo industriale: se, infatti, fino agli anni Sessanta del Novecento, la teoria economica più seguita (Keynes et al.), nel suo complesso, non dava molta importanza all’innovazione tecnologica come fattore di sviluppo economico, (considerandola un effetto scontato, una variabile non prevedibile, innescata dall’organizzazione delle grandi imprese, strutturate ed organizzate secondo modelli gerarchici e piuttosto rigidi), solo in tempi relativamente recenti, e con il boom della new economy, si è cominciato ad identificare la tecnologia come il fattore determinante del cambiamento e della crescita economica<sup>31</sup>.

In seguito al Consiglio Europeo di Lisbona del 2000, l’UE ha fissato l’obiettivo di diventare, entro il 2010 l’economia basata sulla conoscenza più competitiva e dinamica del mondo, in grado di realizzare una crescita economica sostenibile con nuovi e migliori posti di lavoro e una maggiore coesione sociale, alludendo anche ad una valorizzazione delle piccole e medie imprese operanti su scala locale. I capi di Stato e di governo hanno convenuto che le attività di ricerca a livello nazionale e dell’Unione debbano essere meglio integrate e coordinate, e che, di fatto, devono diventare la risorsa chiave per rendere competitiva l’industria europea a scala globale.

Per realizzare questa strategia, il consiglio europeo di Barcellona del 2001 ha stabilito che gli investimenti dell’UE per le attività R&S devono aumentare fino a raggiungere il 3% del PIL entro il 2010 (1,9% nel 2000) di cui due terzi per investimenti privati ed



un terzo per investimenti pubblici.

Allo scopo di individuare le priorità tematiche strategiche per l'Europa nei principali ambiti di rilevanza industriale si stanno costituendo le Piattaforme Tecnologiche Europee, organizzazioni private informali che dovranno mobilitare una massa critica di risorse europee, pubbliche e private, e a cui spetta la definizione di programmi di R&S (SRA) per il raggiungimento di obiettivi prestabiliti (Vision) che possano consentire all'Europa di migliorare la propria competitività nel mercato mondiale. Questa struttura punta a favorire la collaborazione tra tutti gli attori della ricerca e dell'innovazione pubblici e privati a tutti i livelli, europeo, nazionale e regionale, e vede coinvolti sullo stesso piano università, enti di ricerca ed imprese. A differenza dei precedenti strumenti di finanziamento della ricerca, dunque, la 7a edizione (2007-2013) del Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo Tecnologico cerca di coinvolgere in maniera congiunta imprese e strutture di ricerca, per rafforzare le basi scientifiche e tecnologiche dell'industria della Comunità, favorire lo sviluppo della sua competitività internazionale e promuovere le azioni di ricerca ritenute necessarie ai sensi del Trattato, secondo i principi base della

- focalizzazione, in un numero limitato di priorità (approccio top-down)
- integrazione di competenze, strutture, organizzazione
- effetto strutturale (sostenibilità successiva)
- approccio problem solving (coerenza tra obiettivi e attività)

### **2.3 Il settore delle costruzioni e le sue sinergie con altri settori di R&D (scenario europeo)**

Per quanto riguarda il settore delle Costruzioni, la Piattaforma tecnologica (ECTP) ha definito le sue linee strategiche di ricerca (Strategic Research Agenda) coinvolgendo in prima persona ed in modo diretto il mondo imprenditoriale e della ricerca, nel tentativo di innescare dinamiche di tipo bottom up come strategia di innovazione.

*“La Strategic Research agenda presentata da ECTP a Parigi disegna uno scenario in cui l'evoluzione del settore delle costruzioni europeo è strettamente dipendente dalla capacità di migliorare il soddisfacimento delle esigenze dei clienti finali, di elevare decisamente il livello di sostenibilità, di aumentare la quantità di conoscenza incorporata in*

*prodotti e processi, e di attuare azioni concrete per realizzare queste trasformazioni, rendendo disponibili i materiali, i servizi e le tecnologie necessari*<sup>32</sup>.

Per quanto riguarda lo sviluppo di materiali avanzati per il settore delle costruzioni, la prospettiva dell'innovazione nella filiera delle industrie dei materiali da costruzione è stata sinteticamente descritta con il motto più conoscenza, meno materiale: consapevoli della forte competitività dei mercati stranieri, e allo stesso tempo consapevoli del potenziale sviluppato dalle ricerche di istituti ed università, gli operatori coinvolti hanno riconosciuto il ruolo strategico della ricerca, in grado di offrire prodotti ad alto contenuto tecnologico.

Nuove opportunità di cambiamento sono offerte dall'evoluzione rapida e costante di molti settori industriali, e ciò impone anche al settore delle costruzioni l'impegno di integrare i più recenti progressi tecnologici. Questa pressione può essere occasione di trasformare il settore in un'industria fortemente basata sulla conoscenza, attraverso un maggior utilizzo di tecnologie di informazione e comunicazione a tutti i livelli, e anche, per quanto riguarda il caso specifico dei materiali, l'introduzione di nano e bio-tecnologie, così come dei concetti messi a punto dall'industria automobilistica o aerospaziale, per creare nuovi materiali multifunzionali avanzati e per ri-ingegnerizzare i corrispondenti componenti edilizi e processi di costruzione.

*"I recenti sviluppi nella chimica, nella modellazione per la simulazione, nelle tecniche analitiche e in molte altre tecnologie hanno il potenziale di creare importanti svolte nella produzione, nelle proprietà e nell'uso dei materiali per la costruzione. Qualsiasi strategia per ottenere obiettivi economici, ecologici e sociali in Europa deve includere misure per migliorare la funzionalità, durabilità ed efficienza dei materiali usati per le costruzioni. Le nuove tecnologie e le tecniche di analisi offrono un ampio spettro di opportunità per sviluppi futuri. Un grande ostacolo per uno sviluppo efficiente delle conoscenze, sta tuttavia nella frammentazione delle attività di ricerca, sia a livello universitario che economico. Un migliorato coordinamento delle attività di Ricerca e Sviluppo, assieme alla rete di tutti i gruppi di interesse offre dunque un enorme potenziale per guadagnare velocità nello sviluppo di una comprensione fondamentale, che renderà possibile innovazioni fondamentali*<sup>33</sup>

Un esempio di questo nuovo atteggiamento si può riscontare già nelle tradizionali fiere di settore, dove compaiono sempre più frequentemente specialisti di nanotecnologie e di chimica

industriale<sup>34</sup>. Per quanto riguarda lo specifico dei film funzionalizzati, è importante citare alcuni importanti progetti di ricerca, in corso o appena terminati.

- Il Progetto Europeo SWIFT, acronimo per SWItchable Façade Technologies, finanziato dalla comunità europea, ha messo in rete, in quattro fasi del progetto, centri di ricerca in Gran Bretagna (Oxford Brookes University), Francia (CTSB di Grenoble), Slovenia (NIC di Lubiana), Grecia (NKUA di Atene), Belgio (UCL di Bruxelles), Olanda (TU di Eindhoven), Germania (ISE Fraunhofer), Italia (ENEA a Roma) attorno al progetto di studio e fattibilità di tecnologie di facciata a comportamento variabile, in particolare di Film Elettrocromici e Film Gascromici.

- Technische Universiteit Eindhoven (NL), soprattutto nella facoltà di Industrial Design, trovano un proficuo connubio il forte stampo ingegneristico e la tradizione artistica olandese ( <http://w3.id.tue.nl/nl/> ).

- Technische Universität München, Fakultät für Architektur, nella scuola di Thomas Herzog, un gruppo di ricerca è molto attivo nell'ambito degli studi sul sistema involucro e sulle sue parti. Sono state condotte alcune ricerche e brevetti sull'impiego di film termotropici (film attivi per temperatura) per elementi vetrati e altre sull'integrazione di strati a cambio di fase., svolte attraverso ricerche su modelli sia fisici che virtuali (<http://www.arch.tu-muenchen.de/english/faculty/> ).

- Rensselaer Polytechnic Institute, NY, Il prof. Van Dessel conduce dal 2003 ricerche sull' ABE (Active Building Envelope) attraverso l'integrazione di strati funzionalizzati ai componenti di involucro. Il National Science Foundation ha ritenuto la ricerca di particolare interesse, ne ha già sponsorizzato la prima fase, durata tre anni, che ha portato al brevetto di un prototipo del film ABE, e supporta oggi la sua seconda fase (<http://www.arch.rpi.edu>).

- Harvard University, Faculty of Architecture, la prof.ssa Toshiko Mori si interessa delle possibilità progettuali fornite dai nuovi materiali e da materiali innovati da strati funzionalizzati. Nel 2003 organizza una serie di workshop e tavole rotonde con i principali architetti per discutere su temi rilevanti dell'architettura contemporanea, e da questa serie di eventi nasce il libro "Immaterial/ Ultramaterial". Mori si occupa tuttora delle possibilità offerte da questi materiali al progetto di architettura (<http://www.gsd.harvard.edu/people/faculty/mori/core.html> ).

- Il Lawrence Berkeley National Laboratory, nel campus di

Berkeley, ha sviluppato film selettivi, elettrocromici e termotropici con il contributo di importanti sponsor (Sage, Permasteelisa). Il gruppo, coordinato dalla prof. Lee, sta svolgendo ricerche e test sulla caratterizzazione e simulazione del comportamento dei film per componenti trasparenti, e si occupa di un'intensa attività di ricerca trasversale, collaborando con i dipartimenti di Tecnologia dell'Architettura del MIT e di Berkeley (<http://research.chance.berkeley.edu/> ).

- Nel LESO (Laboratorio di Energia Solare) del Dipartimento di Architettura del Politecnico di Losanna, Svizzera, il prof. Jean-Louis Scartezzini ed il prof. Andreas Schueler svolgono da anni studi su modellazione, sperimentazione e test legati anche all'integrazione dei film ai componenti di involucro, soprattutto in un'ottica di controllo del flusso solare.

Le ricerche più avanzate, dunque, vivono di relazioni, di scambi tra competenze diverse, di circolazione di informazione ed idee, e soprattutto, vivono dello sforzo congiunto di più istituti coordinati in rete. A livello internazionale questo coordinamento è stato organizzato e strutturato da tempo, creando spesso associazioni ed enti di coordinamento riuniti per obiettivi e task specifici. All'interno di questo scenario, il settore delle costruzioni si sta adattando, seppure con i tempi lunghi che lo caratterizzano, alla sfida di istanze e stimoli provenienti da alcuni settori particolarmente attivi e consolidati.

### 2.3.1 Nanotecnologie

Le Nanotecnologie sono tecniche che consentono di determinare le proprietà dei materiali alla piccolissima scala, misurabile in nanometri (1 Nanometro= 1 milionesimo di millimetro, ed è cinque-dieci volte superiore alle dimensioni di un atomo). A tale scala i materiali comuni come metallo, vetro o ceramica, modificati manipolandone la struttura molecolare o a volte atomica, presentano caratteristiche e proprietà completamente diverse da quelle consuete nel loro stato solido.

L'impiego di prodotti nanostrutturati coinvolge a tutt'oggi un ampio numero di settori produttivi, da quelli bio-medicali alla confezione dei cibi, dall'elettronica all'edilizia. La loro ricaduta è talmente ampia da essere ormai considerate una tecnologia di base, che può contare su un grande numero di centri di ricerca e sviluppo, diffusi su tutto il territorio europeo. A ben vedere, molti dei prodotti già attualmente impiegati in Architettura derivano da



Figura 2.7



Figura 2.8

queste tecnologie, soprattutto per quanto riguarda coating, vernici, film.

A livello europeo, uno dei centri di ricerca di maggiore importanza nel settore della chimica industriale e delle nanotecnologie è l'INM (Institut für Neue Materialien), a Saarbrücken, in Germania ([www.inm-gmbh.de](http://www.inm-gmbh.de)), diretto dal professor Helmut Schmidt; oltre ad una lunga serie di brevetti, sviluppati per le applicazioni più varie, il Centro ha sviluppato prodotti per l'architettura, come film luminescenti, specchi e piastrelle con superficie antiaderente, film fotocromici trasparenti per oscurare, materiali da costruzione strutturali leggeri e prodotti da fibre naturali, ed ha in corso ricerche su materiali multifunzionali, nanoparticelle con speciali funzioni superficiali limitari, film conduttori trasparenti da applicare a vetri, film elettrocromici e fotovoltaici.

Anche a livello nazionale, tuttavia, esiste un Distretto tecnologico Veneto (Nanochallenge) che promuove da due anni progetti di applicazione di nanotecnologie attraverso trasferimento tecnologico ad altri settori, concentrandosi su film nanostrutturati in grado di aggiungere prestazioni ai materiali a cui sono applicati:

- in quanto strato protettivo (un esempio in figura 2.7), per il miglioramento dell'aspetto e della durabilità dei manufatti (proprietà antigraffio, antismog, anti UV, antiaderenti etc.)
- in quanto strato reattivo (un esempio in figura 2.8), in grado di cambiare colore e texture, di reagire alla temperatura, al rumore, allo sporco, ai batteri.

### 2.3.2 Chimica Industriale

I grossi gruppi chimici che hanno la possibilità di finanziare progetti di Ricerca e Sviluppo hanno già da tempo rivolto grande attenzione al settore delle costruzioni, sia per la promessa di un settore che garantisce grandi numeri che per un'affinità e contiguità di problemi connessi alle soluzioni di prodotti per ambienti difficili, in grado di innescare processi di innovazione per materiali d'involucro tradizionalmente esposti agli agenti atmosferici e a fattori inquinanti.

- BASF. La BASF Chemical Company possiede una sezione della per l'edilizia, la Architectural Coatings, che si occupa di sperimentare film di rivestimento innovati, per finiture sia interne che esterne. Alcuni dei prodotti brevettati sono già stati impiegati con successo in interventi sull'esistente, come ad esempio intonaci

Figura 2.7, 2.8: Lenti antiriflesso e lenti trattate con materiali luminescenti: trattamenti ottenuti con l'applicazione di film nanostrutturati



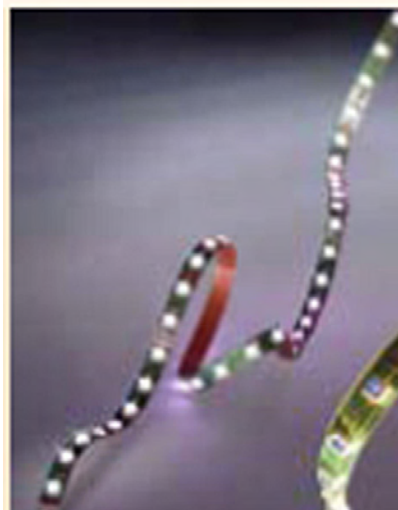


Figura 2.9: Film adesivo con LED Figura 2.10: dispositivi di incisione

a cambio di fase (1 cm di spessore), rivestimenti anti-sporco, antigraffio e con la proprietà di conservare il colore se sottoposto a raggi UV (<http://corporate.basf.com/>).

- 3M produce pellicole in vari materiali plastici, che assolvono un'ampia varietà di funzioni, dalla protezione degli alimenti al trasporto della luce nelle abitazioni. Le pellicole funzionalizzate possono essere destinate a vari scopi, dal packaging industriale e di generi alimentari, all'utilizzo decorativo o generico, alla gestione della luce e alla conservazione dell'energia (<http://www.3m.com/>).

- DUPONT, che produce una gamma vastissima di materiali di rivestimento avanzati e di prodotti funzionalizzati a spessore filmico (<http://www2.dupont.com/>).

### 2.3.3 Industria per l'automobile

L'automobile ha tradizionalmente radici comuni con la costruzione: ospita l'uomo, costituisce una "casa temporanea", rappresenta in sé la memoria di una trascorsa vita nomade; dal punto di vista della formazione culturale, spesso gli operatori del settore automobilistico e del design lavorano in team, secondo prassi ormai consolidate. Per queste e molte altre affinità, il settore automobilistico è da sempre stato fonte di ispirazione per l'architettura ed in certa misura anche per il settore produttivo dei materiali per le costruzioni, stimolando ricerca e riflessioni. Nello specifico dei film, l'aspetto probabilmente più interessante investe due tipi di applicazioni:

- l'aspetto di strato protettivo, per il miglioramento dell'aspetto e della durabilità dei manufatti. Tra le proprietà dei film ricordiamo quelle antigraffio, le proprietà autoriparanti, le proprietà di protezione, etc. (per inciso, Basf e Dupont sono presenti con un intero settore dedicato)

- al miglioramento delle prestazioni delle parti trasparenti (figura 2.11), in riferimento soprattutto al controllo di raggi UV, al controllo dell'abbagliamento, alla sicurezza. Due importanti esempi, a cavallo tra edilizia e automobili, sono Assofilm, l'associazione che identifica i produttori di film e pellicole per vetri e per l'edilizia, 3M, di cui si è già avuto modo di parlare, ma anche Pilkington (<http://www.pilkington.com/>) e Saint Gobain (<http://it.saint-gobain-glass.com/>), aziende concorrenti per la produzione di vetri sia per l'edilizia che per il settore automobilistico che fanno ampio uso di trattamenti superficiali funzionalizzati.



Figura 2.11

### 2.3.4 Industria elettronica

Nel 1992 la rivista *Science* pubblicava l'articolo "Animating the material world", riportando i risultati di alcune ricerche condotte nello sviluppo di materiali per l'elettronica, dotate di particolari potenzialità (figura 2.12, 2.13). In linea di massima, dall'elettronica arrivano fino all'architettura alcuni smart materials, in grado di comportarsi come sensori o attuatori.

I materiali in grado di comportarsi da sensori sono soprattutto i film piezoelettrici, o a fibra ottica, mentre quelli che si comportano da attuatori sono soprattutto materiali piezoelettrici o a memoria di forma. La rivoluzione di questi prodotti consiste nell'integrare nel materiale in sé le caratteristiche di un intero sistema di input ed output. In Architettura, l'introduzione di questi dispositivi è avvenuta sia in molti casi di progettazione di ambienti di lavoro ed uffici (e quindi, sostanzialmente, nella progettazione di interni), sia in alcuni casi di realizzazione di facciate attive, in grado di integrare dispositivi complessi in spessori ridottissimi, eppure in grado di veicolare contemporaneamente immagini e suoni, e di interagire con l'esterno e con gli utenti, concepite di fatto come elementi catalizzatori dell'architettura. Dai touch screen, ai dispositivi a cristalli liquidi, i film derivati dall'industria elettronica sono di fatto diventati elementi assai complessi (figura 2.13), disponibili in spessori sottili, flessibili e a volte anche trasparenti (figura 2.12). Per questo, rappresentano uno strumento dal grande potenziale espressivo e prestazionale per i progettisti, anche se il costo ancora elevato ne limita la diffusione ad edifici particolarmente rappresentativi.

Figura 2.11:  
Led inseriti in un film conduttivo trasparente: prototipo di display trasparente (n.b. le dimensioni reali non sono quelle mostrate nella foto, ma leggermente inferiori)

## 2.4 Scenari produttivi e di mercato

Nel panorama attuale della produzione di materiali e sistemi, dunque, il settore delle costruzioni sembra non avere ancora consolidato le strutture di ricerca ed informazione necessarie per un'innovazione del tutto autonoma: i casi in cui ciò avviene sono ancora l'eccezione, mentre quasi sempre le innovazioni sembrano arrivare da lontano. La ricerca ha però in sé il potenziale di agire in rete, in team, secondo traiettorie trasversali e multidisciplinari che, se da un lato impongono la difficoltà di comprendere i linguaggi differenti degli attori coinvolti, dall'altro rappresenta una risorsa di fondamentale importanza per generare innovazione. I materiali per la costruzione sono abitualmente considerati come risposte

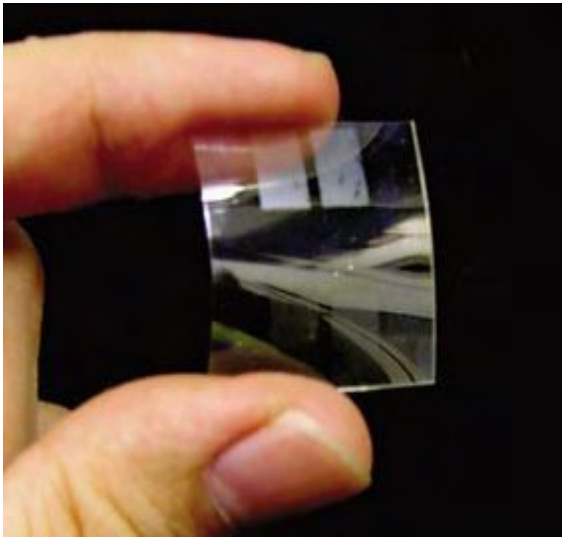


Figura 2.12

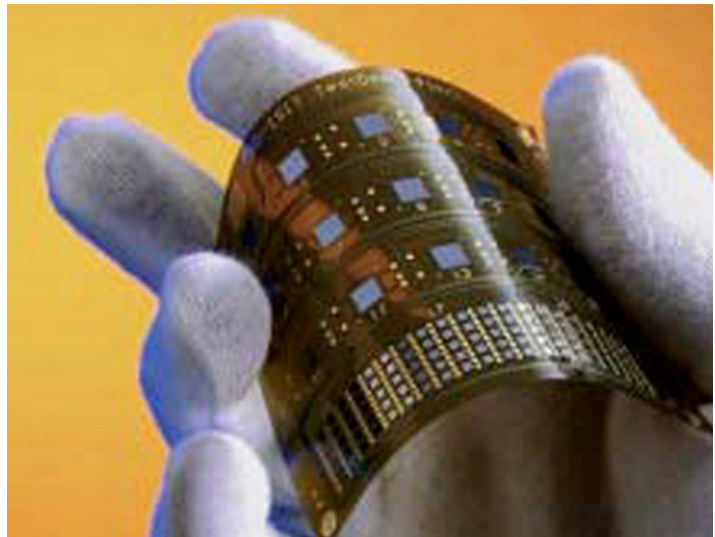


Figura 2.13

a funzionalità tradizionali, ma a monte del processo produttivo, la ricerca, con i suoi approcci diversi ed integrati (come le nanotecnologie, le tecnologie sensoristiche, ICT), può offrire la risposta a nuove funzionalità.

La Misura D3 dell'Obiettivo 3 (Fondo Sociale Europeo) "Sviluppo e consolidamento dell'imprenditorialità con priorità ai nuovi bacini di impiego" ha costituito di fatto una decisiva opportunità per fare compiere un salto di qualità agli interventi per la creazione di impresa, orientandoli verso obiettivi più ambiziosi e complessi, quali una politica di produzione basata sull'innovazione, o sullo sviluppo delle opportunità fornite dagli spin-off di centri di ricerca ed università, per affrontare i quali si stanno mettendo a punto strutture e reti di collaborazione tra i diversi attori coinvolti.

Il panorama delle New Technology Based Firms (NTBF) è variegato. Si possono identificare 4 strategie, basate sul tempo di ingresso nel mercato, sull'ampiezza dei prodotti (competitive scope), e sulla fonte del vantaggio competitivo

1. La strategia dell'innovatore ("first-mover strategy"). In questo profilo, l'impresa tenta di essere la prima a introdurre un nuovo prodotto nel mercato, e di sfruttare il monopolio temporaneo che ne deriva
2. La strategia di minimizzazione dei costi. In questo caso l'impresa tenta di guadagnare un vantaggio grazie a una maggiore efficienza sui costi
3. L'inseguitore veloce ("fast follower strategy") si basa sulla rapida imitazione delle innovazioni che sono state introdotte dai competitori
4. La strategia di nicchia. L'impresa si specializza su servizi molto personalizzati o su applicazioni particolari

Questi modelli, utili per individuare alcuni approcci strategici dei produttori rispetto all'innovazione, sono però destinati a registrare l'innovazione solo dopo che essa si è compiuta: i modelli legati all'innovazione, più che prevedere fenomeni futuri, dimostrano la propria utilità nel ricercare percorsi ripetitivi, e nell'impiegarli poi per dei sistemi che generino innovazione.

La subalternità del settore delle costruzioni nei confronti degli altri settori industriali si sta comunque progressivamente modificando, grazie al nuovo formarsi di grandi gruppi industriali, in grado di mettere insieme know-how, capacità di analisi di mercato e, soprattutto, ricerca e sviluppo. *"Il risultato finale è che anche all'interno*

Figura 2.12:  
Batterie flessibili trasparenti a spessore filmico

Figura 2.13:  
chip stampati su un film flessibile

*del settore delle costruzioni si stanno faticosamente generando le occasioni e le risorse per una ricerca finalmente autonoma e per nuove possibili innovazioni, anche nel campo dei materiali, finalmente sottratte ad essere solo innovazioni adattive, cioè trasferite da altri settori”<sup>35</sup>*

## **2.5 L’Innovazione senza ricerca: il ruolo di sperimentazione e creatività (scenario italiano)**

*“Il dato ossessivamente ripetuto del basso livello di spesa in R&S sul Pil in Italia va letto alla rovescia: come è stato possibile innovare così tanto spendendo così poco?”<sup>36</sup>*

Nell’interessante saggio dal titolo “L’ intelligenza s’industria”, Bonaccorsi e Granelli propongono il tema dell’innovazione di prodotto in maniera originale, cogliendo un aspetto interessante della realtà produttiva italiana: i sistemi di piccola impresa italiani hanno manifestato una straordinaria capacità di innovazione, ricreando continuamente quei vantaggi competitivi che perdevano sul terreno della pura competizione di prezzo. Le produzioni italiane si sono progressivamente posizionate su fasce di mercato meno sensibili al prezzo. Questa capacità di innovazione si è basata su meccanismi di divisione del lavoro e di cooperazione del tutto particolari, molto studiati anche all’estero, e non su una attività di ricerca e sviluppo formalizzata. In pratica, l’industria italiana ha seguito un modello di innovazione senza ricerca.

Le previsioni degli analisti erano sbagliate perché sottovalutavano la grande capacità di innovazione possibile, pur senza ingenti investimenti in ricerca e sviluppo, a sistemi territoriali di piccole imprese esposte alla concorrenza internazionale e capaci di estesi processi di divisione del lavoro verticale. L’Italia è il paese leader mondiale nella innovazione di prodotto non basata sulla ricerca e sviluppo. Nessun paese avanzato è riuscito a generare volumi così imponenti di innovazione senza spendere in modo consistente in ricerca e sviluppo. Gli autori invitano a cogliere le opportunità legate a questo modo di operare: se non si parte da questa premessa si rischia di non cogliere la portata della sfida. Invitando a non ripetere formule interpretative del passato (tipo «industria matura» o «bassa tecnologia»), essi stimolano ad interrogarsi più in profondità sulle possibilità insite in un modello di innovazione del tutto peculiare.

*“Vi sono secondo noi due direzioni di uscita diverse, che individuano altrettanti nuovi modelli di innovazione. Il primo si basa sull’idea di combinare tra loro i fattori di forza dell’industria tradizionale con la*



*nuova economia del terziario. Questo percorso richiede un po' di ricerca e sviluppo, ma soprattutto enorme creatività e capacità organizzativa. Occorre saltare il vecchio dibattito sulle tecnologie mature, o sui settori a bassa tecnologia, e rigenerare le basi della competitività nell'industria esistente attraverso combinazioni nuove di prodotti e servizi. Si tratta di aprire un grande cantiere di sperimentazioni, facendo leva sulle capacità esistenti, ma esplorando nuove dimensioni di valorizzazione economica. Il secondo percorso, invece, si fonda sull'idea di integrare a valle le grandi capacità scientifiche del paese per generare nuova industria nei prossimi dieci anni. Questo percorso richiede forti investimenti in ricerca, ma soprattutto innovazioni istituzionali nei mercati del lavoro, del capitale, delle professioni. Qui le sfide sono altissime, perché l'industria che utilizza ricerca si è strutturata, mentre l'Italia si dedicava ad altri problemi, in forma rigidamente oligopolistica.”<sup>37</sup>*

## 2.6 Il ruolo del design

Assistiamo oggi ad un'offerta sempre più consistente e consapevole di prodotti migliorati grazie a tecnologie di applicazione di film e pellicole: tale offerta giunge soprattutto dalla sperimentazione dei singoli produttori che hanno impiegato brevetti esistenti, in modo a volte silente e non organizzato. Questa dinamica va anche inquadrata in una tendenza delle imprese a diventare sempre più piccole e flessibili, e dinamiche dal punto di vista dei tempi di sperimentazione ed offerta di nuovi prodotti, tendenza che mette in crisi i meccanismi consolidati della ricerca e sviluppo e dei suoi finanziamenti. Si profila uno scenario dominato soprattutto dalla sperimentazione, quale motore di innovazione, più che dalla ricerca di base (figura 2.14, 2.15). Soprattutto, si assiste ad una mancanza diffusa di strumenti che permettano al progettista di capire e scegliere.

*“Il design, prima e più dell'architettura, costituisce l'occasione decisiva di trasferimento dell'innovazione. L'architettura, invece, è da sempre più restia a confrontarsi con il nuovo, anche se in questi ultimi anni, spinta dalle richieste di funzionalità, sicurezza, economia, sostenibilità e dalle sfide che provengono dalle norme e dal mercato, soprattutto dopo avere scoperto la grande capacità dei nuovi materiali di realizzare forme complesse, alte prestazioni energetiche e grandi resistenze meccaniche con pesi irrisori e minimi spessori, ha cominciato ad aprirsi all'innovazione”<sup>38</sup>*

Nello specifico dei film e pellicole per l'involucro edilizio, un evento importante è stata la recente istituzione di Assofilms, l'associazione





Figura 2.14

di produttori di film e pellicole per vetri, nata al fine di coordinare le iniziative e le potenzialità delle aziende produttrici. Tali aziende, più o meno grandi, offrono nella quasi totalità dei casi un doppio catalogo di prodotti destinati all'edilizia e al settore automobilistico, e tuttavia la presenza sempre più decisa nelle fiere di settore sembra alimentata da un potenziale di applicazioni in aumento.

*“I nuovi materiali escono dagli uffici studi delle grandi imprese a getto continuo, ma spesso sono le aziende più piccole a trasformarli in componenti edilizi o prodotti interessanti per l'Architettura. Qui nasce il ruolo della scuola e della sperimentazione progettuale, oltre che del design, vero cavallo di Troia che porta sempre più spesso l'innovazione verso il mondo delle costruzioni”<sup>25</sup>*

Figura 2.14: Divano trattato con un rivestimento fotocromico: riscaldato dal sole o dal corpo delle persone sedute, cambia colore

Note:

<sup>25</sup> DAVIDSON Colin H., “Technology watch in the construction industry: why and how?” in *Building Research and Information*, Vol. 3 n. 29, 2001, pp. 233-41.

BLAYSE Aletha Marie, MANLEY Karen, “Key Influences on Construction Innovation”, in *Construction Innovation*, Vol 4, No 3, 2004, pp 1-12

CIB (Construction Industry Board), “Partnering in the Team”, in *A Report by Working Group 12 of the Construction Industry Board*, 1997, London, Thomas Telford.

<sup>26</sup> MANZINI Ezio, (1986), op. cit. pag.41

<sup>27</sup> SINOPOLI Nicola, (2005), op. cit. pag. 103

<sup>28</sup> cfr. SINOPOLI, DAVIDSON, MORABITO, PAOLETTI, opere citate, et al.

<sup>29</sup> ANTONINI Ernesto, “L'eccezione è la regola”, in *Costruire* n. 250, Marzo 2004, pagg. 134-139

<sup>30</sup> MANZINI Ezio, (1986), op.cit., pag.41



Figura 2.15

<sup>31</sup> MOORE Geoffrey, “Darwin and the Demons. Innovatine within established Enterprise”, in Harvard Business Review n. 82, Luglio- Agosto 2004, p. 86-92.

MOORE Geoffrey, Crossing The Chasm, HarperCollins Publishers; 1998 pp. 222

<sup>32</sup> GROSSI Antonella, “Piattaforma di rilancio”, in Costruire n. 272, Gennaio 2006, pp.24-27

<sup>33</sup> Sito ECTP, Modern functional materials for the future of construction, in [http://www.ectp.org/fa\\_materials.asp](http://www.ectp.org/fa_materials.asp)

<sup>34</sup> Convegno internazionale “Le Nanotecnologie applicate all’edilizia”, nell’ambito del Saiedue 2006,

<sup>35</sup> SINOPOLI Nicola, “L’invenzione di nuovi materiali per l’architettura. Un’alleanza strategica tra fisica e chimica”, in Rassegna n. 80, Settembre 2005, pag. 107

<sup>36</sup> SINOPOLI Nicola, op. cit. 2006

<sup>37</sup> BONACCORSI Andrea, GRANELLI Andrea, *L’intelligenza s’industria. Nuove politiche per l’innovazione*, Bologna, Il mulino, 2006, pp.172

<sup>38</sup> BONACCORSI Andrea, GRANELLI Andrea “L’ intelligenza s’industria”. In Technology Review Italia, [Rassegna], n.5, Settembre-Ottobre 2006, p. 23

<sup>39</sup> SINOPOLI Nicola, “Fra scienza e progetto”, in Costruire n.273, Febbraio 2006, pag. 98-100

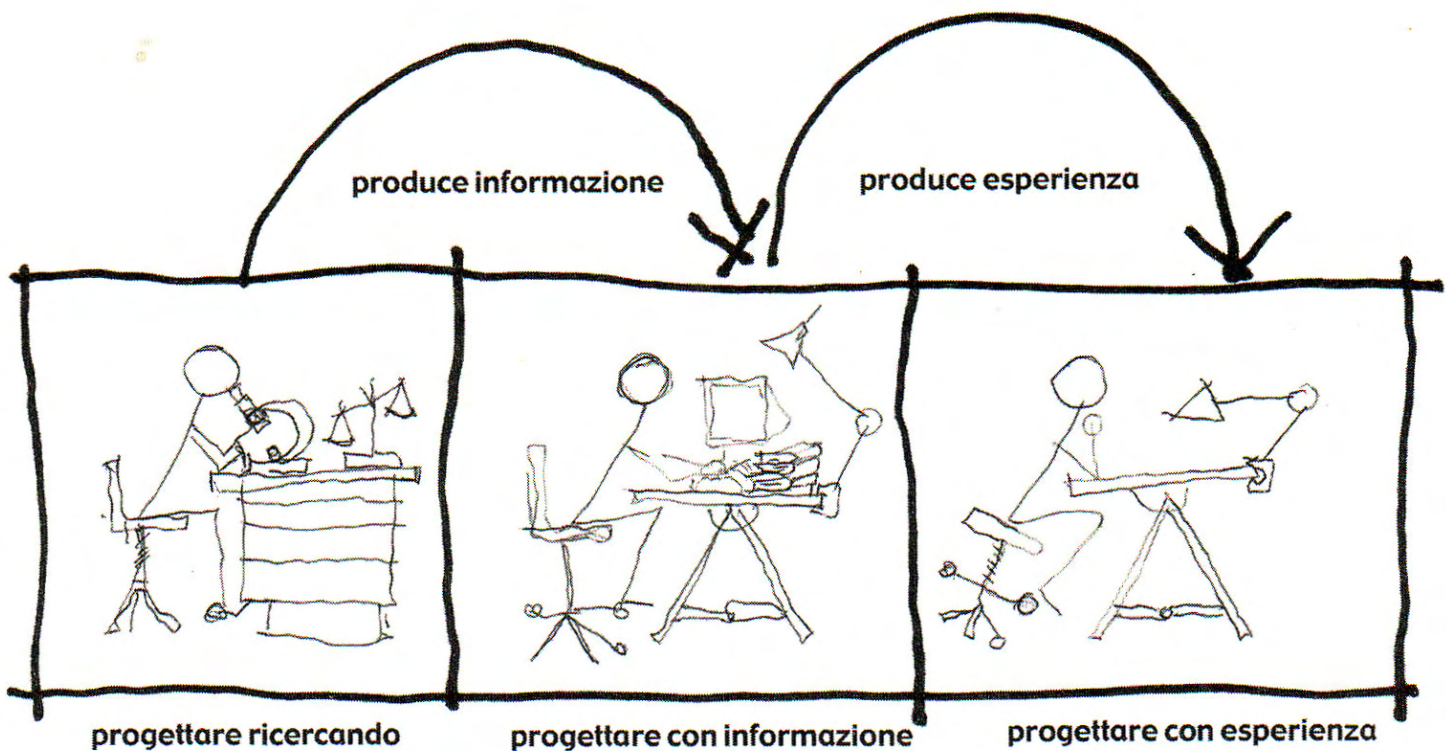
Figura 2.15:  
L’Inchiostro termocromico stampato sull’uovo permette di capire il punto di cottura.

Il design ha un ruolo molto importante nell’introduzione di materiali e prodotti innovativi negli oggetti di uso quotidiano

Figura 3.1: nella progettazione è essenziale che l'informazione venga elaborata al suo interno.

Rispetto al tipo di informazione utilizzata, possiamo distinguere tre tipi di progettazione: la progettazione con esperienza, che ricorre a procedure già note, adattate di volta in volta ai nuovi problemi; la progettazione con informazione, che invece ricorre alle conoscenze disponibili in modo nuovo o trasferendo informazioni da altri settori; infine la progettazione con ricerca, in cui si creano informazioni indispensabili alla progettazione attraverso procedure scientifiche.

Fonte: MORABITO Giuseppe, *Scienza e arte per progettare l'innovazione in architettura. Saggio su un processo progettuale alla "Leonardo da Vinci"*, Torino, Utet, 2004, p.163



### III.                   Proposizione del problema e metodologia di ricerca

#### 3.0 Abstract

Esiste dunque una famiglia di prodotti che innova, in modo più o meno silente, i materiali per l'involucro, ma notiamo che c'è una notevole lacuna tra l'offerta di prodotto e gli strumenti a disposizione di un progettista innanzitutto per comprendere le implicazioni di una scelta, e quindi per valutare e scegliere.

Perciò, nel rapporto con la materia e con le tecniche di intervento su di essa, la conoscenza di un progettista dovrebbe essere organizzata non tanto intorno alle entità fisiche dei materiali, quanto piuttosto intorno alle relazioni che essa assume con l'insieme, e alla varietà delle soluzioni possibili.

Un'organizzazione del panorama dei film e trattamenti superficiali funzionalizzati per l'involucro edilizio, secondo una lettura rivolta ad architetti, presuppone una riflessione sull'organizzazione e quindi sull'uso dell'informazione per la progettazione.

Il problema sarà dunque innanzitutto quello di ricavare dati dai fatti già noti, selezionando i dati esistenti secondo un frame funzionale derivato dalla teoria esigenziale-prestazionale; questa operazione consente innanzitutto di comprendere e finalizzare i dati, e di organizzarli poi in un sistema omogeneo e organizzato. A questa fase segue il passaggio dai dati alle informazioni possibili attraverso l'operazione di modellizzazione: fase che riporta i dati in un sistema di relazioni, fornendo un'informazione direttamente utilizzabile e facendo emergere le implicazioni ad essa collegate.

#### 3.1 Proposizione del problema

##### *Cosa*

Il problema scientifico posto all'origine di questa ricerca si colloca dunque nell'individuazione di un campo di strumenti nuovi e dal comportamento a volte complesso affidati all'architetto dall'innovazione e dalla sperimentazione tecnica. Questi strumenti, costituiti dagli strati funzionalizzati, o film, o pellicole (si parlerà poco avanti del nome proprio che li definisca, nel campo dell'architettura, cfr. par.4.2) sono caratterizzati dagli spessori sottili, e dal venire impiegati nei componenti per l'involucro edilizio come elemento funzionalizzante: applicabili a diversi supporti per arricchirne le prestazioni, essi sono disponibili sul mercato spesso sia nella loro forma di semi-lavorato che sotto forma di prodotti

compositi, in cui sono già accostati più o meno irreversibilmente ad altri materiali. Definito quindi un campo di applicazione nei componenti per l'involucro edilizio, si pone innanzitutto il problema di come comprenderne l'interazione e il contributo prestazionale.

#### *Perchè*

*“Se la tecnica perde di vista ogni finalità e sottrae agli individui ogni potere di previsione sugli effetti delle loro attività, è determinante il ruolo che può essere svolto da una coerente riflessione di carattere tecnologico, al fine di evitare che la tecnica costituisca un evento autonomo e non controllabile. Il rischio della deriva tecnicistica del sapere richiede oggi di attuare una continua ricomposizione delle conoscenze tecnico-scientifiche sulla base delle scienze umane al fine di non smarrire una capacità di lettura critica del mondo. Va, in altre parole, evitato il sopravvento del “sapere che cosa” sul “sapere perché”, che costituisce l'intenzione, la riflessione, l'orientamento e la selezione delle tecniche”<sup>35</sup>*

Manzini individua immediatamente una lacuna nell'accettazione acritica di dati forniti da produttori o scienziati.

Nell'ambito dei film, tale lacuna si presenta con particolare gravità, anche per la moltiplicazione delle lingue dovuta alla forte specializzazione del sapere tecnico: la moltiplicazione delle competenze, dei linguaggi, dei canali di comunicazione, ostacolando la comprensione e perfino la semplice conoscenza delle nuove possibilità, rende sempre più difficile la riproduzione di quel sapere tecnico di cui il progettista ha bisogno per effettuare le sue valutazioni e che, tradizionalmente, si costruiva con l'esperienza e la consuetudine d'impiego.

D'altra parte, nelle mani dell'architetto viene posto un nuovo vocabolario, grazie ad un mercato sempre più sofisticato, unito alla proliferazione di nuove tecniche per migliorare le proprietà delle superfici, opache e trasparenti, e allo sviluppo di tecnologie alternative da accostare in parallelo (film e strati funzionalizzati).

Tale possibilità si traduce però anche in nuove responsabilità relative agli imperativi dettati dalle performances, dal comfort, dalla salute, dal rispetto dell'ambiente, dal risparmio di energia e risorse. Se è vero, infatti, che l'innovazione tecnologica ci mette a disposizione molte nuove possibilità, è altrettanto vero che, per impiegarla, si impone lo sforzo di comprenderne caratteristiche, effetti, ricadute: è necessario strutturare le informazioni, se si vuole uscire dal caos dell'eccesso di informazione e trovare soluzioni utili



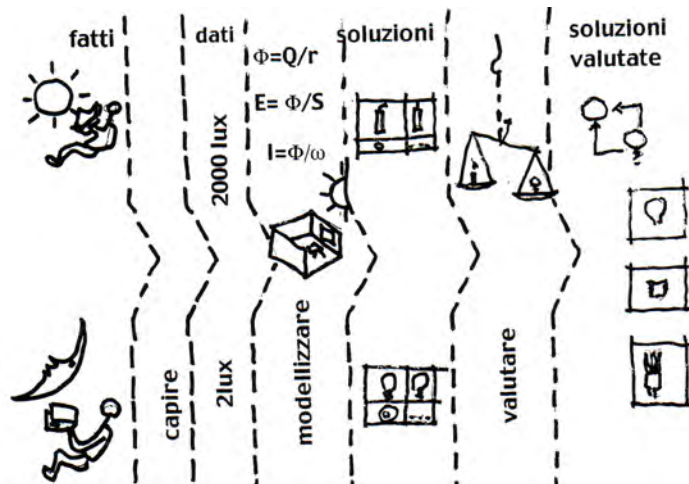


Figura 3.3: i passaggi che strutturano l'informazione

e valide per un utilizzo pratico.

Queste soluzioni tecniche non fanno parte del bagaglio di esperienze di un architetto, pertanto non vi sono a riguardo informazioni già conosciute, capite e pronte per essere utilizzate. Dovendo attingere l'informazione da settori differenti da quello dell'Architettura, la prima evidenza che si osserva è che i dati a disposizione sono di tipo assai diverso a seconda che vengano forniti dai produttori o dagli scienziati (soprattutto chimici ed ingegneri dei materiali) che in questi anni si stanno occupando di misurare, testare, valutare il comportamento dei film in condizioni specifiche. I tipi di dati forniti sono da un lato troppo generici e non omogenei, dall'altro estremamente accurati e precisi, ma proprio per questo inutilizzabili per un impiego immediato.

#### Come

Il tema della ricerca si inquadra dunque attraverso due fasi principali:

- riflessione sull'informazione

L'accelerazione delle trasformazioni tecniche, insieme alla moltiplicazione crescente dei materiali esistenti e dei relativi processi di trasformazione, sfugge dunque a definizioni e classificazioni per vastità di ambito e scarsa integrazione tra gli specialismi coinvolti. Alla luce di queste considerazioni si pone con evidenza il problema di riorganizzare e finalizzare le conoscenze in modo coerente, affinché possano diventare informazione utilizzabile, accessibile all'architetto.

*“L'informazione deve essere quella che conduce alla comprensione. Ognuno di noi deve avere una misura personale cui attenersi per definire questa parola. Ciò che costituisce informazione per alcuni, per altri può essere soltanto un mero dato. Se per voi una cosa non ha alcun senso, allora non può essere definita informazione”<sup>36</sup>*

Per questi prodotti, quindi, non ci si potrà affidare alle informazioni già comprese e valutate fornite dall'esperienza, ma si dovrà cercare di costruire una informazione nuova, in grado di riportare tali nuove conoscenze nell'ambito del progetto e delle relazioni tra le sue parti.

- uso dell'informazione

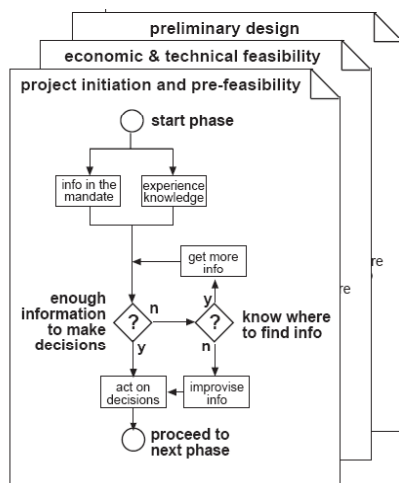


Figura 3.2: procedure per ottenere informazioni in fase progettuale

Dal Progettare con esperienza al Progettare con informazione

Occorrerà quindi affidarsi ad un diverso tipo di procedure, non dettate dall'esperienza ma strutturate utilizzando le conoscenze disponibili in modo nuovo, e trasferendo informazioni maturate in altri settori.

Nel caso dei film per le parti ed i componenti di involucro, si cercherà di operare sui dati disponibili per trasformarli in informazioni utilizzabili. Non ci si potrà affidare alle procedure legate all'esperienza, ma si dovrà procedere in questo caso cercando e costruendo l'informazione utile all'architetto (Alexander, Jones, Morabito et al.)

*“dai fatti ai dati, attraverso la comprensione; dai dati alle soluzioni possibili attraverso la modellizzazione; dalle soluzioni possibili a quelle analizzate attraverso la valutazione; dalle soluzioni valutate all'organizzazione attraverso l'implementazione dell'intero sistema”<sup>37</sup>*

Partendo dall'analisi delle informazioni, nei casi in cui le relazioni dei parametri da valutare risultino complesse, è determinante la costruzione di un modello. Esso, infatti, permettendo di stimare sia le probabilità che possano verificarsi alcune ipotesi piuttosto che altre, sia le conseguenze che da esse possono conseguire, aiuta la nostra scelta.

### 3.2 Obiettivi

Obiettivo della ricerca è quello di sviluppare un approccio all'innovazione di prodotto rappresentata dai film per l'architettura, concentrandosi sull'uso dell'informazione da parte di un architetto. Per non affidarsi a dati convenzionalmente analitici, propri di approcci specialistici e settoriali, ma renderli utili all'impiego da parte di un architetto, sarà necessario comprenderli e finalizzarli, per costruire un patrimonio di dati, organizzati e possibilmente omogenei; per avere rispondenza e feedback, si dovrà proseguire impiegando un modello in grado di simulare alcune soluzioni possibili al variare dei film impiegati. Poiché le possibili applicazioni sono molte, si svilupperà uno strumento semplificato finalizzato ad un solo aspetto del comportamento dei film, lasciando necessariamente inesplorate alcune caratteristiche, ma auspicando sviluppi ed integrazioni successive.

Tale obiettivo può essere espresso in due fasi principali:

- Organizzazione di dati e conoscenze relativi al panorama dei film e trattamenti superficiali funzionalizzati per l'involucro edilizio, secondo una lettura rivolta ad architetti.

- Elaborazione di un modello teorico di previsione e supporto alla progettazione, fase che si propone di riportare le informazioni raccolte all'interno del modo, complesso, di operare di un architetto: individuare, cioè, le relazioni tra i prodotti individuati ed il sistema tecnologico di cui fanno parte, per individuarne concretamente l'interazione.

### 3.3 Linea di ricerca

#### *Struttura e fasi*

Il primo passo necessario, dunque, è capire quale sia il dato utile per un architetto.

*“La complessità del compito del progettista sta dunque nel non poter parlare la lingua di tutti (o nel non poter sperare che tutti parlino la stessa lingua), ma nel dovere, in teoria, comunicare con tutti o favorire la comunicazione generale, per evitare la situazione della “torre di Babele”. L'impasse non può essere superata semplificando il problema con l'introduzione di una superlingua tecnica valida per tutti, ma, paradossalmente, complicandolo con l'introduzione di un nuovo linguaggio, proprio dei progettisti, che sia fondato sulle domande “Che cosa serve?” e “Come funziona?”, che permetta di tradurre immagini mentali e intuizioni formali in prestazioni e parametri, che consenta di definire interfacce praticabili con il maggior numero di linguaggi diversi”<sup>38</sup>*

Questa affermazione va letta, dunque, come uno stimolo a porsi in modo critico rispetto ai fatti, alle evidenze fornite dagli specialisti coinvolti. L'architetto ragiona riportando tali fatti in termini funzionali, innescando un'operazione che struttura i fatti in dati per trasformarli infine in informazione.

I dati relativi ai film provengono innanzitutto da sperimentazioni assai precise e dettagliate del loro impiego in determinate condizioni d'uso, fornendo dati analitici estremamente precisi, ma proprio per queste due caratteristiche (analiticità e precisione) praticamente inutilizzabili in fase progettuale.

Rispetto alle prestazioni aggiunte in parallelo da film e strati funzionalizzati, si pone dunque il problema di ricondurre l'analisi dei materiali a disposizione ad un livello di sintesi e ricomposizione

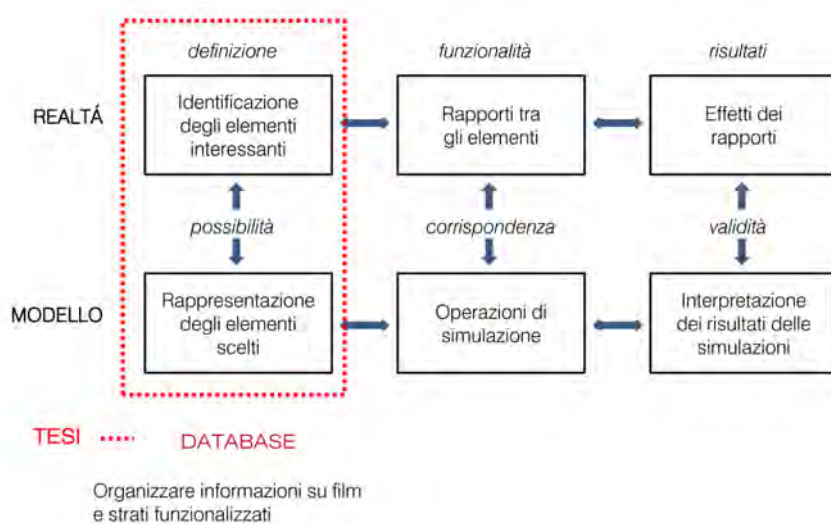


Figura 3.4: I fase, la selezione ed organizzazione dei dati utili (dai dati ai fatti)

delle istanze, processo che porti all'organizzazione di un sistema di dati comprensibile ed accessibile al progettista, attraverso criteri di ricerca e selezione di tipo funzionale- prestazionale, proprio per rispondere alle domande "Che cosa serve?" e "Come funziona?", su cui Manzini invita a riflettere.

#### Sintesi

Il secondo passaggio impone invece un approccio sistemico al progetto, tale da includere anche la possibile soluzione tecnica rappresentata dai film all'interno del sistema nel suo complesso, allo scopo di fare emergere relazioni e interazioni possibili.

Sul progetto si possono dire due cose: *"la prima è che il progetto deve essere rappresentazione virtuale totalmente definita (nelle sue singole parti specifiche e negli documenti che lo accompagnano) dell'edificio che deve essere realizzato; la seconda è che necessariamente fra il programma e l'edificio finito la progettazione deve seguire un percorso che fa passare dal virtuale al reale e dalle molte possibilità ad un risultato finale unico attraverso tappe di scelta e determinazioni successive che si materializzano in quelle che vengono normalmente definite le tappe del progetto"*<sup>39</sup>. Per effettuare dunque le valutazioni necessarie alla scelta, è necessario di dotarsi di modelli virtuali che permettano di indagare preventivamente una serie di caratteristiche del progetto (le cosiddette qualità emergenti): nell'esplorazione progettuale di un'idea si avanza in una direzione anche per poter ritornare e modificare le condizioni iniziali.

Ciò vuol dire che sarà necessario costruire uno strumento in grado di trasformare i dati in informazioni, misurabili e paragonabili per valutarne l'opportunità tra un insieme di scelte possibili. Gli strumenti che la Tecnologia possiede, per esprimere relazioni e valutazioni sono i modelli simulativi: rappresentazione semplificata della realtà, che tuttavia permettono di studiarne in modo stimolante alcuni aspetti. Nella terza parte della ricerca, si passerà dunque alla costruzione di un modello che sia strumento di simulazione e valutazione di alcuni aspetti del sistema involucro, e che permetta di integrare gli strati funzionalizzati per consentirne una valutazione del comportamento e permetterne la comparazione con altre alternative tecnologiche.

#### Metodologia

L'analisi di un campo ampio e sfuggente quale sembra essere



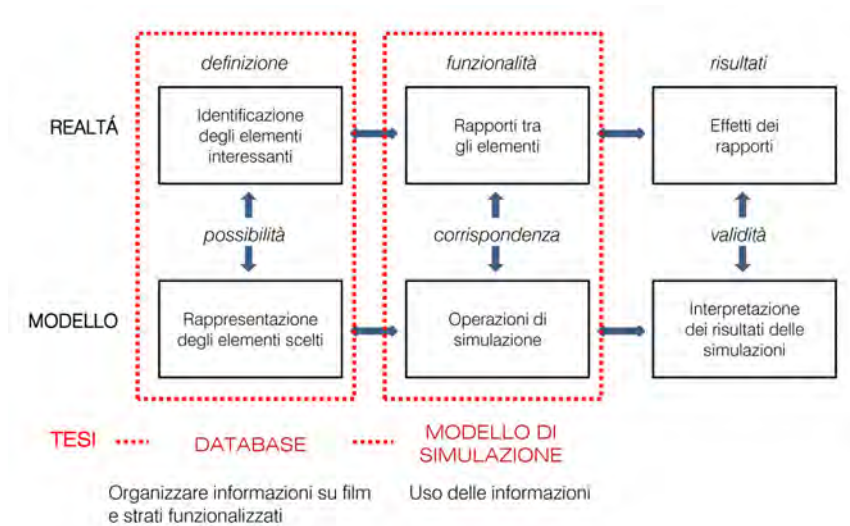


Figura 3.5: Il fase, uso delle informazioni: costruzione di un modello (dai dati alle soluzioni possibili)

quello degli strati funzionalizzati per l'involucro di Architettura, e l'indagine delle principali relazioni che questi instaurano con l'intero sistema dovrà necessariamente svilupparsi in due fasi, cui corrispondono aspetti metodologici differenti.

Il primo passo in cui questa ricerca si muove è innanzitutto quello di organizzare le conoscenze sui film per i componenti di involucro secondo criteri funzionali accessibili ai progettisti. Nella seconda fase della ricerca si pone infatti il problema di individuare una serie di approcci, di chiavi di ricerca per esplorare materiali e prodotti relativi agli strati funzionalizzati, che siano propri del procedere dell'architetto, tra una moltitudine di competenze, attraverso strumenti che non sempre gli appartengono, perseguendo la creatività delle sue idee.

1) Organizzazione di un sistema di dati

Si organizzeranno dunque gli strati funzionalizzati (nella loro accezione di film e di coating attivi) secondo i principali requisiti espressi da normativa vigente, e si strutturerà un insieme di dati ritenuti utili, in modo da costruire un sistema di dati. Rispetto ad una classificazione di tipo tassonomico, basato su una struttura di conoscenze statica, si pone il problema di utilizzare una struttura classificatoria dinamica, che tenga aperte le relazioni tra le voci della classificazione, e permetta letture trasversali dei dati raccolti. Per far questo, occorre che la classificazione diventi metodo operativo, ovvero che introduca l'aspetto relazionale dei dati, e che si avvalga di strumenti operativi adeguati, quali i database.

I dati che si ritiene utile registrare sono soprattutto ricondotti alle prestazioni espresse da normativa, e contengono poi i dati tecnici che si ritengono rilevanti per un impiego nel sistema involucro.

2) Costruzione di uno strumento operativo:

Sulla base di una tale organizzazione dei film per l'involucro di architettura, si rende necessario lo sforzo di leggere questi dati in forma più completa: ovvero integrandoli nel sistema involucro non solo qualitativamente, ma quantitativamente. Partendo dal presupposto che gli strati funzionalizzati siano dei componenti a spessore sottile, si restringe il campo a quelli applicabili a supporti trasparenti, particolarmente importanti per il loro contributo alla prestazione globale relativa al comportamento termico-energetico dell'involucro.

Concentrando l'attenzione sulle prestazioni di trasmissione di

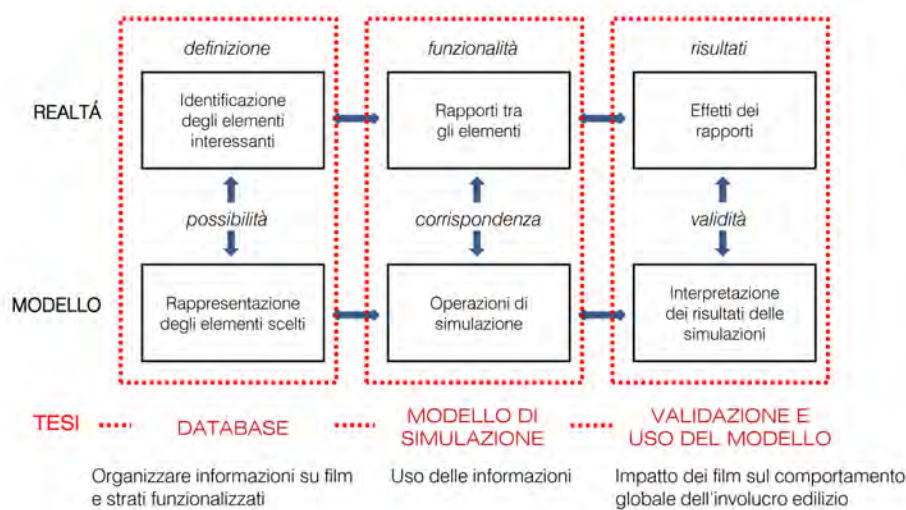


Figura 3.6: III fase, l'impiego di uno strumento per prevedere (dai dati alle soluzioni possibili)

energia solare e trasmissione luminosa visibile, si costruirà un modello di valutazione in grado di integrarsi ed implementare un modello esistente con il risultato finale di permettere una valutazione del comportamento energetico complessivo di un involucro, con l'applicazione di film funzionalizzati. Si cercherà di costruire un modello di supporto alla conoscenza, alla valutazione, alla scelta di uno o più film. Tale strumento dovrà essere di aiuto al progettista attraverso una procedura snella ed offrendo valori sintetici confrontabili.

Questa fase fa emergere le relazioni tra le parti e l'insieme, e soprattutto porta ad un'informazione immediatamente comprensibile, e quindi utilizzabile.

*“Un elemento complesso, come è un edificio inserito nel suo ambiente, può essere analiticamente scomposto e definito in vari modi e tra questi, sicuramente, vi sarà una scomposizione ideale per raccogliere i dati ai nostri precisi fini”<sup>40</sup>.*

Un modello, dunque, può essere realizzato “su misura” per far emergere gli aspetti d'interesse, e può essere realizzato impiegando dati e modelli già disponibili e conosciuti:

*“Il nuovo passa necessariamente attraverso la conoscenza del vecchio, per non ripercorrere vanamente strade già studiate da altri, e si avvale di una costante osservazione critica per migliorare quello che si fa. La ricerca dell'innovazione non è la ricerca del nuovo. Un'innovazione è tale se è nuova e migliore di una soluzione che l'ha preceduta”<sup>41</sup>.*

Nella convinzione che questo processo vada supportato da strumenti adeguati, si è dunque privilegiata la fase simulativa, rivolgendosi all'analisi di alcuni modelli già esistenti, disponibili e conosciuti dai progettisti, per svilupparne quindi una parte nuova, riguardante i film per l'involucro. Tale integrazione potrà essere di supporto all'architetto nella fase iniziale del progetto, fornendogli dati di semplice comprensione ed impiego, sulla base dei quali poi effettuare considerazioni e scelte successive. Si ritiene, infatti, che sin dalle prime fasi dell'attività progettuale debba essere possibile scegliere tra l'opportunità di un componente o di un altro, visto che ogni soluzione tecnica scelta in fase iniziale di un progetto ha ricadute determinanti su tutte le fasi successive di definizione ed affinamento del progetto stesso. L'attenzione si è dunque rivolta ai modelli semplificati, che hanno una loro grande utilità nel fatto di fungere da strumento di feedback fin dalle prime fasi del progetto.

Essi, infatti, si dimostrano particolarmente interessanti in quanto

interessano le fasi iniziali di progetto, quando l'insieme di vincoli e risorse comincia a "conformarsi" (collocazione nel sito, forma, orientamento, strategie costruttive e tecnologiche ecc.). Le informazioni in questa fase sono particolarmente importanti, perchè, nel caso in cui si verificano scelte errate, non è più possibile intervenire a valle del processo se non con scelte "emendative".

Scriva Gianni Scudo in proposito:

*"È importante comunque tenere presente che il progetto dell'architettura alle diverse scale non è solo una ricaduta che deriva da un programma funzionale, cioè dai requisiti di metaprogetto. Dalle funzioni non segue la forma (forms follows fiasco), ma in qualche modo la forma generale è una prima sintesi di vincoli e potenzialità che anticipa e condiziona l'assetto prestazionale successivo del progetto; gli strumenti semplificati che quantificano preliminarmente i caratteri di un edificio (tra cui quelli ambientali, come l'orientamento, o la relazione tra trasparente ed opaco), servono all'inizio del processo sia per evidenziare le disattitudini (misfit, nei termini di Alexander), cioè la mancanza di rispondenza tra requisiti (anche ambientali) e forma, sia per dare contributi alla sintesi "prestazionale" della forma; in altri termini sono un aiuto a generare la forma anche attraverso la falsificazione delle disattitudini (Alexander, 1964)"<sup>42</sup>.*

Queste riflessioni portano a considerare di estrema importanza lo sviluppo di strumenti semplificati, che supportino di previsioni la fase strategica di progetto in cui la scelta progettuale matura in forma e tecnologie. Tali strumenti, se correttamente correlati ad opportune verifiche quantitative, consentono di agevolare, grazie alla loro facilità e rapidità d'uso, una reale integrazione di tecniche ed approcci di natura differente/discordante nel processo progettuale. Tale integrazione di conoscenze è lo scopo di questa ricerca, e rappresentala principale condizione per un approccio alla progettazione di tipo circolare, ricorsivo, informato dei necessari apporti disciplinari specialistici. Tali strumenti previsionali sono di fatto modelli semplificati che consentono di muovere qualche passo nella progettazione non supportata dall'esperienza.

#### *Strumenti di previsione in mancanza di esperienza*

Dopo aver organizzato i dati, è proprio del procedere di un architetto operare previsioni progettuali in base alle quali esplorare soluzioni e decisioni.

Questo passaggio avviene quasi automaticamente nel caso in

cui l'esperienza supporti il progettista, avvalendosi di operazioni codificate e ripetute con piccoli adattamenti. Quando questa viene a mancare, però, è possibile utilizzare strumenti di previsione: i modelli consentono di passare dai dati alle soluzioni possibili, consentendo di prefigurare alcuni aspetti dei possibili impieghi dei film ai componenti di involucro.

Una volta organizzati i dati, relativi a film e strati funzionalizzati, bisogna compiere lo sforzo di costruire un modello che li trasformi in informazioni utili, anche se molto sintetiche o approssimate.

*“La difficoltà del processo decisionario è che si deve dare un valore alle soluzioni per scegliere quella che meglio assicura il raggiungimento di un obiettivo. La scelta impone una valutazione sintetica”<sup>33</sup>*

Ciò permetterà dunque di raffrontare valori oggettivi, ed omogenei, per orientare la scelta progettuale.

#### *Utilità delle operazioni di previsione*

La fase preliminare del progetto ha il ruolo di articolare gli obiettivi costruttivi e definire le scelte tecnologiche strategiche affinché si possa iniziare un'attività di affinamento delle soluzioni e per raggiungere i risultati progettati.

In particolare, l'attività di progettazione tecnologica prevede una formulazione di soluzioni su cui si compiono delle scelte in base ad un ventaglio di criteri, quasi sempre dettati dall'esperienza.

*È infatti vero che “L'attività di progettazione inizia e si manifesta attraverso l'operare delle scelte decisionali che orientano e condizionano le decisioni successive e, essendo mirate ad un processo realizzativo, non possono essere ottimizzate se non se ne conoscono le correlazioni”<sup>34</sup>*

Per questo motivo, la ricerca vuole indagare alcune tra le correlazioni esistenti tra prodotti innovativi e loro impiego nel progetto di architettura. Per cercare di valutare il contributo prestazionale dei film funzionalizzati al sistema involucro, si svilupperà dunque un sistema di dati organizzati ed omogenei, selezionati con criteri finalizzati all'impiego in Architettura, e sulla base di questi dati, si impiegheranno modelli di indicazione progettuale già esistenti, opportunamente modificati. Tali strumenti mettono il progettista in grado di operare in modo efficiente perché consapevole.

Lo scopo è dunque ottenere informazioni che non siano masse di dati incomprensibili, ma semplici e utili supporti, gestiti facilmente nelle prime fasi progettuali.



Un non trascurabile limite di tali strumenti è che i dati che essi forniscono sono estremamente approssimati, e quindi non utilizzabili a cascata nelle fasi successive di maggiore affinamento del progetto (perché ciò comporterebbe il rischio di sommare approssimazione ad approssimazione, fino alla possibilità di margini di errore anche molto consistenti): nelle fasi di affinamento del progetto, però, esistono e sono già disponibili strumenti accurati e specifici per molte valutazioni possibili. Qui si vuol porre l'attenzione alla fase strategica di progetto, nella convinzione che anche i film, determinando alcune condizioni prestazionali cruciali (soprattutto per le parti trasparenti), possano essere considerati soluzioni tecniche in grado di avere importanti effetti sul progetto (cfr. cap. 7, par. 7.3, 7.4) e pertanto valutabili in una fase progettuale strategica e determinante quale quella iniziale.

## Note:

<sup>35</sup> MANZINI, (1986 ), op. cit, pag.54

<sup>36</sup> WURMAN Richard S., *L'ansia da informazione*, Leonardo, Milano, 1991, p.24

<sup>37</sup> MORABITO Giuseppe (a cura di), (1998), p. 14.

<sup>38</sup> MANZINI, (1986), op. cit. pag. 63

<sup>39</sup> BLACHÈRE Gerard, “Norma, controllo e progetto:problemi posti dall'evoluzione della domanda”, in AA.VV., *Qualità, norma e progetto*, Arsenale, Venezia, 1988, p.12

<sup>40</sup> MORABITO Giuseppe, “Affrontare il problema di progettare beni durevoli, il metodo del bravo esperto”, in MORABITO Giuseppe, NESI Attilio, *Valutare l'affidabilità in edilizia. Sistemi e casi di studio*, Gangemi editore,2000, p.224.

<sup>41</sup> MORABITO Giuseppe, op. cit, 2004, p.15.

<sup>42</sup> SCUDO Gianni, BRUNETTI Gian Luca, “Progettazione ambientale: strumenti e tecniche”, in *Il Progetto Sostenibile*, n. 16, dicembre 2007, pp.4-11

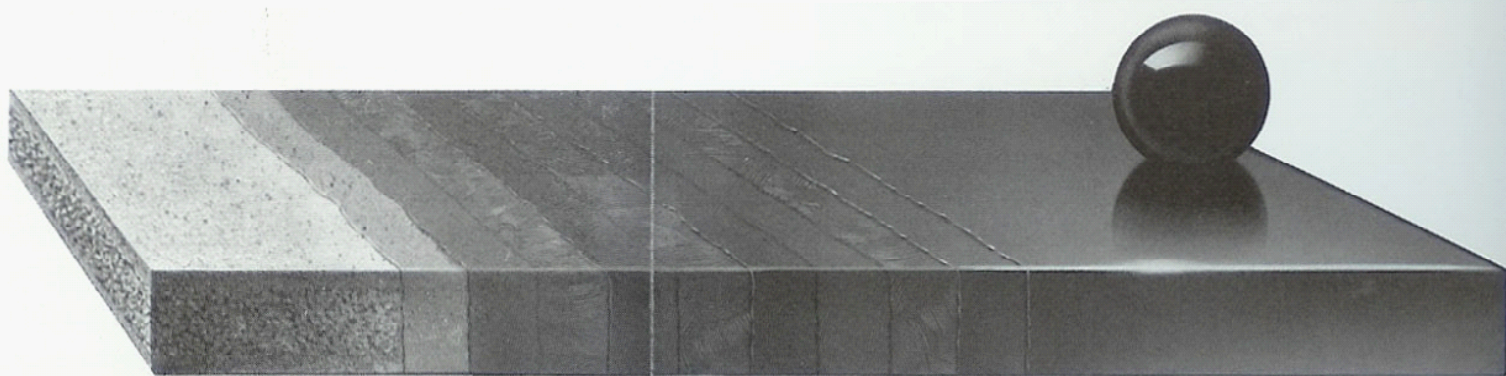
<sup>43</sup> CIANCHETTI Riccardo, *Un modello di controllo nella progettazione dell'involucro edilizio*, tesi di dottorato in Tecnologia dell'Architettura-XII ciclo, 2000, Dipartimento I.T.A.C.A., Roma

<sup>44</sup> DEL NORD Romano (a cura di), *Storie di ordinaria progettazione*, edizione italiana e note tecniche dell'opera di CRESWELL H. B., *The Honeywood File: An Adventure in Building*, Bologna: Progetto Leonardo:Esculapio, 1992, p.278

# PARTE 2

## Costruzione di un sistema di dati

Figura 4.1: la possibilità di applicare film o coating a quasi tutti i tipi di materiale rende meno individuabile la struttura interna del supporto





## IV. Metodologia I fase: Strati funzionalizzati e supporto

### 4.0 Abstract

L'approccio alle superfici funzionalizzate che sembra più corretto è quello di inquadrarle preventivamente nel sistema edilizio cui appartengono, con l'intento di valutarne l'interazione con questo. Poiché si rende necessaria un'analisi che tenga conto della natura di due elementi (strato e supporto), l'indagine si svilupperà in due fasi principali, a cui corrispondono livelli di approfondimento via via maggiori. In questa fase della ricerca si organizza la letteratura esistente in materia di strati funzionalizzati, film, coating, alla ricerca innanzitutto di una definizione dei termini impiegati. Dalle definizioni della Scienza dei materiali, attraverso alcuni riferimenti alla letteratura sui materiali e componenti per l'Architettura, si stabiliscono alcuni criteri di classificazione, e si affrontano poi le principali tecniche di produzione e di applicazione ai materiali di supporto. Dopo un accenno alla classificazione di questi elementi all'interno del sistema involucro, si impone una riflessione sul risvolto progettuale degli strati funzionalizzati.

### 4.1 Gli strati funzionalizzati: materiali o prodotti?

Cercando di organizzare le conoscenze intorno ai film per i componenti d'involucro edilizio, ci si imbatte fatalmente in un primo problema: la loro definizione. Giunti all'Architettura da settori, si è visto, più o meno lontani, non hanno ancora guadagnato un nome proprio che li rappresenti: non hanno guadagnato una loro identità.

Scrive Antonio Petrillo: *“È solo per il fatto di essere presenti già prima della nostra venuta al mondo, di durare e forse sopravviverci, che certi materiali sembrano avere più spessore di altri. Il tempo e il ritmo della sedimentazione rappresentano gli artefici della solidità del reale, sono gli scultori che conferiscono ai significanti pregnanza e capacità di comunicare ai nostri sensi”*<sup>45</sup>

Di certo, è mancato a questi come a molti altri materiali il tempo di svilupparsi e consolidare una loro identità, ed il risultato è una forte impressione di artificialità, dovuta, quindi, in parte alla continua e apparentemente inarrestabile riduzione della loro durata, e in parte in qualcosa d'altro, che ha piuttosto a che fare con il contenuto tecnologico che essi incorporano.

Imbrighi ha definito l'Architettura arcaica *Architettura del Materiale*<sup>46</sup> proprio perché caratterizzata da un rapporto diretto

“I rapporti degli uomini con le cose hanno creato una certa confusione in quest'ultime”

Rainer Maria Rilke

con la materia, non “mediato da strumenti tecnologici sofisticati”, tracciando l'altra importante chiave di lettura per comprendere il rapporto con i materiali: il loro contenuto tecnologico, la complessità dell'apparato produttivo che li sottende, dalla loro ideazione alla loro realizzazione, fino alla loro gestione e controllo. Riportando per un momento il discorso ai film e agli strati funzionalizzati, di certo si può affermare che essi sono prodotti di sintesi, poiché sono composti ottenuti artificialmente per mezzo di sintesi chimiche a partire da elementi più semplici; Inoltre: sono composti di almeno due strati di differenti materiali, di cui uno è supporto e l'altro è il vero e proprio film, deposto con alcune diverse tecniche e a volte rivestito di uno strato protettivo (procedura che, nella scienza dei materiali da luogo ad un materiale composito); il tutto, però, unito indissolubilmente a livello atomico o molecolare, per cui a rigore, per la letteratura di riferimento per i materiali costruttivi i film per involucro non possono essere considerati compositi (Manzini, op. cit. p.80, Zennaro, 2002, op.cit. p. 219), pur condividendo con questa categoria produttiva la caratteristica di essere “*complessi, non monomateriali, la cui macrostruttura presenti disomogeneità e anisotropie, le cui qualità non sono date dalla somma delle proprietà dei suoi componenti, ma capace di raggiungere risultati superiori alla somma delle proprietà dei singoli nel rapporto prestazioni/peso*”<sup>47</sup>.

Oltre a questo aspetto, si presentano sul mercato sottoforma di semilavorati, nella maggior parte dei casi, o di prodotti impiegabili in cantiere (a posteriori) come nel caso delle pellicole per controllo solare o per la sicurezza nei sistemi vetrati. Rispetto a questo punto di vista, va segnalata però la tendenza a rendere sempre più “prodotti” i film funzionalizzati (è il caso, ad esempio, di molti dei film prodotti da 3M), prediligendo le tecnologie di laminazione di film tra pellicole plastiche più resistenti.

#### 4.2 Definizione degli Strati Funzionalizzati in Architettura

Premesso che la plasturgia (o industria della trasformazione delle materie plastiche) è giovane, e che lo sono ancor di più i settori coinvolti nella definizione di strati funzionalizzati e film, “bisogna prendere atto che le relative definizioni non sono ancora completamente sviluppate, tantomeno universalmente accettate, e che a questo si aggiungono usi fantasiosi dell'inglese e/o delle sue traduzioni”<sup>48</sup>; si proverà innanzitutto a cercare delle definizioni, in base ad una serie di ragionamenti sviluppati sulla base della letteratura esistente, ed al supporto della dott.ssa Diana Castiglione, direttore di Materioteca<sup>49</sup>

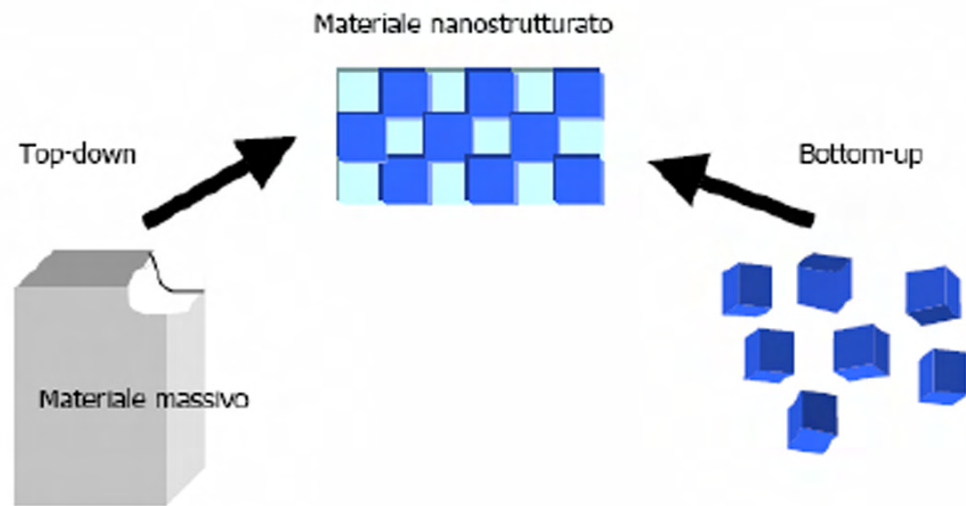


Figura 4.2: processi di costruzione di materiali nanostrutturati

Problemi di scala...

Rispetto ai tradizionali processi di classificazione legati ai materiali per l'Architettura, il film ha innanzitutto un problema di scala: potrebbe essere composito, ma le operazioni che lo coinvolgono avvengono alla scala atomica o molecolare, per cui si definisce come un materiale di sintesi. A ben vedere, già nel mondo della Scienza dei materiali esiste una prima difficoltà di classificazione, legata al rapporto che essi instaurano con il supporto:

Da un punto di vista fisico,

*"Film sottili: hanno un'influenza determinante sulle proprietà del supporto"*

*Film spessi: conservano le proprietà del materiale di cui sono composti*

Da un punto di vista applicativo,

*Film sottili: vengono impiegati per le proprietà superficiali (emissività, attività catalitica, etc.)*

*Film spessi: vengono impiegati per le proprietà del materiale di cui sono composti (resistenza alla corrosione, etc.)*

*Per ricomporre quanto detto, una definizione pratica, impiegata nella scienza dei materiali, è quella che definisce :*

*Film: ciò che ha spessore inferiore a  $> 0,00...m$ "<sup>50</sup>*

...e di traduzione

Da tempo per l'Architettura si sono aperti nuovi scenari di ricerca sui materiali, e sugli strati funzionalizzati, più o meno sottili, in grado di fornire potenzialità un tempo appena immaginabili, ed anche nella letteratura di settore da tempo sono stati introdotti i termini di film, pellicole, strati funzionali, o funzionalizzati, dal lontano articolo di Michael Davies, ("A wall for all Seasons" in RIBA Journal, February 1981, pp. 55-57, citato in Cap.1, pag.9), in cui si proponeva un muro polivalente composto di strati reattivi all'energia solare, che si comportassero come pelli sensibili, dispositivi auto-regolanti dal punto di vista termico e luminoso, tentando di riportare all'interno del campo d'indagine dell'architettura le innovazioni che si andavano consolidando nell'industria aerospaziale e automobilistica, ai molti testi ispirati al design, bisogna sottolineare il grande contributo dato da Manzini a

considerare i materiali secondo una serie di caratteristiche funzionali e non puramente descrittive, introducendo in modo induttivo ad un grande numero di riflessioni sulle “superfici aggiunte” e sulle qualità dei film, rifuggendo tuttavia da una classificazione in senso stretto. Troviamo poi in *Material World*, testo che si propone come fonte d’ispirazione per architetti e designer, una definizione di film: strato, foglio plastico con uno spessore nominale non maggiore di 0.20mm, ma, a mio vedere, è nelle riflessioni sulle facciate intelligenti compiute da Andrea Compagno (*Intelligent Glass façade*, Basel, Birkhausen, 1999, pp.182), che compaiono i punti di vista e le definizioni più interessanti: *“Un promettente campo di sviluppo è rappresentato dagli Strati Funzionalizzati, che possono essere usati per raggiungere specifiche prestazioni in termini di trasmissione luminosa e di isolamento termico; questi strati consistono sia di film, che di coating (...) i film sono spesso realizzati con materiali plastici su cui sono depositati in vario modo uno o più strati di materiale reattivo alla radiazione solare (...) I coating sono strati sottili di metalli preziosi e/o ossidi, in grado di reagire sia al range di trasmissione della radiazione solare che alla sua intensità”*<sup>51</sup>

Secondo Compagno, dunque, non è né una caratteristica geometrica come lo spessore né la caratteristica funzionale di reagire selettivamente alla radiazione luminosa a fare la differenza: quanto piuttosto la tecnica di deposizione, il fatto di essere “altro ben riconoscibile” che viene applicato su un supporto. Questo approccio sembra il più sensato, in quanto mette in relazione grandezze e quantità relative all’intero settore delle costruzioni, e si presta dunque ad una più semplice comprensione e ad una visione più concreta e contestualizzata della entità di cui si cerca la definizione.

Riadattandola a quello che sembra un discorso più contestualizzato all’ambito architettonico, si può dire che

Un promettente campo di sviluppo è rappresentato dagli strati funzionalizzati, che possono essere usati per raggiungere specifiche prestazioni in termini di trasmissione luminosa e di isolamento termico; questi strati consistono sia in film plastici che in altri tipi di rivestimenti sottili (...) i film plastici contengono spesso sostanze reattive alla radiazione solare (...) Gli altri rivestimenti sono per lo più strati sottili di metalli preziosi e/o ossidi, in grado di attivarsi sia in funzione della lunghezza d’onda della radiazione solare che della sua intensità <sup>52</sup>.

Coatings: significa rivestimento e anche in questo caso vi sono molti modi per rivestire. Correntemente il termine si riferisce a

due tipi principali di rivestimento:

- depositi (con questa accezione, il termine coating è termine molto impiegato nella caratterizzazione del vetro)
- strati di finitura superficiale (con questa accezione, è possibile realizzare coating mediante depositi, verniciatura, applicazione di film plastici)

È inoltre possibile realizzare coatings mediante film sottili di diversa natura di superfici tramite uno o più strati, e i singoli strati possono essere chimicamente funzionalizzati per assolvere alle diverse funzioni. È il caso dei SAMs (Self Assembled Monolayers), in cui il film sottile si forma in maniera spontanea sulla superficie da ricoprire mediante l'aggregazione di un solo strato di molecole alla volta. Nel caso specifico del vetro, il rivestimento superficiale, detto coating, può essere di due tipi: chimico o fisico. Nel "coating chimico" si sfrutta l'elevata temperatura del materiale di supporto, per fissarne sulla superficie uno strato di ossidi di metallo. Di conseguenza per alcuni materiali (vetro, ceramica) il processo avviene in linea col processo produzione ed il procedimento viene detto "pirolitico". I "coating fisici", invece, sono realizzati in impianti separati dalla linea di produzione del materiale. I processi produttivi avvengono in ambienti sotto vuoto spinto: uno dei procedimenti più avanzati tecnologicamente è quello denominato "magnetron sputtering". In esso il materiale di supporto è introdotto nella camera in cui sono contenuti il metallo da depositare (catodo) ed un gas di processo a bassa pressione. In seguito all'applicazione di un voltaggio negativo al catodo, avviene la ionizzazione del gas. Gli atomi del gas così formati sono attratti dal catodo con una forza tale che atomi del catodo stesso, espulsi, si depositano sulla superficie del materiale sottostante. Il campo magnetico creato attorno al catodo aumenta la velocità di deposizione. Il processo, impiegato soprattutto nel vetro, garantisce eccellente uniformità del coating e, grazie alla molteplicità degli strati di film depositi, una vasta gamma cromatica con elevata variabilità di parametri luminosi ed energetici. Questi coating sono comunemente detti "magnetronici".

Film: in generale, è un semilavorato in materia plastica con uno spessore fino a 100-150 m (m=micron=millesimo di millimetro, che in teoria è una misura abolita ma in pratica è quella più diffusa). Vengono realizzati depositando strati sottili di diversa natura su un substrato polimerico che li stabilizza, e poi vengono applicati a materiali di supporto come il vetro, i materiali plastici o le superfici metalliche.



Ad oggi le principali sperimentazioni in ambito edilizio riguardano le seguenti tipologie di prodotti: materiali cementizi autopulenti e fotocatalitici impiegati per intonaci e pavimentazioni compositi fibrorinforzati nanostrutturati per strutture leggere e resistenti vernici e rivestimenti nanostrutturati antiusura, anticorrosione, termici o fotocatalitici materiali organici per la conversione fotovoltaica isolanti trasparenti nanostrutturati vetri autopulenti, fotocromici e termocromici con nanoparticelle sorgenti luminose con nanotubi di carbonio . Tra queste categorie, i materiali fotocatalitici (non solo malte cementizie, ma anche ceramica e alluminio) basati sul trattamento con biossido di Titanio e le varie tipologie di vetri speciali, rappresentano i settori maggiormente sviluppati, per cui è oggi largamente presente sul mercato un'offerta di prodotti innovativi. Le principali sperimentazioni condotte attualmente in Italia finalizzate a prodotti e componenti edilizi riguardano i nanocompositi ibridi organici-inorganici, il fotovoltaico organico e film protettivi per l'involucro edilizio.

Foglia è un semilavorato in materia plastica con uno spessore da 100-150 m fino a circa 1mm. Per spessori superiori si parla di lastra. La lingua inglese manca del termine “foglia” per cui, secondo gli autori e le prassi settoriali, si usano i termini “thick film” o “thin sheet”. Nell'economia del discorso condotto in questa ricerca, si chiameranno film anche le foglie.

Pellicola: significa strato sottile e quindi può riguardare tanto un semilavorato quanto uno strato ottenuto per deposizione o in altro modo. Si trova anche la definizione *“Pellicola: film formato sul supporto da un prodotto verniciante (e poco oltre) Vernice: prodotto verniciante che forma sul supporto un film trasparente non pigmentato”*<sup>53</sup>, ma in genere il termine è usato con la definizione *“sottile film di materie plastiche che presentano un lato adesivo per l'applicazione, vengono prodotte con materiali diversi a seconda del tipo di supporto su cui vengono applicate”*<sup>54</sup>

Emerge da queste definizioni una certa inadeguatezza del tradizionale processo di classificazione per i materiali d'Architettura; come scrive Zennaro parlando per l'esattezza di materiali composti (ma il discorso sembra adattarsi perfettamente agli strati funzionalizzati):

*“La diversa combinazione macromolecolare e i diversi legami ottenibili producono materie a comportamenti e aspetti estetici anche molto diversificati fra loro. E non può essere sufficiente differenziarle in termoplastici, termoindurenti, elastomeri o termoelastici, per ottenere una loro riconoscibilità, perché, secondo gli additivi e le lavorazioni,*

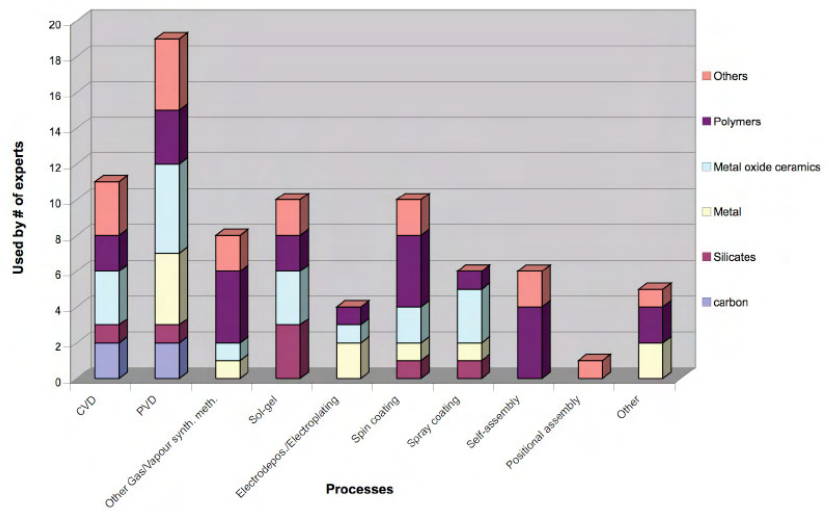


Figura 4.3: Alcune tecniche di deposizione dei film e background in cui sono maturate

*possono essere quasi identici, pur appartenendo a gruppi diversi o radicalmente diversi, pur essendo dello stesso tipo. Ne deriva, quindi, che i materiali di sintesi possono essere letti trasversalmente rispetto ad una precisa definizione ed identificazione. Servirebbe un nuovo modo di distinguere i vari materiali, ma la nostra storia ci impedisce di farlo”*  
55

Sancendo di fatto nel contenuto di forte artificializzazione del substrato di partenza la radice della difficile configurazione di alcuni nuovi materiali, con queste parole il discorso sull’identità degli strati funzionalizzati sembra ricollegarsi e concludere le parole di Imbrighi, in quanto la difficoltà di identificare i nuovi materiali sembra dipendere da almeno due importanti fattori: da un lato la mancanza di sedimentazione temporale (e quindi esperienziale), dall’altro, quello che Manzini chiamava lo spessore dell’artificiale e che indica appunto il livello a cui è arrivato l’intervento tecnico sul materiale, ovvero la complessità ben percepibile di cui questi materiali sono portatori:

*“complessità che non riguarda solo l’attività combinatoria della materia, ma anche l’apparato produttivo che sta a monte della loro ideazione e realizzazione, la gestione delle tecnologie di trasformazione, il controllo delle variabili di progetto che diventano di giorno in giorno più numerose”*<sup>56</sup>

Gli strati funzionalizzati si presentano sul mercato in almeno due forme distinte:

- 1) come semilavorati (è soprattutto il caso dei coating, ma anche di alcuni film dalle caratteristiche più avanzate) destinati a lavorazioni che svilupperanno prodotti composti di film + materiali di supporto (ad esempio i componenti di vetro+ film sottile fotovoltaico)
- 2) come prodotti già disponibili ed applicabili in diverse maniere ai componenti di involucro (è soprattutto il caso di film polimerici schermanti).

I materiali derivati dalla scienza del piccolo per l’edilizia possono infatti presentarsi come composti realizzati direttamente in laboratorio, dove il processo di sintesi delle molecole o degli atomi può avvenire in presenza della matrice, o come materiali tradizionali (vetro, legno, alluminio, ecc.) rivestiti con film sottili mediante processi di sputtering.



Figura 4.4: Uno dei processi di produzione dei film in Polietilene (fonte: SNIA)

### 4.3 Tecniche di realizzazione

#### Film polimerico (pellicola)

Il polimero fuso (generalmente in polietilene, PET) viene inizialmente estruso su un tamburo rotondo e poi raffreddato attraverso un processo a rulli fino a formare un iniziale film. Successivamente il film viene orientato biassialmente (sui due assi: lunghezza, larghezza) attraverso una prima stiratura nella “direzione macchina” (MD) e successivamente nella direzione trasversale (TD). L'orientamento viene perfezionato facendo

passare il film attraverso dei rulli che girano a velocità sempre maggiore (orientamento MD), quindi entra in un tenditore in cui viene stirato fino al corretto angolo (orientamento TD). Questa azione di doppio stretching riarrangia le molecole del PET in una struttura più ordinata che migliora le

proprietà meccaniche del film così ottenuto.

Un film stirato nella sola direzione macchina si definisce orientato uniassialmente (MD); un film stirato in entrambe le direzioni si definisce orientato biassialmente (MD & TD). In un'ultima ed importante fase, il film viene stabilizzato termicamente ad alta temperatura. Non potrà subire alcun ritiro spontaneo se non quando esposto alla sua originale temperatura di stabilizzazione.

Le pellicole senza coating sono sostanzialmente quelle di prima generazione, quando non erano ancora disponibili trattamenti capaci di resistere all'azione diretta dei raggi UV, ma attualmente tutte le pellicole prodotte sono dotate di specifici coating funzionalizzati.

Le pellicole con coating specifico per l'esterno sono dotate di resinature capaci di resistere all'azione combinata dei raggi UV e di forti percentuali di umidità. I trattamenti superficiali sui film per esterno possono essere di vari tipi: senza coating antigraffio, con coating antigraffio specifico per l'esterno, con coating antismog specifico per esterno, etc.

#### Depositi (coating)

I processi di creazione dei film sottili, agiscono manipolando il materiale alla scala atomica e molecolare. Essi richiedono dunque un accurato controllo al fine di ottenere le prestazioni richieste. In generale, una delle principali difficoltà risiede nell'attitudine delle particelle ad aggregarsi in forme cristalline di dimensioni molto piccole (alla scala micrometrica) per ridurre la propria

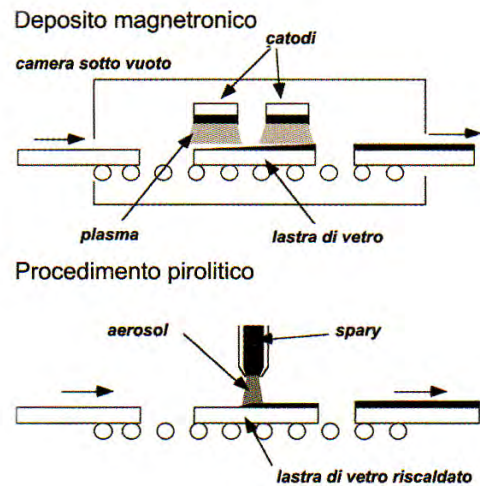


Figura 4.5: Processi di deposizione di coating per vetri float

instabilità (dovuta alla loro energia libera di superficie). È necessario invece che le cariche siano disposte uniformemente nella matrice e che ciascuna presenti le medesime caratteristiche di forma, dimensione e composizione, contribuendo alla stessa maniera al raggiungimento delle proprietà finali del materiale (la forma delle particelle, ad esempio, risulta fondamentale per aumentare la resistenza meccanica del materiale secondo direzioni preferenziali). A seconda della tipologia di materiale da ottenere si può operare seguendo diversi processi di lavorazione; questi possono essere classificati secondo due metodi principali: Un primo metodo, denominato top-down, consiste nell'ottenere strutture di dimensioni molto ridotte (di spessore inferiore ai 100  $\mu\text{m}$  (1 nanometro = 1 milionesimo di millimetro) a partire dalla lavorazione di un solido di dimensioni discrete. Il processo più comune è basato su tecniche di miniaturizzazione mediante litografia a fasci di elettroni, ioni o raggi X, che tendono a ridurre progressivamente le dimensioni dei reticoli cristallini. Attualmente tuttavia i metodi di miniaturizzazione non sono in grado di produrre materiali strutturati a scale inferiori ai 100  $\mu\text{m}$ . L'altro approccio è quello bottom-up in cui la microstruttura è generata per addizioni successive di atomi, con una tecnica basata principalmente sull'attivazione di processi chimici (ad esempio con tecniche Sol-Gel o di Chemical Vapor Deposition). Questi metodi, sostanzialmente chimici, consentono il controllo della dimensione delle strutture fin da un livello atomico o molecolare e appaiono oggi i più adeguati per la produzione di quantità elevate di materiale nanostrutturato, poiché sembra matura la possibilità di un trasferimento della produzione su scala più ampia. E' infatti questo il metodo con cui vengono realizzati gli strati funzionalizzati che più spesso vengono impegnati in Architettura.

#### 4.4 Tecniche di applicazione

Stabilito dunque che una serie di strati funzionalizzati (film, coating, pellicole) vengono definiti in base agli spessori che raggiungono e alle tecniche con cui vengono realizzati, diventa importante comprendere come, a loro volta, questi prodotti vengano applicati ai materiali e ai componenti di involucro. Le tecniche possibili sono molte, relative ai diversi tipi di strato funzionalizzato, agli spessori in gioco, ai tipi di supporto.

Si individuano di seguito alcune tecniche di applicazione prevalenti, prendendo a riferimento l'indagine eseguita da Mike Ashby in , Materials and Design. The art of Science of Material Selection in



Figura 4.6: Processi di laminazione: i film vengono applicati sulla lastra

Product Design (op. cit.)

e per ciascuna si indicheranno caratteristiche e applicabilità a materiali e spessori.

#### 4.4.1 Metodi di lay-up

La bassa densità ed elevata resilienza (capacità di sopportare elevate deformazioni senza perdere le proprie caratteristiche) dei materiali a matrice polimerica consentono di ottenere prodotti molto diffusi.

Nella tecnologia hand lay-up uno stampo aperto (costruito con polimeri rinforzati con vetro, legno, stucco, cemento o leghe di metalli leggeri) è ricoperto con una resina fino ad ottenere una superficie liscia. Quando la resina è indurita si deposita a mano uno strato del materiale usato come rinforzo (fibre di vetro o carbonio sotto forma di tessuto), si aggiunge della resina a spruzzo o a pennello e la superficie viene trattata con un rullo per distribuire completamente la resina stessa all'interno delle fibre. Il processo viene ripetuto strato dopo strato fino ad ottenere lo spessore desiderato. Il processo a spruzzo, in cui una resina precedentemente miscelata a fibre corte è spruzzata all'interno dello stampo, è utilizzato per componenti di grandi dimensioni che richiedano bassi livelli di sforzo. Nel processo detto vacuum/pressure bag, il rinforzo e la resina sono applicati nello stampo con i metodi convenzionali (a pennello o a spruzzo), e un sacco di gomma viene successivamente appoggiato sopra il composito durante la reticolazione e forzato contro la superficie utilizzando il vuoto o la pressione: in questo modo è possibile ottenere materiali più omogenei e compatti, caratterizzati da proprietà complessivamente migliori.

Forme: forme curve a pareti sottili con curvature singole o doppie.

Considerazioni progettuali: I metodi di lay-up consentono la maggiore libertà nell'impiego delle potenzialità dei polimeri rinforzati con fibre. Le forme conservano generalmente un alto rapporto area superficiale/spessore. I metodi di pressione e di vuoto danno migliori risultati in quanto rimuovono le bolle d'aria eventualmente presenti.

Caratteristiche tecniche: Tutte le resine a base poliestere, epossidica, vinilestere o fenolica sono termoindurenti. Il rinforzo più utilizzato è la fibra di vetro, ma si possono utilizzare anche fibre di carbonio o fibre naturali come la juta, la canapa o il lino.





Figura 4.7: Processi di laminazione: applicazione di film polimerici

Applicazioni e settori di impiego: Lay-up: scafi di imbarcazioni, pannelli da costruzione, componenti di automobili, condotti, taniche, slitte, componenti per docce. Vacuum/pressure: scocche per antenne, componenti di prodotti per l'aerospazio.

Caratteristiche:

intervallo di peso(kg) 1-6000

Spessore minimo(mm)2-10

Complessità delle forme: medio-bassa

Tolleranza consentita(mm): 0,6-1

Rugosità superficiale(  $\mu\text{m}$ ): 1-500

Dimensione economica di un lotto: 1-500 pezzi

#### 4.4.2 Adesivi

Il processo di giunzione tramite adesivi ha origini molto antiche, ma nell'ultimo secolo la comparsa degli adesivi sintetici assieme alla chimica dei polimeri hanno fortemente contribuito ad allargare la varietà delle tipologie disponibili. All'interno di ciascun gruppo la classificazione è di solito effettuata in base alle differenti tipologie chimiche.

Adatti per le giunzioni in sovrapposizione

Considerazioni progettuali: gli adesivi hanno un ampio spettro di peculiarità che consentono una grande flessibilità di progettazione: praticamente tutti i tipi di materiali possono essere incollati, anche quando di spessore molto differente(come nel caso di fogli molto sottili fatti aderire a pezzi molto spessi), le temperature di processo sono in genere basse e raramente superano i  $180^{\circ}\text{C}$  (alcuni adesivi flessibili sono in grado di sopportare espansioni termiche differenti sulle due facce del giunto), sono generalmente più leggeri dei sistemi di giunzione meccanica e permettono di ottenere raccordi impermeabili all'acqua e all'aria. Le limitazioni più significative sono costituite dalle temperature d'uso che raramente superano i  $190^{\circ}\text{C}$ , dalla modesta stabilità a lungo termine e dalla presenza di solventi contenuti in alcune formulazioni.

Caratteristiche tecniche: le giunzioni effettuate con adesivi resistono meccanicamente meglio a trazione, taglio e compressione che non allo strappo e al cosiddetto peeling (lo spellamento). Le giunzioni più efficaci si ottengono utilizzando superfici di contatto



Figura 4.8: Applicazione delle tradizionali pellicole per vetri

particolarmente larghe e spessori sottili (tipicamente 25 micron), fatta eccezione per i casi in cui sia necessaria anche un'elevata resistenza all'impatto.

I più impiegati sono: adesivi acrilici (sistemi a uno o due componenti che, quando polimerizzati, per esempio per mezzo di una radiazione uV, formano film forti e resistenti agli impatti, usati principalmente per legno e metallo), epossidiche o epossifenoliche (resine termoindurenti resistenti ai solventi, agli acidi, ai Sali, composte da uno o due componenti, sono generalmente utilizzate per incollare metalli, vetri e resine fenoliche), adesivi a base immodica (come le resine epossidiche, sono ampiamente impiegati come matrici in polimeri rinforzati con fibre. Utilizzati anche per incollare ceramici), poliuretani (caratterizzati da buona adesione per una vasta gamma di materiali, sono ampiamente usati nell'industria automobilistica, nel settore delle costruzioni e dell'arredo), adesivi siliconici ( polimeri sintetici dove il silicio sostituisce il carbonio; spesso costituiti da due componenti, vengono ampiamente utilizzati nell'industria navale, automobilistica e nelle costruzioni), adesivi hot melt (miscele di polimeri termoplastici come il polietilene, il nylon, e poliesteri; sono molto usati per legni, tessuti, polimeri, elastomeri e metalli).

Caratteristiche :

Dimensione della giunzione: illimitata

Spessore massimo (mm): illimitato

Spessore non uniforme? Si

Unione di materiali diversi? Si

Impermeabili? Si

Temperatura di processo: 16 – 180°C

#### 4.4.3 Termosaldatura

In questo processo, film di polimero termoplastico sovrapposti vengono chiusi tra due parti riscaldate elettricamente, ricoperte di PTFE. La giunzione viene riscaldata, utilizzando film di piccolo spessore, in genere inferiore a 0.5mm. Una tipica saldatura di un film termoplastico da 100 micron richiede pochi secondi. La saldatura a impulso è una variante della termosaldatura, nella quale le parti da unire sono scaldate a impulso, migliorando la qualità del risultato. Adatti per giunzioni in sovrapposizione.



Figura 4.9: Dispositivo per stampa serigrafica di lastre piane

Considerazioni progettuali: Il processo è limitato ai polimeri termoplastici e a giunzioni che prevedano la sovrapposizione tra lastre, entrambe sottili.

Caratteristiche tecniche: Il controllo del tempo, della temperatura e della pressione di chiusura sono le caratteristiche essenziali per ottenere una buona giunzione.

Applicazioni e settori di impiego: settore degli imballaggi, settore medico e farmaceutico. Le termosaldature sono impiegate per unire film polimerici a pezzi polimerici già formati.

#### 4.4.4 Serigrafia

Sul supporto da trattare si dispone un telaio sul quale viene stesa una sottile rete di seta o di nylon. La rete viene impregnata con un'emulsione o un film fotosensibile che, asciugando, è in grado di ostruirne i buchi. Il film viene esposto all'immagine o al disegno da stampare usando luce ultravioletta e l'emulsione indurisce solo nelle zone non coperte dal disegno. Il retino, dopo essere stato lavato per togliere residui non induriti, viene inserito nella macchina da stampa sopra al prodotto da stampare e viene impregnato con inchiostro o materiali da stampare nella sua parte superiore. Una recente variante della serigrafia è detta Decallication, ed è stata sviluppata per applicare decorazioni ed illustrazioni a materiali come il metallo, le plastiche resistenti al calore, materiali ceramic, MDF e vetro. È possibile testurizzare le superfici imitando materiali naturali (legno, marmo, granito), o applicando qualsiasi altro disegno, foto o illustrazioni. Il metodo consiste nell'applicazione, sul materiale di base, di uno strato di polvere poliuretanic; in seguito avviene la decallication: il degassamento ad una temperatura di 200°C, che provoca l'applicazione permanente di uno strato che consente la successiva applicazione di decorazioni attraverso film serigrafici. Le immagini o illustrazioni applicate si combinano con il film in polvere e formano uno strato solido, resistente e durevole, che protegge e decora il material di base. Questa tecnica offre una gamma di nuove possibilità per applicazioni nel campo dell'edilizia, sia per interni che per componenti di involucro, poiché questa tecnica è resistente agli UV, ai graffi ed ai graffiti.

Considerazioni progettuali: Utilizzata per conferire colore, brillantezza o texture, è un processo che può essere applicato ad un gran numero di materiali polimerici, vetro, metalli, legno e tessuti e naturalmente carta. Possono essere stampati oggetti piani e cilindrici.



Figura 4.10



Figura 4.11



Figura 4.12

Caratteristiche tecniche: processo economico, e flessibile. Per i prodotti che attaccano gli inchiostri a smalto convenzionali si possono usare inchiostri epossidici, che conferiscono protezione antigraffio.

Applicazioni e settori di impiego: vetrate decorative, cartelloni, decorazione su pannelli etc.

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 5-10

Spessore del rivestimento ( $\mu\text{m}$ ): 10-100

Copertura superfici curve: scarsa

Temperatura di processo ( $^{\circ}\text{C}$ ): 15-25

#### 4.4.5 Cubic printing (cubicatura)

L'immagine viene stampata su un film sottile e solubile in acqua; quando bagnata, riesce a galleggiare liberamente e può essere trasferita su un prodotto, cui aderisce rapidamente. Nel caso del cubic printing il film e l'immagine sono fatti galleggiare sulla superficie di un serbatoio d'acqua. Il prodotto viene immerso nel serbatoio, dove la pressione dell'acqua spinge l'immagine sulla superficie del componente. Conferisce colore, riflettività, texture.

Considerazioni progettuali: Il cubic printing è molto versatile, e l'immagine può essere policroma e stampata su superfici curve. La regolazione del colore è più difficile, quindi l'immagine è solitamente applicata con una singola operazione

Caratteristiche tecniche: il disegno o il modello sono stampati su un film solubile in acqua. Il film, appositamente trattato con inchiostri attivati, viene fatto galleggiare sulla superficie dell'acqua dove, dissolvendosi, lascia l'inchiostro decorativo. Il componente da colorare è spinto nell'acqua per effettuare il trasferimento. L'inchiostro fluisce sulla superficie dell'oggetto decorandolo nelle tre dimensioni. Successivamente viene applicato un rivestimento superficiale trasparente per proteggere la superficie stampata. Sono stampabili prodotti realizzati in metallo, legno, vetro, materiali polimerici e ceramici. Si possono stampare forme irregolari e 3D.

Applicazioni e settori di impiego: automobili, scocche, equipaggiamento sportivo, prodotti per computer, prodotto di arredamento e molti altri.

Figura 4.10, 4.11, 4.12 :  
Processo di cubatura,  
dalla preparazione del film  
all'applicazione



Figura 4.13



Figura 4.14

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 5-10

Spessore del rivestimento ( $\mu\text{m}$ ): 6-10

Copertura superfici curve: buona

Temperatura di processo ( $^{\circ}\text{C}$ ): 15-30

#### 4.4.6 Stampa a caldo

Si tratta di un processo a secco per applicare in modo permanente decorazioni tramite deposito di materiale. Uno stampo metallico caldo viene premuto contro un nastro che trasporta una lamina metallica colorata e il componente da stampare. Lo stampaggio avviene quando la superficie in rilievo dello stampo entra in contatto con la lamina metallica, trasferendo colore (o materiale) da quest'ultima alla superficie dell'oggetto. Usato per conferire colore, riflettività, texture.

Considerazioni progettuali: lo stampaggio a caldo può essere usato sia su superfici in rilievo che piane. Per superfici irregolari viene utilizzata una lastra di silicone per trasferire calore e pressione alla lamina di metallo. Il processo può essere applicato a polimeri, legno, acciaio, carta, vinile, mylar e tessuti, come poliesteri e acetati, meno facilmente ai metalli.

Caratteristiche tecniche: gli stampi sono spesso realizzati in acciaio, mentre le lamine sono composte di quattro strati: un sottile strato trasportatore, generalmente in poliestere, uno strato distaccante, uno decorativo in metallo o pigmenti e un adesivo specifico per il materiale da decorare.

Applicazioni e settori di impiego: Imballaggi, finiture di automobili, stampa commerciale, scocche di computer, etc.

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 5-50

Spessore del rivestimento ( $\mu\text{m}$ ): 1-50

Copertura superfici curve: povera

Temperatura di processo ( $^{\circ}\text{C}$ ): 150-300

#### 4.4.7 Metallizzazione da fase vapore (Physical Vapor Deposition)



Processo mediante il quale si deposita sul componente un sottile strato metallico, in genere di alluminio, a partire da vapore. Il vapore, generato all'interno di una camera sotto vuoto riscaldando il metallo in modo diretto o per mezzo di un fascio elettronico, condensa sul componente freddo. Nella metallizzazione non viene imposta alcuna differenza di potenziale tra la sorgente e il componente da rivestire. Nella deposizione ionica il vapore è ionizzato e accelerato da un campo elettrico (il componente funziona da catodo e la sorgente da anodo). Nello sputtering ioni di argon sono accelerati da un campo elettrico contro un obiettivo metallico, in modo da eccitare ioni superficiali. È possibile formare composti utilizzando gas reattivi. Questo procedimento si impiega di solito per conferire colore, riflettività, texture, durezza, resistenza all'usura o alla corrosione, conducibilità elettrica etc.

Per il vetro, il processo avviene in impianti separati dalla linea di produzione del vetro float, in ambienti sotto vuoto spinto, ed è denominato "magnetron sputtering". In esso la lastra di vetro è introdotta nella camera in cui sono contenuti il metallo da depositare (catodo) ed un gas di processo a bassa pressione. In seguito all'applicazione di un voltaggio negativo al catodo, avviene la ionizzazione del gas. Gli atomi del gas così formati sono attratti dal catodo con una forza tale che atomi del catodo stesso, espulsi, si depositano sulla lastra di vetro sottostante. Il campo magnetico creato attorno al catodo aumenta la velocità di deposizione. Il processo garantisce eccellente uniformità del coating e, grazie alla molteplicità degli strati di film depositi, una vasta gamma cromatica con elevata variabilità di parametri luminosi ed energetici. Questi coating sono comunemente detti "magnetronici".

Considerazioni progettuali: La metallizzazione è ampiamente utilizzata per conferire una finitura metallica riflettente a polimeri sia in massa che in film, a metalli, vetro e materiali ceramici.

Caratteristiche tecniche: è fondamentale che le superfici da trattare siano pulite. Si possono depositare molti metalli.

Applicazioni e settori di impiego: deposizione di coating per vetri speciali, finiture per automobili, circuiti stampati

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 10-40

Spessore del rivestimento ( $\mu\text{m}$ ): 1-80

Copertura superfici curve: buona

Temperatura di processo (°C): 18-120

#### 4.4.8 Deposizione chimica

Processo simile all'elettrodeposizione, ma non richiede l'utilizzo di corrente elettrica; si basa infatti sulla differenza di potenziale elettrico che si determina quando un metallo viene immerso in una soluzione che contiene ioni di un altro metallo. Gli ioni metallici contenuti nella soluzione si depositano sulla superficie del componente per azione di un agente chimico riducente anch'esso presente nella soluzione salina. Una volta iniziata, la reazione può continuare e non c'è limite teorico allo spessore del rivestimento. La deposizione chimica è utilizzata quando non è possibile, o è molto difficile, utilizzare la normale elettrodeposizione, per esempio quando la sottigliezza dello spessore da ottenere è un fattore critico.

Nel caso del vetro, il processo di coating chimico sfrutta l'elevata temperatura del vetro, all'uscita del forno di colata, per fissarne sulla superficie uno strato di ossidi metallici o di metalli preziosi. Di conseguenza il processo avviene in linea col forno di produzione del vetro ed il procedimento viene detto pirolitico.

Considerazioni progettuali: È possibile rivestire la maggior parte dei metalli e dei polimeri. Il rivestimento è in genere utilizzato per conferire una patina che consenta una successiva operazione di elettrodeposizione. Buona l'uniformità del rivestimento, anche su forme complesse.

Caratteristiche tecniche: I principali depositi chimici sono a base di nichel e rame. Le leghe ferromagnetiche possono essere depositate su nastri e dischi magnetici. Per i polimeri, dal momento che non sono materiali conduttori, è necessario seguire speciali procedure: in tal caso, l'adesione è dovuta solo al legame meccanico del rivestimento alla superficie del sostrato, che può essere migliorato con preparazioni chimiche acide che aumentino il legame.

Applicazioni e settori di impiego: chassis, rivestimenti sottili.

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 600-1100

Spessore del rivestimento (µm): 20-120

Copertura superfici curve: molto buona

Temperatura di processo (°C): 20-50

#### 4.4.9 Verniciatura a polvere

La polvere è una miscela di resina e pigmenti finemente macinati che vengono spruzzati, attraverso un ugello caricato negativamente, sulla superficie del componente precedentemente messo a terra. La differenza di carica elettrica attrae le particelle sul componente laddove lo strato del film, che è un isolante, è più sottile, in modo da ottenere un film uniforme minimizzando le perdite di polvere. Il componente viene quindi riscaldato in un forno di stagionatura affinché il film, fondendo, formi uno strato liscio. In questo modo si ottiene un rivestimento uniforme, durevole, di elevata qualità e buon aspetto. Nel rivestimento con polimeri alla fiamma un polimero termoplastico sottoforma di polvere è alimentato da un serbatoio a fiamma gas-aria che lo fonde e lo spinge sulla superficie da rivestire. I rivestimenti a letto fluidizzato funzionano in modo analogo: il componente, riscaldato, viene immerso per pochi secondi in un serbatoio che contiene la polvere resa fluida da un getto d'aria. Le particelle fondono a contatto con il componente riscaldato aderendovi e formando un rivestimento caratterizzato da ottima adesione.

Considerazioni progettuali: L'utilizzo di questo procedimento è limitato a quei componenti che resistono alle temperature di processo: quelle di fusione dei polimeri, del trattamento di riscaldamento, e di formazione di film. Adatto a tutti i metalli, permette di ottenere spessori più o meno sottili.

Caratteristiche tecniche: Utilizzata di routine su componenti di acciaio, alluminio, magnesio, e sulla maggior parte delle leghe metalliche, può essere applicata a materiali non metallici se resi conduttori. I materiali usati per i rivestimenti sono in genere Nylon, poliesteri, polietilene, polipropilene, polivinilcloreuro (PVC). Praticamente tutti i metalli, i materiali ceramici ed il legno possono essere rivestiti con la procedura della verniciatura con polimeri a fiamma. I rivestimenti in questo caso sono in genere polietilene, polipropilene, poliesteri termoplastici e poliammidi.

Applicazioni e settori d'impiego: telai per porte e finestre, arredi, biciclette, elettrodomestici e industria automobilistica.

Caratteristiche:

Durezza Vickers della superficie (HV): 10-16

Spessore del rivestimento ( $\mu\text{m}$ ): 50-2000

Copertura superfici curve: buona

Temperatura di processo (°C):125-400

#### 4.4.10 Spin Coating

Lo Spin coating è una procedura utilizzata per applicare un film sottile e uniforme ad un substrato solido piano. In breve, una quantità in eccesso di una soluzione molto diluita della specie che si vuole depositare (ad esempio, un polimero) viene depositata sul substrato, che è successivamente messo in rapida rotazione tramite un apposito spin coater (brevemente spinner), al fine di spargere il fluido sul substrato per effetto della forza centrifuga. I solventi utilizzati sono di solito molto volatili (clorobenzene, ecc.), dunque il film si assottiglia durante il processo anche per effetto dell'evaporazione del solvente. La rotazione viene fermata non appena si raggiunge lo spessore desiderato, che può andare al di sotto dei 10 nm. Il processo dello spin coating è generalmente suddiviso in letteratura in quattro fasi principali.

- Deposizione della soluzione sul substrato. Ciò può essere fatto usando una pipetta che depositi poche gocce della soluzione o spruzzandola sulla superficie del substrato. Solitamente si deposita un eccesso di soluzione, rispetto alla quantità effettivamente richiesta. Preliminarmente, il substrato era stato ancorato al disco rotante dello spin coater tramite una piccola pompa da vuoto e il tutto viene successivamente coperto per evitare dispersioni di soluzione nell'ambiente.

- Accelerazione del substrato fino alla velocità di rotazione scelta. Questa fase è caratterizzata dall'espulsione del liquido in eccesso (circa il 90% nel 1° secondo), dalla formazione di vortici a spirale

- Rotazione del substrato a velocità costante. Lo strato di soluzione si assottiglia gradualmente per effetto della forza centrifuga, cui si oppongono le forze di tipo viscoso.

- Rotazione del substrato a velocità costante ed evaporazione. A questo punto, le forze di tipo viscoso aumentano rapidamente per effetto della graduale evaporazione del solvente, finché non controbilanciano la forza centrifuga e l'assottigliamento del film termina.

#### **4.5 Caratteristiche principali del supporto: compatibilità con gli strati funzionalizzati (film, coating, trattamenti funzionalizzanti)**

L'impiego di film, pellicole, coating agli elementi d'involucro, ha nel tempo costituito innanzitutto una soluzione tecnica tendente a migliorare la funzionalità e ad incrementare la durabilità degli strati sottostanti, la cui funzionalità dipende da un insieme di fattori.

Oggi, i film rappresentano componenti a spessore sottile sempre più complessi e resistenti, spesso multi laminati nel loro piccolo spessore, e possono venire impiegati sia in posizione liminare, direttamente esposti agli agenti atmosferici, sia in posizione appena arretrata, protetti da uno strato di vetro o di polimeri. Dall'esame delle procedure che consentono l'applicazione degli strati funzionalizzati ai componenti d'involucro, si può notare l'ampia gamma di possibilità a disposizione: legno, metalli, vetro, molti materiali plastici possono essere rivestiti, a condizioni differenti ed in modi differenti a seconda dell'operazione necessaria; le caratteristiche minime dunque possono ricondursi a pochi parametri: la durezza Vickers della superficie (Si basa, nel calcolo della durezza, sulla misura del diametro dell'impronta lasciata dal penetratore, ed è il rapporto tra il valore del carico di prova  $F$  applicato sul penetratore e l'area della superficie laterale  $S$  dell'impronta rilevata a carico tolto, considerata come una piramide retta a base quadrata, con diagonale  $d$  avente lo stesso angolo al vertice tra le facce opposte del penetratore  $HV = F/S$ .), lo spessore del rivestimento, la temperatura di processo, infine la forma del supporto.

#### **4.6 Le parti del sistema involucro**

L'involucro edilizio è costituito da numerosi elementi tecnici. Prima di analizzarne le caratteristiche si riporta il generale il generale criterio di scomposizione degli edifici in classi di livelli che riflette la sequenza delle costruzioni di costruzione e assemblaggio. Tale struttura di livelli può essere adeguata alla distinzione delle parti dell'edificio con differente complessità (Ekholm 1994).

L'edificio è composto da diversi tipi di parti. Queste, poi, variano da un edificio all'altro in relazione della scelta dei materiali, dei metodi costruttivi e dei requisiti d'uso. Se restringiamo la definizione di parte, esse possono essere distinte in relazione al materiale, alla



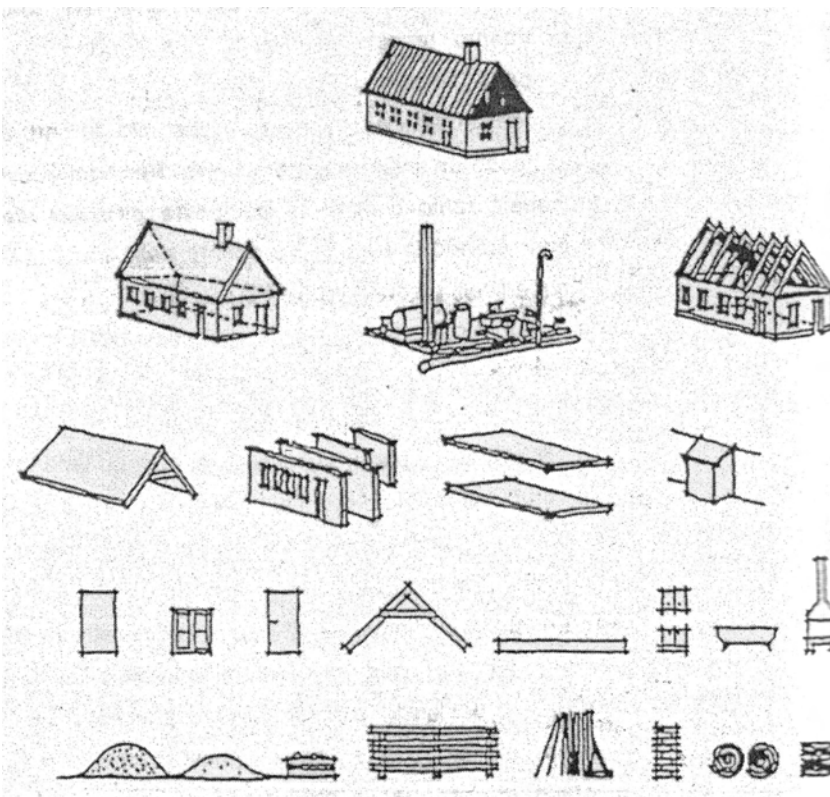


Figura 4.15

Figura 4.15  
 Criterio di scomposizione degli edifici in classi di livelli che riflette la sequenza delle costruzioni di costruzione e assemblaggio. Tale struttura di livelli può essere adeguata alla distinzione delle parti dell'edificio con differente complessità (Ekholm 1994).

produzione e all'uso, per esempio mestiere e materiale (carpenteria lignea, muratura in laterizio,...), in relazione alla funzione relativa alle altre parti (isolamento termico, elemento di supporto,...), e alla funzione relativa agli occupanti (finestra, porta, scala,...). Quando l'edificio è assemblato e costruito, le parti dei livelli base sono composti e formano un'unità in un altro livello. Per ogni livello emergono nuove proprietà, in base alle quali è possibile distinguere almeno cinque livelli:

- 1) Costruzioni
- 2) Sistemi (involucro, sistema impiantistico, sistema strutturale...)
- 3) Elementi (muri, solai, copertura...)
- 4) Componenti (porte, finestre, pannello, capriata,...)

##### 5)Materiali (prodotti per il settore, mattoni, pietra, legno...)

La struttura di questi livelli riflette il processo di assemblaggio e costruzione e permette di distinguere le parti di differente complessità. Le proprietà dei livelli sub sistema e elementi sono progettati in relazione all'edificio specifico. Le proprietà del livello componenti e materiali sono più genericamente riconoscibili e utilizzabili in molti e diverse costruzioni. La produzione industriale con la standardizzazione, la produzione di massa e la prefabbricazione si colloca più frequentemente nei livelli bassi, mentre nei livelli più alti si collocano le produzioni in sito: le costruzioni.

Coerentemente con questo approccio, l'involucro può essere definito come quell'elemento dell'edificio che separa l'ambiente interno da quello esterno. La norma UNI 8290/81 articola l'organismo edilizio secondo il criterio della funzione prevalente in livelli definiti classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche, classi di elementi tecnici ed elementi tecnici. La chiusura è nel livello più elevato di aggregazione tra le parti dell'edificio, e dunque anche nel livello più elevato di complessità, ed è definito come *"l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di separare e conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno"*<sup>57</sup>.

Dovendo ricondurre gli strati funzionalizzati all'interno di questo insieme di elementi, ad un primo approccio essi potrebbero essere considerati banalmente accolti nella parte più bassa dei livelli sopra elencati: quella relativa ai materiali e prodotti per il settore; a ben vedere, però, essi rivelano una complessità che non si esaurisce considerandoli un operatore elementare quale può essere considerato il materiale da costruzione: per alcuni strati funzionalizzati può valere la definizione di componenti a spessore sottile, che agiscono in spessori limitati ma che sono in grado di portare una complessità di comportamento ed un livello di integrazione ed a volte ad attività che li rende dei veri e propri componenti in spessore sottile.

*"Quasi tutti I componenti di un prodotto hanno un qualche tipo di trattamento superficiale applicato. I trattamenti superficiali enfatizzano le qualità termiche, di resistenza all'usura, alla frizione, alla corrosione, o le qualità estetiche della superficie stessa, lasciando immutate le proprietà del supporto. Dal punto di vista economico essi sono molto importanti, poiché allungano la durata, permettendo ai materiali di essere usati in condizioni di servizio sempre più difficili, e arricchendoli di molteplici funzioni (per esempio, creando una superficie*

ASHBY Mike, JOHNSON Kara, op.cit., p.284.

*"Quasi tutti I componenti di un prodotto hanno un qualche tipo di trattamento superficiale applicato. I trattamenti superficiali enfatizzano le qualità termiche, di resistenza all'usura, alla frizione, alla corrosione, o le qualità estetiche della superficie stessa, lasciando immutate le proprietà del supporto. Dal punto di vista economico essi sono molto importanti, poiché allungano la durata, permettendo ai materiali di essere usati in condizioni di servizio sempre più difficili, e arricchendoli di molteplici funzioni (per esempio, creando una superficie resistente alla corrosione su un sostrato duro, ma chimicamente reattivo, oppure creando una superficie termo-isolante su un sostrato forte, ma metallico), e, ovviamente, determinando molto del carattere visuale e tattile di un prodotto. La scelta di un trattamento superficiale dipende dal materiale a cui verrà applicato, e dal requisito da soddisfare."*

*resistente alla corrosione su un sostrato duro, ma chimicamente reattivo, oppure creando una superficie termo-isolante su un sostrato forte, ma metallico), e, ovviamente, determinando molto del carattere visuale e tattile di un prodotto. La scelta di un trattamento superficiale dipende dal materiale a cui verrà applicato, e dal requisito da soddisfare.<sup>58</sup>*

L'impiego consapevole degli strati funzionalizzati per i componenti di involucro rappresenta dunque uno strumento progettuale a tutti gli effetti.

#### 4.7 Gli effetti indotti nel costo

Le valutazioni della qualità in termini di costo è usualmente condotta all'interno dei sistemi di analisi costi-benefici con cui si controlla l'opportunità di fare investimenti in funzione dei possibili risultati nello studio di fattibilità di progetto e di massima. I limiti del sistema costi-banafici è di contrapporre qualità a costo.

Nelle produzioni industriali, dove questo sistema è diffusamente impiegato, la contrapposizione trova ragione nella ricerca di un costo minimo a parità di prestazioni dell'oggetto seriale (CELENTO, 2007). Ma costruire un edificio e produrre un bene industriale sono due operazioni molto diverse.

I caratteri che contraddistinguono la produzione edilizia sono (CARASSUS, 1998):

- Una domanda localizzata e straordinariamente specifica
- Una produzione di prototipi
- Una creazione artistica inserita in un processo tecnico economico
- Un produttore che non controlla il processo di insieme
- Una costruzione in un cantiere itinerante, di breve durata, complesso e imprevedibile
- I prodotti localizzati, durevoli, adattabili e modernizzazione
- Regole e convenzioni, formali e informali, che giocano un ruolo considerevole

A cui si può aggiungere (SINOPOLI, 1997):

- Un prodotto estremamente costoso che mantiene (e spesso aumenta) il suo valore nel tempo

- Un prodotto che prima si compra e poi viene fabbricato
- Un leader aleatorio del processo
- Una multi-organizzazione temporanea.

L'applicazione del sistema costi-benefici nel processo edilizio, in particolare a livello progettuale va ponderato alla luce di queste strutturali differenze. In un edificio l'insieme dei benefici è fortemente influenzato dal contesto, e ciascuno dipende da come intervengono i molti attori coinvolti (il committente, i progettisti, il costruttore, il fornitore, il produttore, l'utente...).

In linea di massima, una qualificazione delle alternative condotta solo sulla base dei costi pone da un lato la soluzione più costosa, dall'altra la più economica, ma non ci indica quella che convenga e soddisfi completamente.

*“Il buon architetto deve essere sempre in conflitto con l'economia, compresi i vincoli economici del suo cliente. Certo, dovranno esserci dei compromessi. Ma non si dovrà mai ammettere che un architetto è buono se è completamente e necessariamente subordinato ad obiettivi economici. L'architetto, in particolare, dev'essere una figura fortemente propositiva. È compito suo, e non di altri, definire i costi. Compito suo è di proporre non ciò che ci si può permettere, ma ciò che è giusto, brillante o – come qualcuno potrà pensare – decisamente bizzarro. Le persone dichiaratamente pratiche non capiscono facilmente il contributo dell'artista alla moderna società economica”<sup>59</sup>*

Nel caso dei film funzionalizzati, dunque, siamo in un campo che non appartiene più a quello delle analisi costi-benefici, ma che rientra già nella ricerca di valore, o qualità che ci si prefigge. La scelta di impiegare strati funzionalizzati, in quali parti, con quale estensione sono elementi di progetto.

## Note:

<sup>45</sup> PETRILLO Antonio, “Un materiale emblematico. La deriva dell’identità”, in *Neolite. Metamorfosi delle plastiche*, Milano, Domus Academy Edizioni, 1991, p.96

<sup>46</sup> IMBRIGHI Giampaolo, *I materiali dell’architettura tra tecnologia e ambiente*, Roma, Edizioni Kappa, 1992, pp. 446

<sup>47</sup> ZENNARO Pietro, “I materiali composti”, in SINOPOLI Nicola, TATANO Valeria (a cura di), *Sulle tracce dell’innovazione tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002, p. 217

<sup>48</sup> CASTIGLIONE Diana, Intervista rilasciata il 2/11/2007.

<sup>49</sup> [www.materioteca.com](http://www.materioteca.com)

<sup>50</sup> Prof. HABERMEIER, Hans Ulrich, *Thin Film Deposition – submicron and nanofabrication*, MPI – FKF Stuttgart, 2006

<sup>51</sup> COMPAGNO Andrea, *Intelligent Glass façade*, Basel, Birkhausen, 1999, p. 41

<sup>52</sup> non sempre nei film plastici vi sono strati depositati di materiali reattivi ma questi additivi funzionali vengono dispersi dentro il film; però esistono anche film in cui le proprietà derivano dal materiale plastico in sé e dal modo in cui viene “costruito” il film.

<sup>53</sup> ZENNARO Pietro (a cura di), *Il colore degli edifici*, Firenze, Alinea, 2002, pp.269

<sup>54</sup> Fonte: Assofilm, associazione italiana che raggruppa produttori, distributori, installatori (edilizia – auto) e applicatori c.to terzi, con l’obiettivo di rappresentare e promuovere l’intero comparto degli operatori di pellicole per vetri in Italia ([www.assofilm.it](http://www.assofilm.it)).

<sup>55</sup> ZENNARO Pietro, op. cit., 2002, p. 217

<sup>56</sup> ZENNARO Pietro, (2002), op. cit. p.219

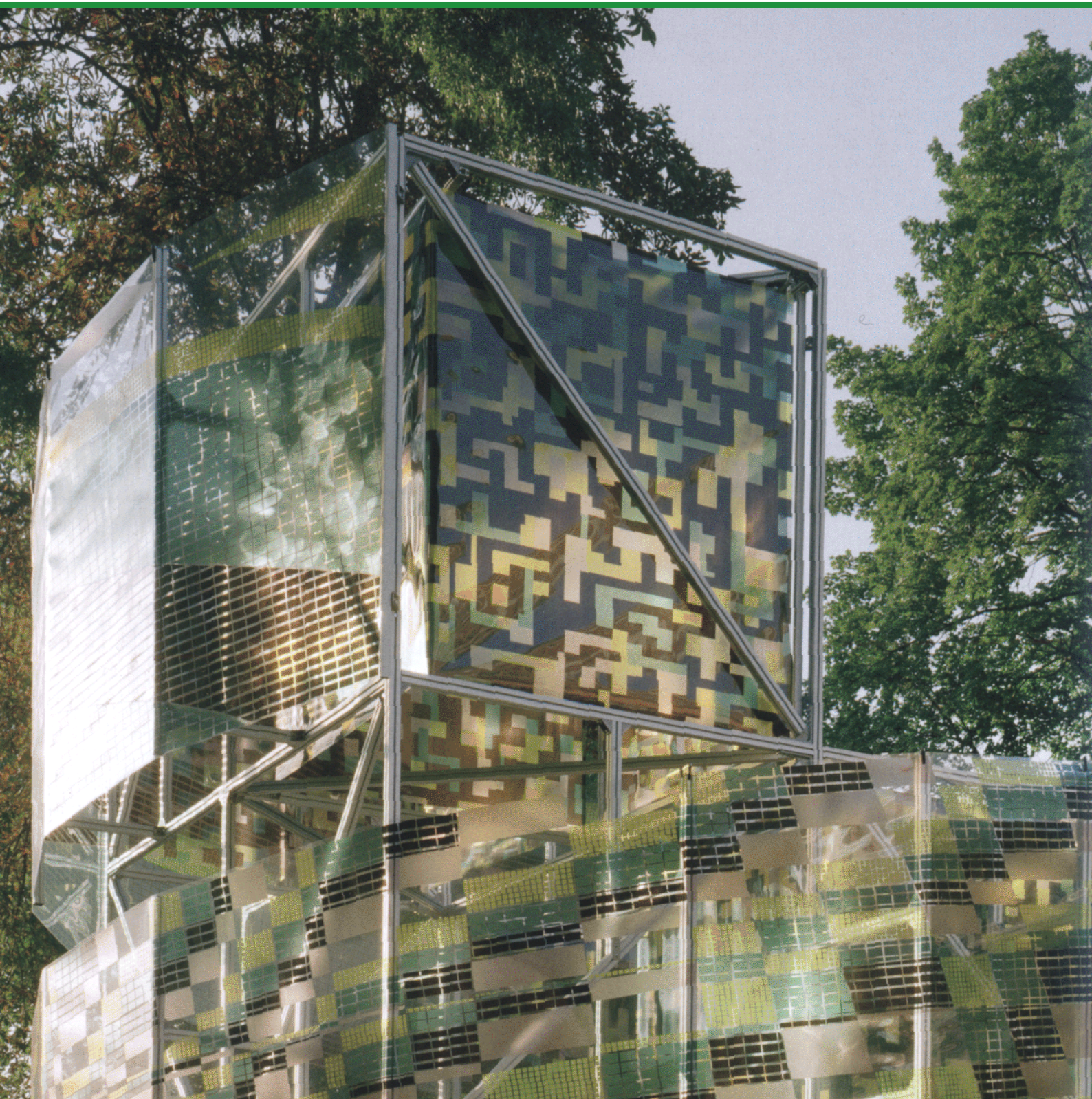
<sup>57</sup> UNI 8290/81

<sup>58</sup> ASHBY Mike, JOHNSON Kara, *Materials and Design. The art of Science of Material Selection in Product Design*, Oxford, Butterworth Heinemann- Elsevier Science, 2003, p.336, cit. p. 284

<sup>59</sup> Discorso del prof. Kenneth Galbraith al R.I.B.A. su “L’economia, l’architettura e le arti” il 21 ottobre 1983. Tratto da DANDRI G. *Economia per gli ingegneri e gli architetti*, Roma, DEI (Tipografia del Genio Civile), 1999, pp.339



Figura 5.1: Smart Wrap, prototipo di involucro polivalente realizzato con una pellicola multilaminata





## V. Metodologia II fase: Strati funzionalizzati organizzati per prestazioni

### 5.0 Abstract

Il primo passaggio individua il rapporto strati-sistema involucro, immaginando, per semplificazione, un supporto omogeneo, rispetto al quale lo strato funzionalizzato porta nuove prestazioni: partendo dall'approccio esigenziale-prestazionale, secondo le norme UNI, si organizzerà una traduzione in termini funzionali del materiale di interesse: individuati alcuni aspetti prevalenti degli strati funzionalizzati, si classificheranno per classi prestazionali principali in alcune grandi famiglie, che indicano da che punto di vista questi strati sono funzionalizzanti. Segue una descrizione delle caratteristiche dei prodotti individuati e del loro comportamento.

### 5.1 La classificazione dei prodotti per l'Involucro di Architettura

La classificazione è il primo passo per fare ordine in ogni ambito scientifico: essa permette di suddividere un insieme disordinato in gruppi dalle similitudini significative: ed è proprio la scelta dei criteri con cui si organizzano queste somiglianze che rende un sistema di classificazione più o meno adatto.

Nel processo progettuale la classificazione ha un ruolo particolarmente importante, poiché il progetto impone scelte tra un'enorme quantità di idee e dati, tra cui quella relativa ai materiali e ai componenti.

Scegliere un materiale, un prodotto o una tecnica comporta una preliminare e accurata conoscenza, e se questo passaggio può avvenire senza apparenti difficoltà per alcuni prodotti, specie per quelli legati a modalità costruttive tradizionali, lo è meno per altri, in particolare per quelli di più recente ingresso nel settore edilizio.

I materiali, i prodotti e le tecniche a disposizione del progetto contemporaneo sono oggi una moltitudine illimitata. Non esiste un catalogo, un manuale, neppure nelle sterminate possibilità di Internet, che sia in grado di presentare tutte le possibilità a disposizione, anche se circoscritte ai soli nuovi materiali. L'offerta è ampia e articolata, e attraverso la rete ne è facilitata la conoscenza, ma l'approfondimento non lo è altrettanto. Internet offre cioè la possibilità di individuare il prodotto cercato, o di arrivare a conoscerne di nuovi, a volte casualmente, a volte attraverso i portali, gli archivi o le materie teche on line, molto più facilmente rispetto al passato, ma a tale semplicità di reperimento dell'informazione

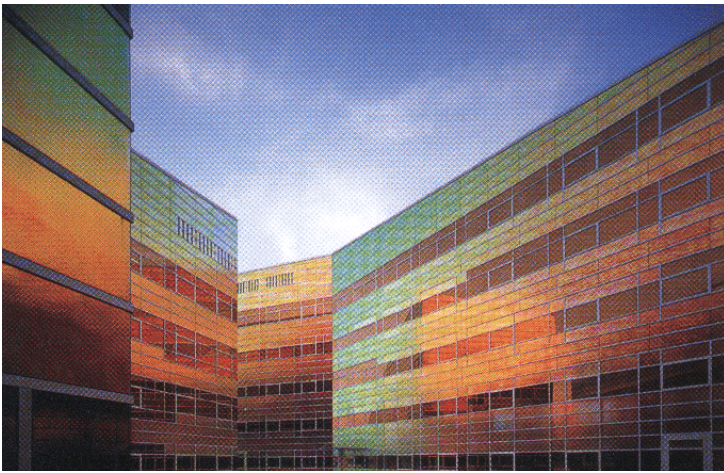


Figura 5.2

Figura 5.2: Edificio La Defense. Nell'involucro è impiegato un film dicroico destinato al packaging di profumi

non corrisponde un'altrettanto agevole completezza della stessa. Le aziende privilegiano nella maggior parte dei casi ancora una modalità di conoscenza superficiale e imprecisa quando impiegano la rete come sistema di comunicazione, fattore in parte legato ad un problema di concorrenza, ma anche alla convinzione che il progettista sia più attratto dalle caratteristiche estetiche del prodotto, più che dalle prestazioni tecniche o dalle certificazioni di rispondenza alle norme che il prodotto è in grado di fornire.

Per quanto l'esperienza del settore sia consolidata, dato che con l'espandersi del mercato edilizio le aziende hanno migliorato le proprie tecniche di comunicazione, adeguandosi alle innovazioni nel campo dell'informazione, le ambiguità non mancano, e non sempre sono casuali.

In altri casi il prodotto appare sul mercato virtuale prima ancora che siano effettivamente codificate le sue capacità e dichiara possibilità di impiego non ancora del tutto testate, prima fra tutte il suo comportamento nel tempo, fattore che se per alcune architetture, effimere per scelta di progetto, può non costituire un limite, per altre certamente lo è.

Sono molti, ad esempio, i prodotti da interni che vengono riproposti, opportunamente modificati, come possibili sistemi di rivestimento esterno: si guardi, per dirne uno, il film dicroico impiegato nell'edificio La Defense (figura 61), di cui si trova approfondimento nel paragrafo 1.3.3: esempio realizzato in cui una pellicola nata per il confezionamento di profumi ed impieghi in oggetti di design è stata impiegata per caratterizzare le facciate di un intero edificio per uffici.

All'edilizia arrivano novità di seconda mano, che devono essere adattate alla nuova collocazione. Non si tratta semplicemente di cambiare un nome o di proporre un impiego, ma di valutare dove e come quella tecnologia potrà essere usata per sfruttarne meglio le qualità. E questa sfida è in gran parte affidata ai progettisti e alla loro voglia di reinterpretare prodotti già noti, materiali già impiegati da secoli con piccole o grandi varianti.

Nel caso di film e strati funzionalizzati, in particolare, si rende necessaria una visione complessiva delle implicazioni coinvolte, atteggiamento che è poi la caratteristica più propria di un architetto, abituato a riportare nel suo ambito i contributi più interessanti della scienza o della tecnica, procedendo per livelli di informazione che si approfondiscono con il livello di dettaglio del suo progetto, fino ad approfondire le caratteristiche di interesse.

## 5.2 Classificazione prestazionale degli strati funzionalizzati

All'interno dei criteri con cui si organizzano i materiali ed i prodotti per l'involucro edilizio, per supportare un progettista nella indagine, nella comprensione e nella scelta, è importante che innanzitutto sia chiaro il sistema di riferimento entro cui questi si muove:

*“Il problema centrale del progettista continuerà ad essere perciò quello di porre le domande corrette, formandosi delle immagini mentali adeguate alla realtà sulla cui base organizzare l'esplorazione. Che quest'ultima si realizzi frequentando fabbriche e laboratori, o sfogliando libri e riviste, o parlando con specialisti, o interloquendo con un calcolatore, il problema resta quello di far emergere l'informazione dal rumore, di dotarsi di filtri e codici interpretativi in grado di estrarre dalla massa dei dati disponibili quelli dotati in quel momento di significato per il progettista. Poiché, d'altronde con il termine progetto si intende un insieme assai complesso e variegato di attività mentali e pratiche, il progettista ha bisogno di un'altrettanto complessa e variegata molteplicità di filtri e di modelli di riferimento”<sup>60</sup>*

La prima fase della “traduzione” per progettisti consisterà dunque nel raggruppare strati funzionalizzati (film, pellicole, coating) rispetto ai requisiti espressi dalla normativa. Il raggruppamento avverrà per prestazioni primarie.

Possiamo individuare alcuni aspetti prevalenti degli strati funzionalizzati: il materiale raccolto viene dunque organizzato secondo un criterio funzionale in alcune grandi famiglie, che indica anche il punto di vista rispetto al quale questi strati sono funzionalizzanti.

L'architettura ha un suo proprio sistema di requisiti e prestazioni che permettono di comprendere i comportamenti, o meglio, le prestazioni principali di tutti gli elementi, le classi e i sistemi di unità tecnologiche coinvolte nel processo edilizio: sembra pertanto necessario un primo sforzo di inquadramento di un insieme disordinato di materiali e prodotti funzionalizzanti nel frame essenziale prestazionale relativo all'involucro di Architettura:

Legati alle classi essenziali, di cui alla norma UNI 8289:1981 troviamo le prestazioni di:

Benessere

Insieme delle condizioni relative a stati dell'ambiente interno

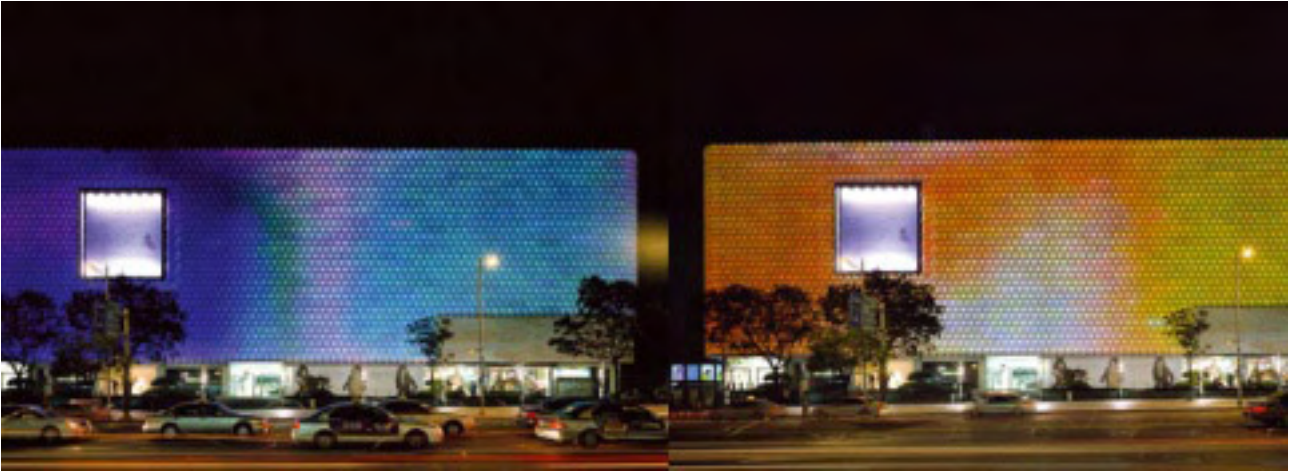


Figura 5.3: Edificio Galleria, Un Studio, impiega un film diecrico che viene attivato da illuminazione artificiale

adeguati alla salute e allo svolgimento delle attività degli utilizzatori.

- Controllo della temperatura,
- Controllo del fattore solare,
- Controllo del flusso luminoso,
- Assorbimento acustico,
- Comfort olfattivo

Gestione

Insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema.

- Manutenibilità: pulibilità

Aspetto

Insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema.

- Pulibilità

Sicurezza

Insieme delle condizioni relative all'incolumità degli utenti, nonché alla difesa e alla prevenzione dei danni dipendenti da fattori accidentali nell'uso del servizio.

- resistenza alle azioni meccaniche
- resistenza al fuoco

### **5.3 Ulteriori prestazioni che questi film danno all'involucro: gli aspetti adattivi**

Nel caso degli strati funzionalizzati, è possibile individuare alcune prestazioni che a prima vista non sembrano valutabili secondo l'approccio esigenziale-prestazionale di tipo tradizionale. Si intendono in particolare quelle caratteristiche dinamiche e adattive di alcuni film. L'adattività, ovvero la capacità di adattarsi autonomamente alle mutate condizioni ambientali, cambiando il proprio stato da trasparente ad opaco, oppure cambiando colore o coefficiente di riflessione della luce, è infatti un aspetto non considerato dalla normativa vigente, così come non lo è la capacità di veicolare informazioni: sono, queste, prestazioni che non





Figura 5.4: Edificio Galleria, colorazioni in diverse condizioni di luce

rientrano nella prassi e nella tradizione costruttiva ma che, di fatto, vengono recepite ed impiegate nell'architettura, fino a diventarne uno degli aspetti più importanti e caratterizzanti l'aspetto di filtro: l'involucro diventa un sistema con valenze di apertura sia verso l'esterno che l'interno, in grado di adattarsi alle condizioni energetico-ambientali dell'intorno. Secondo una ormai consolidata metafora, in questo carattere di adattamento alle sollecitazioni risiede l'analogia tra la pelle di un organismo e quella di un edificio *"è significativo parlare di un edificio come di una pelle, e non meramente di una protezione, qualcosa che respira, che regola le condizioni climatiche e ambientali tra interno ed esterno, in analogia a quella delle creature umane"* <sup>61</sup>. L'adattabilità dell'involucro è innanzitutto misurata in ragione della sua capacità di sfruttare risorse naturali, e per ottenere sistemi adattivi la ricerca si è in questi anni concentrata tanto su risorse progettuali quanto su aspetti materiali del sistema, sviluppando, soprattutto per le componenti vetrate, ma anche per le parti opache del sistema, materiali complessi, dalle capacità innovative e dinamiche. Accanto alle prestazioni principali, e a quelle secondarie classiche, dunque, sembra significativo riservare uno spazio di interesse per queste prestazioni aggiuntive.

#### 5.4 Controllo della temperatura (Comfort termico)

I parametri che influenzano la sensazione di benessere termico sono sette. Tre di questi ( il metabolismo, la quantità e qualità dei vestiti e la temperatura della pelle) sono relativi all'individuo. Gli altri quattro ( la temperatura dell'ambiente, l'umidità relativa, le temperature superficiali delle pareti e delle altre superfici e la velocità dell'aria) sono relativi alle condizioni dell'ambiente. La differenza tra gli individui rende impossibile specificare con precisione il valore ideale di questi parametri. Tuttavia l'interazione tra i parametri può essere descritta con degli indici termici che possono essere impiegati per definire le condizioni di comfort ottimali ed accettabili.

Esistono poi dei parametri costruttivi che influenzano il comfort, come l'inerzia termica o il guadagno solare, entrambi legati a scelte di tipo progettuale (percentuale di superfici opache o trasparenti, scelta dei pacchetti di chiusura e dei relativi materiali) ed al comportamento dei materiali impiegati.

Esistono strati funzionalizzati sia per le parti opache dell'involucro edilizio, che per quelle trasparenti, e possono assumere comportamenti di regolazione e miglioramento del comportamento

termico dei materiali di supporto.

Per le parti opache, vi sono ad esempio materiali termoregolanti a cambio di fase, in grado di fornire un comportamento adattivo rispetto all'inerzia termica, o strati conduttivi, usati per dissipare e distribuire calore in punti particolarmente sollecitati (ed impiegati come parte importante nella integrazione di sensori per la domotica, perché in grado di rilevare la presenza delle persone dalla loro temperatura), o film fotovoltaici, applicabili sia su supporti opachi che trasparenti, ed estremamente evoluti. Per le parti trasparenti, invece, che permettono l'ingresso diretto dell'energia solare negli spazi interni, è indispensabile che la scelta ricada su una progettazione accurata per una fruizione degli edifici confortevole. L'involucro edilizio deve, quindi, essere permeabile alla luce solare affinché gli ambienti possano essere illuminati e, quando richiesto, riscaldati, in modo naturale e gratuito.

D'altro canto la funzione dell'involucro è di isolare dall'ambiente gli spazi abitati, per ridurre gli scambi termici e quindi i consumi per la climatizzazione, per attenuare i rumori ambientali e per garantire la privacy e la sicurezza degli occupanti.

Queste caratteristiche di permeabilità alla radiazione solare e di isolamento dallo spazio esterno, tipiche dei materiali trasparenti, rendono tali componenti fondamentali sia dal punto di vista energetico (riscaldamento, illuminazione e raffrescamento) che dal punto di vista del comfort (termico, acustico, visivo). Per assolvere a questi molteplici compiti in modo sempre più efficace è in fase di sviluppo, dimostrazione o commercializzazione, secondo il grado di maturità tecnologica raggiunto, un folto gruppo di materiali innovativi che presentano delle proprietà molto interessanti, sia per le parti opache (materiali a cambio di fase) che per le parti trasparenti (cromogenici), ed anche soluzioni a guadagno energetico, soprattutto impiegando tecnologie fotovoltaiche, sia per le parti trasparenti che per le parti opache di involucro.

I materiali cromogenici fungono sostanzialmente da elementi schermanti esterni per il controllo del surriscaldamento estivo. Questi materiali, film plastici applicati tra due lastre di vetro, hanno la capacità di controllare la radiazione solare, entrante all'interno di un edificio. La trasmissione ottica nel campo del visibile di tali materiali può variare dall'80% al 5-10%.

Tali materiali cambiano le loro caratteristiche di trasmissione ottica al variare della radiazione solare incidente (fotocromici), della temperatura (termocromici) o all'applicazione di un campo

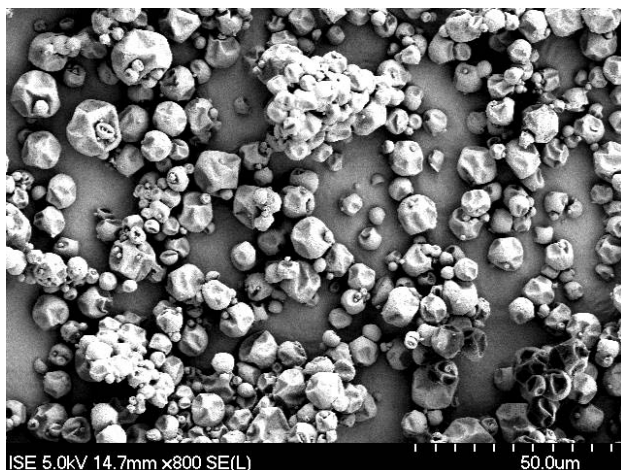


Figura 5.5:



Figura 5.6:

Figura 5.5, 5.6:  
Nanosfere polimeriche contenenti paraffina, responsabili del comportamento dei materiali a cambio di fase

elettrico (elettrocromici). Ciò si manifesta con una commutazione, reversibile, da uno stato trasparente ad uno parzialmente riflettente o assorbente. Questo meccanismo può avere due tipi di attivazione: elettrica e non elettrica.

I materiali attivati elettricamente sono: elettrocromici; a cristalli liquidi; a particelle disperse (elettroforetici); a deposizione reversibile. Quelli attivati non elettricamente sono: fotocromici; termocromici. I primi hanno il vantaggio di essere controllati dagli utenti, i secondi di essere auto-regolanti.

I materiali elettrocromici cambiano le loro proprietà ottiche, che possono essere reversibili, per mezzo delle azioni di un campo elettrico. I maggiori vantaggi di questi materiali sono:

- l'elettricità è necessaria solo durante la commutazione;
- richiedono un basso voltaggio per operare la commutazione (1,5 volt);
- sono speculari in tutte le condizioni;
- hanno il potenziale per un'ampia produzione.

La produzione mondiale di vetro piano è di circa 1 bilione di metri quadri all'anno, gran parte della quale viene assorbita da applicazioni in edilizia e autoveicoli, offrendo, quindi, un enorme mercato potenziale ai dispositivi cromogenici.

I materiali cromogenici elettricamente attivati possono venire utilizzati anche (oltre che per occhiali da sole e vetrate intelligenti) in displays per orologi, computer portatili, insegne informative (aeroportuali, ferroviarie, pubblicitarie, ecc...) e specchietti retrovisori antiabbagliamento per automobile.

#### 5.4.1 Materiali termoregolanti a cambio di fase

Si tratta di materiali (Sali eutettici o paraffine) in grado di reagire ad una ben determinata sollecitazione termica ritardandone la trasmissione grazie al loro cambiamento di stato (da solido a liquido o da solido a gel) senza la necessità di sfruttare l'inerzia termica dovuta alla massa dei componenti. In sostanza, rispetto i tradizionali materiali da costruzione, per i quali è lo spessore ad assumere un ruolo determinante nella determinazione dell'inerzia termica, questi materiali sono dotati di una proprietà fisica particolarmente interessante: assorbono il calore a valori di temperatura elevata, passando da uno stato solido ad uno stato liquido-viscoso, e lo





Figura 5.7



Figura 5.9



Figura 5.10

**Figura 5.7:**  
Foglio di materiale a cambio di fase ad elevata concentrazione (circa 80%)

**Figura 5.8:**  
pellicola in polietilene contenente nanosfere a cambio di fase (Dupont)

**Figura 5.9:** elemento radiante trasparente in vetro laminato con film conduttivo

**Figura 5.10:** elemento radiante in pietra, realizzato con l'impiego di un film termicamente conduttivo

**Figura 5.8**



rilasciano quando, per effetto di un abbassamento della temperatura, ritornano allo stato iniziale. L'assorbimento e la cessione del calore, che avvengono ogni qual volta si verifica anche una lieve escursione termica, conferiscono a questi materiali una elevata capacità termica<sup>62</sup>. In sostanza, i PCM sfruttano le proprietà della loro composizione chimica per immagazzinare e rilasciare energia termica. La trasmissione di energia avviene nel momento in cui il materiale subisce un cambiamento di fase, passando cioè dalla fase solida a quella liquida (accumulo) e viceversa (rilascio). Allo stato solido, i PCM si comportano come un materiale convenzionale, cioè la loro temperatura si innalza quando assorbono l'energia termica sottratta all'ambiente circostante. Tuttavia, quando raggiungono una determinata soglia critica (punto di fusione), essi variano il loro stato fisico (fase) continuando ad assorbire una grande quantità di calore senza con questo aumentare ulteriormente la propria temperatura interna. Nel momento in cui la temperatura dell'ambiente si abbassa, i materiali PCM subiscono un'ulteriore transizione di fase, ritornando allo stato solido e rilasciando calore latente assorbito, in maniera tale da mantenere sempre costante la temperatura dell'ambiente che li circonda. La caratteristica interessante di questi materiali, ai fini dell'integrazione nei componenti per l'involucro edilizio, è che essi possono assolvere alla funzione di accumulo di calore anche con spessori assai ridotti, *"ad un comportamento termicamente inerte (tipico delle costruzioni antiche, massive e con pareti di notevole spessore) si sostituisce un comportamento dell'involucro fisicamente attivo, in cui (a temperature determinate, e quindi calibrabili e progettabili) il componente (sale o paraffina) cambiando di stato ritarda la trasmissione termica"*<sup>63</sup>. Attualmente si trovano in commercio sotto l'aspetto prevalente di polvere da mescolare all'intonaco per le finiture interne, o come paraffine da integrare a componenti vetrati (poiché sono traslucidi). Ciò è anche dovuto, in parte, al fatto che sono reattivi al fuoco. In realtà, i materiali a cambio di fase aumentano le loro prestazioni all'aumentare della densità di microsferi in polvere; se per intonaci e cartongessi la densità è di circa il 40%, BASF ha realizzato un foglio con densità molto elevata (80%), di spessore 1,5mm, ma non è stato ancora commercializzato data la sua reattività al fuoco. Esiste poi un prototipo di pellicola sviluppato da Dupont contenente nanosfere a cambio di fase racchiuse tra due film in polietilene, ma il suo impiego è ancora molto limitato.

#### 5.4.2 Materiali conduttivi

Vi sono film conduttivi sia trasparenti che opachi che sfruttano



Figura 5.11



Figura 5.12

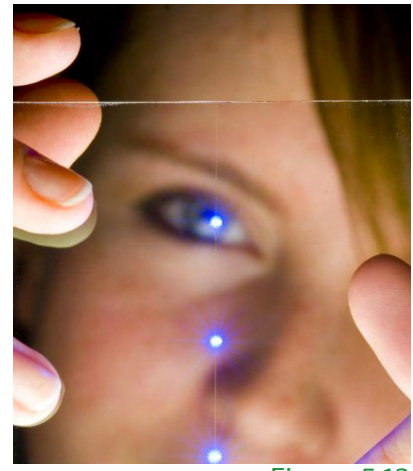


Figura 5.13

le proprietà di conduzione elettrica di alcune cariche dotate di alta conducibilità disperse in una matrice polimerica, mediante tecniche di deposizione o mediante tecnologie SPD (Suspended Particle Device), a particelle sospese nella matrice.

Impiegati inizialmente per dissipare cariche elettriche o per sfruttare l'effetto termico di surriscaldamento dovuto alla conducibilità elettrica, questi dispositivi sono nati per esigenze di settori industriali specifici, in cui c'era necessità di evitare il surriscaldamento di parti in contatto con impianti che generano calore, e sono stati presto impiegati nel settore automobilistico, laddove si rendeva necessario evitare l'effetto di condensa dovuto all'elevata conducibilità termica di lastre di vetro a contatto tra l'abitacolo riscaldato e l'esterno freddo. Attualmente, sono stati realizzati film conduttivi con tecnologie SPD che risultano completamente trasparenti, e che vengono sfruttati sia per l'aspetto di conducibilità elettrica, che per l'aspetto di conducibilità termica.

#### Film termicamente conduttivi:

Hanno caratteristiche di leggerezza e facilità di impiego, non sono legati a forme o geometrie particolari perché stampabili e realizzabili in spessori ridotti, e sono in grado di disperdere il calore in modo efficace, evitando surriscaldamenti del materiale e garantendo quindi un aumento della sua durabilità e di alcune caratteristiche meccaniche.

Vi sono applicazioni interessanti sia per i vetri (figura 68), consentendo di realizzare elementi radianti trasparenti, ed anche su pietra (figura 69, 70), senza alterare l'aspetto del materiale.

#### Film elettricamente conduttivi:

Film conduttivi trasparenti hanno trovato un impiego molto interessante associati a LED laminati in pellicole di Polivinil-Butirale (che possiede anche caratteristiche di sicurezza antiurto).

Questa tecnologia ha consentito di stampare circuiti praticamente invisibili ad occhio nudo, che alimentano i LED e consentono molti possibili impieghi: per vetro, legno, calcestruzzo. (figura 72, 73, 74)

Inoltre, permettono di alloggiare ed alimentare piccoli dispositivi ad alimentazione elettrica senza bisogno di cavi o impianti a vista (figura 71). Parallelemente a questo impiego, i materiali conduttivi hanno trovato impiego in tutti i dispositivi di tipo touch-screen, in cui, trasmettendo rapidamente e quasi completamente il calore del



Figura 5.14

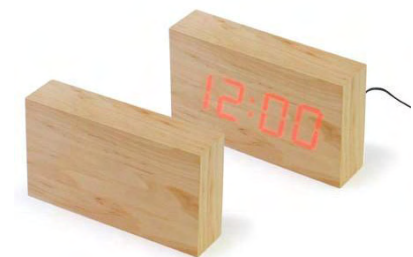


Figura 5.15

Figura 5.11:  
rivestimento radiante in  
pietra e film termicamente  
conduttivo

Figura 5.12:  
teca in vetro con dispositi-  
vo illuminante senza fili o  
circuiti visibili

Figura 5.13, 5.14:  
LED laminati in vetro e film  
elettricamente conduttivo  
(trasparente)

Figura 5.15:  
LED laminati in un film con-  
duttivo per legno



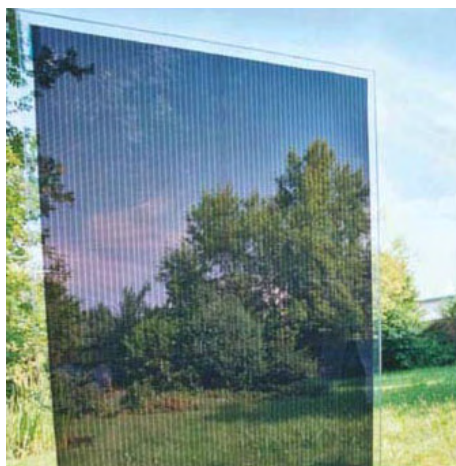


Figura 5.11

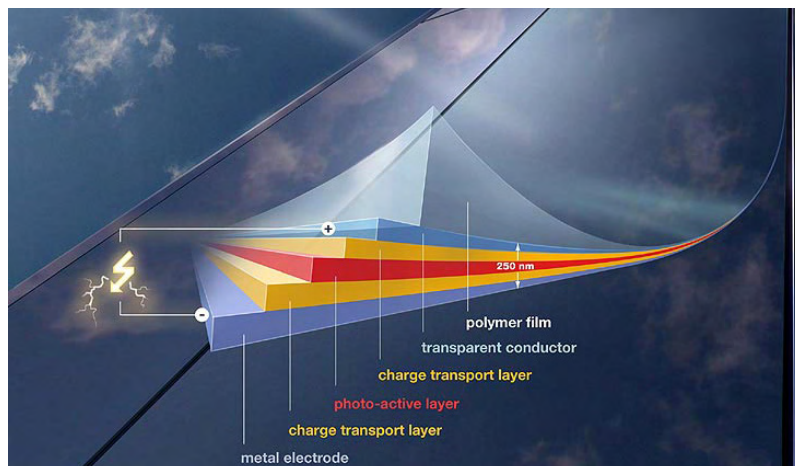


Figura 5.13



Figura 5.12

Figura 5.11, 5.12:  
Film fotovoltaico laminato  
tra due lastre di vetro float.  
Possono essere realizzati  
vari pattern

Figura 5.13:  
successione degli strati  
che compongono un film  
fotovoltaico

dito, veicolano l'impulso ai circuiti sottostanti.

In Architettura, sono impiegati attualmente come sensori per il rilevamento della presenza di persone attraverso la temperatura, in molti elettrodomestici, e possono essere impiegati in corrispondenza di impianti che producono calore eccessivo, per evitare il surriscaldamento delle parti vicine.

#### 5.4.3 Film fotovoltaici

La tecnologia fotovoltaica consente la conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica a mezzo di opportuni dispositivi, detti celle fotovoltaiche, che sfruttano il fenomeno fisico dell'interazione tra la radiazione luminosa e gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori, denominato effetto fotovoltaico.

La maggior parte delle celle fotovoltaiche è costituita da silicio, ed in particolare, le celle PV (Photo Voltaic) si distinguono in tre macrocategorie: monocristalline, poli o multi cristalline e amorfe, ovvero celle solari non cristalline. Di queste categorie, interessa qui analizzare la terza: quella delle celle solari amorfe, che impiegano tecnologie a film sottile (thin-film technologies).

Le celle solari amorfe vengono realizzate depositando silicio in spessore di pochi micron su una base polimerica, con un impiego del materiale di base molto ridotto rispetto alle tecnologie cristalline. Questa nuova tecnica produttiva ha portato importanti implicazioni nelle caratteristiche dei moduli fotovoltaici e nelle loro relazioni con l'involucro edilizio. (figura 5.11, 5.12, 5.13)

Innanzitutto, i costi di produzione sono sensibilmente inferiori rispetto alle tecnologie cristalline, sia perché si impiega meno silicio (divenuto più costoso, perché assorbito meglio da altri settori produttivi, primo fra tutti l'elettronica), inoltre il processo produttivo avviene a temperature molto più basse. Inoltre, anche se attualmente questi dispositivi hanno un rendimento minore (circa l'8%, rispetto al 13-16% delle tipologie cristalline), è stata sviluppata una tecnologia (detta tandem) che permette di sovrapporre strati di film sottile a diversa risposta spettrale, in modo da lavorare meglio in molte diverse condizioni di luce, dovute, ad esempio, a cielo nuvoloso<sup>64</sup>.

Nel caso del vetro, sono realizzabili anche con procedimenti di deposito catodico del silicio su lastre di vetro in assenza d'aria, per dimensioni fino a 60x100cm<sup>2</sup>.

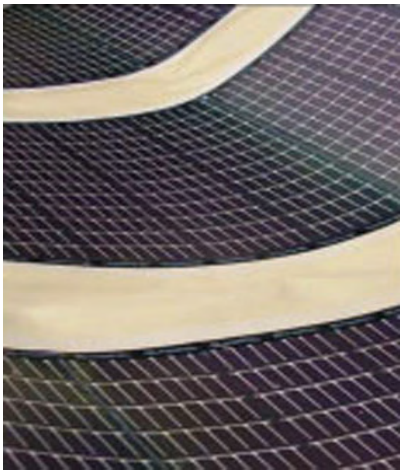


Figura 5.14



Figura 5.15

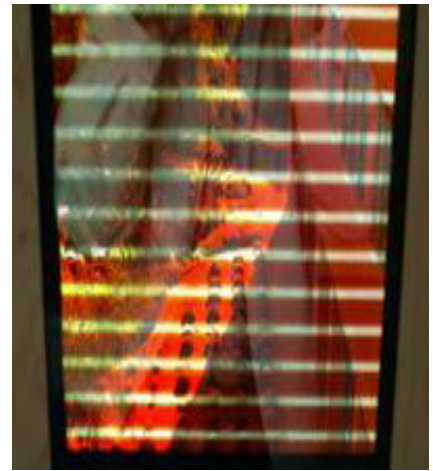


Figura 5.16

Esistono poi esempi di celle amorfe semitrasparenti, prodotte per rimozione di aree parziali di film sottile grazie ad un processo di separazione laser, caratterizzate da pattern di parti trasparenti di piccolo spessore racchiuse tra aree opache, che permettono il passaggio di una quota di radiazione luminosa incidente.

Caratterizzati da elevata flessibilità, hanno per supporto un materiale plastico di facile producibilità, possono avvolgersi attorno ad oggetti con diametro molto piccolo, e sono assai resistenti alla rottura.

I film così prodotti, di colorazione generalmente rossiccia o marrone, sono applicabili su vari supporti, come ad esempio vetro, plastica o fogli di alluminio (figura 5.16, 5.17).

I film fotovoltaici possono essere opachi, trasparenti o semitrasparenti (vedi schede)

Per supporti ceramici, inoltre, è stato appena brevettato presso il Centro Ceramico di Bologna un nuovo tipo di film fotovoltaico, che è compatibile con i metodi produttivi dei prodotti ceramici, in particolare, con un processo analogo a quello della vetrificazione<sup>65</sup>.

L'energia elettrica prodotta può, con appropriati dispositivi elettronici, permettere operazioni di accoppiamento in rete, con il risultato che l'energia elettrica-solare in eccesso rispetto al fabbisogno dell'edificio può essere immessa nella rete pubblica. Gli elementi fotovoltaici possono essere utilizzati, opportunamente orientati, sui tetti (tegole fotovoltaiche) e sulle facciate; particolarmente

Figura 5.18

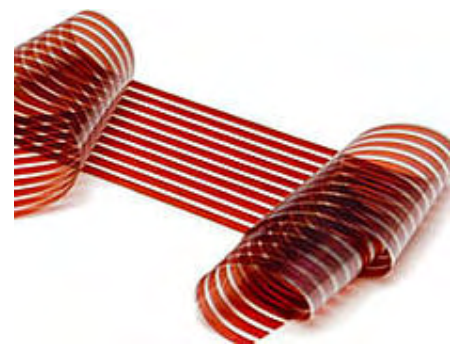


Figura 5.17

Figura 5.14, 5.15:  
Pellicole fotovoltaiche  
impiegate inizialmente nei  
campi militari

Figura 5.16, 5.17:  
film fotovoltaico  
trasparente, ottenuto per  
rimozione di parte del  
silicio tramite incisioni laser  
successive alla deposizione

Figura 5.18: film fotovoltaico  
laminato tra due lastre di  
vetro float



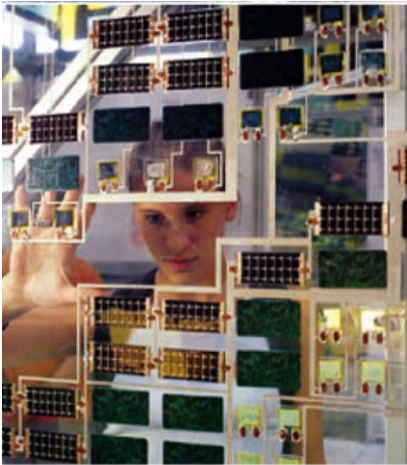


Figura 5.19



Figura 5.20

interessanti le applicazioni sia come elementi schermanti (applicati, ad esempio, ai brise-soleil), che al posto dei vetri (film di silicio amorfo in spessori sottili). L'uso multifunzionale e l'integrazione completa dei moduli fotovoltaici nelle facciate e nei tetti genera effetti sinergici notevoli; innanzitutto vi è un risparmio equivalente al valore degli elementi costruttivi «sostituiti», inoltre si evitano costose strutture di supporto aggiuntive.

#### 5.4.4 Smart Wrap

Prototipo di film plastico composto in strati, per uno spessore complessivo assai sottile, Smart Wrap è il risultato di uno studio condotto dagli architetti americani Kieran e Timberlake con l'appoggio di Dupont per dimostrare le possibili ricadute di alcune tecnologie disponibili rispetto all'involucro edilizio. Questo tipo di sperimentazione riprende la teoria proposta da Davies nel lontano 1981

Su un substrato di poliestere, infatti, sono stati depositi film che riassumessero le caratteristiche di intere parti del sistema involucro: il tutto stampato e laminato in un singolo film.

Nel complesso, ha la funzione di riparare dagli agenti atmosferici (substrato in poliestere), proteggere da vento e pioggia (film PET, a sua volta substrato per altri film), controllare gli aspetti climatici (microsfere di materiale a cambio di fase, disperse in resina e poi estruse in un film sottile) luminosi e di comunicare informazioni (film OLED, alimentati dalle celle fotovoltaiche in film), oltre a generare energia elettrica (piccole batterie in film, celle fotovoltaiche in silicio amorfo ed inchiostro conduttivo).

Per realizzare questo nuovo prodotto sono stati impiegati altri prodotti precedentemente sviluppati da Dupont: il film in poliestere Melinex® PET, che costituisce il substrato principale e che provvede al riparo da vento e pioggia, DuPont™ Olight® displays, che impiega la tecnologia LED per fornire illuminazione e pannelli informativi, e le tecnologie di circuiti stampati per collegare i film fotovoltaici integrati<sup>66</sup>.

Una realizzazione dello Smart Wall, è stato sperimentato dallo studio Kieran Timberlake di Filadelfia ed esposto nel giardino del Cooper Hewitt National Design Museum di New York.<sup>103</sup> Per il sistema Smart Wrap ha mostrato interesse la multinazionale della chimica DuPont, che aveva promosso l'esposizione di New York, proprio col l'obiettivo di trovare nuove idee da sperimentare

Figura 5.19:  
Smart Wrap

Figura 5.20:  
il prototipo nell'installazione  
al Cooper Hewitt National  
Design Museum di New York



Figura 5.21



Figura 5.22

Figura 5.21:  
Celle fotovoltaiche a film  
sottile laminate nello smart  
wrap

Figura 5.22:  
dettaglio dello Smart Wrap:  
si riconoscono le celle  
fotovoltaiche a film sottile, i  
led, i circuiti stampati nella  
pellicola





Figura 5.23



Figura 5.24

e sviluppare, arricchendo ulteriormente il proprio catalogo di materiali innovativi, tra i quali ad esempio spicca il Tyvek, un rivestimento in grado di mantenere il calore all'interno dell'edificio e l'umidità al suo esterno.

#### 5.4.5 Film Termotropici

Sono costituiti da un fluido formato da due componenti, acqua e gas, che viene imprigionato tra due pellicole. Fino ad una determinata temperatura la miscela rimane omogenea e lo strato racchiuso rimane trasparente, ma nel momento in cui la temperatura limite aumenta, si ha la separazione dei due componenti, a causa della quale lo strato diventa bianco opaco e riflette gran parte della luce diffondendola, cioè diminuisce il passaggio della radiazione luminosa.

Con l'aumento della temperatura questi materiali sono caratterizzati da una variazione nelle caratteristiche di trasmissione rispetto all'intero range radiativi dello spettro solare; al raggiungimento della soglia critica, essi tendono infatti ad assumere una colorazione bianca lattea a causa di fenomeni di assorbimento energetico e di scattering luminoso.

Tali materiali sono costituiti, in sostanza, da due componenti di base dotati di differenti indici di rifrazione, omogeneamente miscelati fra loro alle basse temperature: ad esempio, acqua ed un polimero (hydrogel) o due differenti polimeri (polymer blend). Alle basse temperature, la miscela è omogenea ed è caratterizzata da elevati valori di trasparenza; i polimeri si dispongono all'interno del composto secondo catene che presentano un diametro più piccolo rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione visibile, permettendo dunque la trasmissione della luce naturale. Quando la temperatura sale fino ad un livello critico variabile, le catene polimeriche si separano in domini discreti, le cui dimensioni sono dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda del visibile, determinando così lo scattering e la riflessione della luce incidente. I principali materiali termotropici attualmente impiegati sono il Cloud Gel ed il Tald. Posti tra due lastre di vetro, è possibile determinare la loro temperatura di attivazione anche in base alla posizione assunta: a seconda della faccia più esposta, essi saranno più sensibili (e quindi reattivi) alla temperatura interna o a quella esterna rispetto all'ambiente abitato.

Nello stato oscurato, in generale, un film termotropico permette il passaggio del 20% circa della radiazione luminosa incidente,

Figura 5.23, 5.24, 5.25, 5.26:  
Stadi successivi della trasformazione di una vetrata termotropica esposta al calore del sole.

Il film termotropico diventa traslucido, diffondendo la radiazione visibile e aumentando la capacità isolante della vetrata.

Tale fenomeno è reversibile.





Figura 5.25



Figura 5.26

passaggio che avviene comunque sempre in maniera diffusa. Valori di trasmissione tipici si aggirano comunque intorno a  $0,80 \pm 0,90$  nello stato trasparente, e  $0,10 \pm 0,50$  in quello opaco, cui corrisponde un fattore di trasmissione solare che oscilla tra  $0,80 \pm 0,90$  e  $0,5 \pm 0,40$ <sup>67</sup>.

### 5.5 Controllo del flusso luminoso ( comfort termico e comfort visivo)

Per controllo del flusso luminoso si intende *“l'esclusione temporanea o permanente, e parziale o completa, della radiazione solare dalle superfici edilizie e dagli spazi interni o esterni all'edificio.”*<sup>68</sup>

La necessità di controllo del flusso luminoso di energia solare in un edificio si ha quando l'apporto della radiazione solare può produrre una temperatura dell'aria interna inaccettabile per gli occupanti, o in genere discomfort dovuto al contatto diretto tra occupante e radiazione solare incidente, o ancora abbagliamento e discomfort visivo; per ovviare ad un livello di illuminazione non desiderato.

A rigor di analisi, l'impiego di film a selettività angolare per il controllo del comfort termico, coinvolge direttamente anche l'aspetto del comfort luminoso. Nei sistemi multilastra (doppi vetri, tripli vetri etc.) la resistenza termica globale è determinata dallo scambio termico all'interno delle intercapedini tra le lastre (ricordiamo, infatti, che la conduttività del vetro è piuttosto alta). La parte radiativa di tale scambio è predominante (circa il 60% del totale), quindi per limitare il coefficiente di trasmissione globale il primo obiettivo è quello di ridurre questa componente.

Gli obiettivi del controllo del flusso luminoso sono:

- ammettere l'illuminazione naturale diffusa escludendo la radiazione solare diretta (come, ad esempio, negli ambienti con elevati apporti interni ed

esigenze di illuminazione diurna permanenti, quali gli uffici)

- escludere interamente la radiazione solare (quando non sia necessaria l'illuminazione).

Sono oggi presenti sul mercato molte varietà di prodotti trasparenti e semitrasparenti, finalizzati ad una riduzione della trasmissione solare (onde corte) e/o termica (onde lunghe), la tendenza va verso componenti in grado di selezionare il range di lunghezza d'onda della radiazione di cui si vuole impedire l'ingresso, in modo sia fisso, che variabile in funzione delle

condizioni microclimatiche. La scelta del tipo di prodotto dipende dalla destinazione d'uso dello spazio in cui è collocata la chiusura esterna trasparente, nonché dalle condizioni microclimatiche del sito. In tutti i casi, i film per componenti trasparenti offrono molte prestazioni diversificate per effettuare il controllo della radiazione incidente:

La penetrazione di luce naturale negli ambienti interni è una condizione essenziale per ottenere una condizione di benessere visivo.

Un aspetto estremamente importante nella scelta di soluzioni per l'involucro deve tener conto della distribuzione della luce all'interno degli ambienti<sup>69</sup>.

Il controllo luminoso è ottenuto con sistemi di integrazione luminosa, ovvero sistemi che garantiscono un comfort visivo in ambiente indoor. Esistono due tipologie di controllo:

- Controllo passivo: riduzione del livello di illuminamento e mantenimento di uniformità di luminanza intervenendo sull'involucro edilizio
- Controllo attivo: impiego di corpi illuminanti artificiali che utilizzano energia elettrica

Il flusso va comunque controllato per evitare che si produca un eccessivo contrasto o una condizione di abbagliamento. Sono effetti che si producono sia con la componente diretta del sole che con quella diffusa, nel caso di un cielo particolarmente chiaro. Il controllo può agire secondo diverse strategie, rispetto alle quali, gli strati funzionalizzati per le componenti trasparenti d'involucro permettono di intervenire a più livelli. I principali sistemi di controllo passivo del daylight possono essere così suddivisi:

- Riflessione semplice: costituiti da elementi di ombreggiamento che riflettono la radiazione solare diretta. In questo modo proiettano la radiazione diretta in un luogo esterno al cono visivo. I sistemi sono pensati per l'ombreggiamento solare, ma possono anche controllare i fenomeni di abbagliamento. Sono costituiti da film e pellicole riflettenti, ma hanno effetto schermante anche i film fotovoltaici non-trasparenti(vedi par.5.4.3) che agiscono come serigrafie parzialmente schermanti.
- Riflessione complessa: sono dispositivi in grado di schermare selettivamente la radiazione luminosa in relazione all'altezza del sole sull'orizzonte e alla variabilità delle condizioni climatiche esterne. Il sistema controlla la radiazione solare diretta incrementando la

riflessione dei raggi incidenti e riducendo la quantità di radiazione trasmessa dal vetro, come i film selettivi, film anti-UV, Anti-Fade, a controllo solare. Appartengono a questa categoria anche i sistemi auto-regolanti a controllo dinamico dell'energia solare che modificano autonomamente le proprietà ottiche e cromatiche in relazione all'intensità della radiazione solare: materiali termotropici, cromogenici auto-regolanti (fotocromici, termocromici) e attivati elettricamente (elettrocromici, Reflective Hydrides, vetri a cristalli liquidi, Suspended Particle Devices, Transparent Insulating Materials) i rivestimenti a comportamento angolare selettivo, costituiti da pellicole di poche decine di micron di spessore che vengono applicate sulla superficie dei vetri. Le pellicole hanno la proprietà di modificare il valore di trasmittanza del vetro a seconda dell'angolo di incidenza della radiazione diretta.

- **Diffusione:** i sistemi a diffusione luminosa sono sistemi tecnologici che filtrano e diffondono nell'ambiente interno la radiazione incidente diretta, come le pellicole opacizzanti.
- **Diffrazione:** avviene mediante dispositivi che filtrano lo spettro di immissione solare in modo selettivo alterando o bloccando la penetrazione delle radiazioni visibili e ultraviolette. Le tipologie principali sono costituite da: film olografici, film antiriflesso, anti-IR.
- **Rifrazione:** dispositivi che permettono la rifrazione delle radiazioni modificando la distribuzione della luce. Un esempio sono le pellicole prismatiche.
- **Conduzione:** La radiazione solare viene deflessa negli elementi prismatici mediante una riflessione interna totale e una rifrazione. La deflessione è altamente efficiente perché le riflessioni avvengono tutte nella stessa direzione. Il pannello controlla i fenomeni di abbagliamento, elimina le differenze di luminanza e produce limitata distorsione visiva. Esempio: Laser-Cut film.

### 5.5.2 Coating e Film Basso-emissivi

I coating basso-emissivi possono essere di due tipi: chimico o fisico. Nel "coating chimico" si sfrutta l'elevata temperatura del materiale di supporto, per fissarne sulla superficie uno strato di ossidi di metallo. Di conseguenza per alcuni materiali (vetro, ceramica) il processo avviene in linea col processo produzione ed il procedimento viene detto "pirolitico". I "coating fisici", invece, sono realizzati in impianti separati dalla linea di produzione del

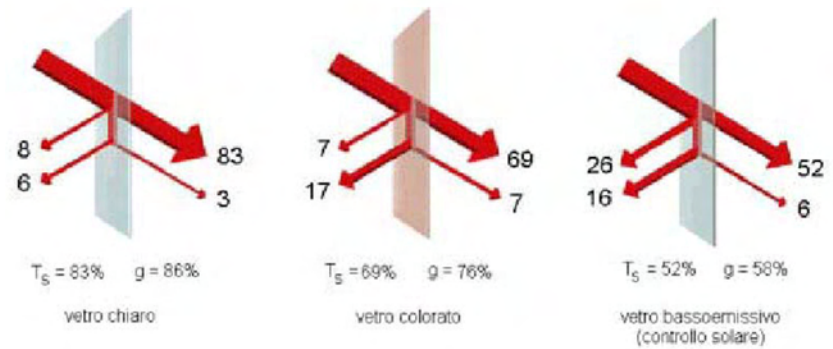


Figura 5.27

Figura 5.27:  
Coefficients di trasmissione  
in alcuni tipi di vetroFigura 5.28:  
Vetrata bassoemissiva

Figura 5.28



materiale. I processi produttivi avvengono in ambienti sotto vuoto spinto: uno dei procedimenti più avanzati tecnologicamente è quello denominato “magnetron sputtering”. In esso il materiale di supporto è introdotto nella camera in cui sono contenuti il metallo da depositare (catodo) ed un gas di processo a bassa pressione. In seguito all’applicazione di un voltaggio negativo al catodo, avviene la ionizzazione del gas. Gli atomi del gas così formati sono attratti dal catodo con una forza tale che atomi del catodo stesso, espulsi, si depositano sulla superficie del materiale sottostante. Il campo magnetico creato attorno al catodo aumenta la velocità di deposizione. Il processo, impiegato soprattutto nel vetro, garantisce eccellente uniformità del coating e, grazie alla molteplicità degli strati di film depositi, una vasta gamma cromatica con elevata variabilità di parametri luminosi ed energetici. Questi coating sono comunemente detti “magnetronici”: in questo caso la deposizione dello strato metallico sul film risulta più sottile e più uniforme perché il processo viene pilotato magneticamente e permette una deposizione con densità estremamente uniforme. Sono inoltre più stabili e duraturi nel tempo<sup>70</sup>.

Sono state realizzate anche pellicole su base polimerica con depositi metallici di analoghe caratteristiche.

La caratteristica principale del film, che ha uno spessore dell’ordine della decina di micron, è di essere trasparente nello spettro visibile e altamente riflettente nel lontano infrarosso (oltre i 2500nm). La lastra così preparata presenta una emissività molto bassa: 0.04-0.10 rispetto a 0.84 del vetro non trattato. In tal modo la trasmissione per irraggiamento tra le lastre può essere ridotta fino al 90%. L’efficacia dell’intervento viene maggiorata effettuando il trattamento sulle due superfici affacciate. La possibilità di poter regolare, tramite la deposizione di materiali particolari, la trasmittanza e la riflettanza nelle varie zone spettrali offre ulteriori opportunità. Se la finestra, infatti, è progettata per massimizzare i guadagni solari si sceglierà un comportamento trasparente. Viceversa, se il componente dovrà essere usato come sistema di controllo per la radiazione solare in climi caldi, il rivestimento sarà realizzato in modo da ottenere il passaggio dallo strato trasparente a quello riflettente verso la fine del visibile.

Ai fini del comportamento termico, dunque, i film pirolitici, hanno prestazioni leggermente peggiori di quelli magnetronici, ma hanno il vantaggio di poter essere impiegati in vetri singoli. Ciò può essere particolarmente rilevante nel caso di riqualificazione di edifici storici, in cui si vogliono conservare gli infissi originali. Sebbene,





Figura 5.29



Figura 5.30

dunque, la riduzione della trasmittanza sia notevolmente minore di quella che si avrebbe con sistemi magnetronici a doppio vetro, può comunque essere considerato un buon risultato, soprattutto nel caso di vetrate estese. Laddove è possibile, naturalmente, sono consigliabili sistemi magnetronici isolanti a doppio vetro.

### 5.5.1 Film riflettenti

Si tratta di film selettivi, che sfruttano la capacità di alcune particelle metalliche di riflettere determinate quantità di radiazione solare, sia nella componente termica che di radiazione visibile.

Attraverso un processo di deposizione di ossidi metallici sulle superfici delle lastre di vetro si può ottenere un film schermante, ed in relazione alla densità del film metallico è possibile ottenere un notevole abbattimento della trasmissione visibile e solare. Oltre ai depositi pirolitici effettuati direttamente sulla lastra di vetro, si trovano in commercio molte varianti di pellicole a base polimerica con le stesse proprietà, vendute in rotoli ed applicabili a posteriori su supporti vetrati o plastici trasparenti. Questi tipi di trattamento, impiegati massicciamente negli anni '70, hanno però l'inconveniente di ridurre il livello di trasparenza e di introspezione del vetro cui si applicano, e non hanno una elevata qualità di aspetto, producendo un effetto colorante e più o meno specchiante. Per questo motivo, ad oggi, trovano impiego soprattutto per grandi superfici di tipo industriale, dove si trovano spesso accoppiate a film per la sicurezza anti-sfondamento. Consentono invece una buona protezione dal calore ( 60/70% in relazione allo spessore applicato), rimozione di riflesso e abbaglio - trasformando luce diretta in luce diffusa, protezione dai raggi ultravioletti e basso costo. Sono già presenti sul mercato lastre già lavorate, pellicole da applicare a posteriori, e addirittura vernici termoriflettenti, dotate di leggere colorazioni, o a più o meno elevato grado di riflessione; sono dotate di facilità di impiego anche a posteriori e di buona resistenza.

### 5.5.3 Film anti UV

La radiazione UV è la porzione della radiazione solare tra 190 e 380 nanometri. Si tratta di energia intensa e per certi aspetti alquanto dannosa.

-Gli UV-C sono completamente assorbiti dallo strato di ozono nell'atmosfera.

Figura 5.29:  
Film riflettente, applicato in  
villa NM, New York, arch. UN  
Studio

Figura 5.30:  
Vetrate riflettenti tradizionali,  
impiegate in un edificio  
per uffici

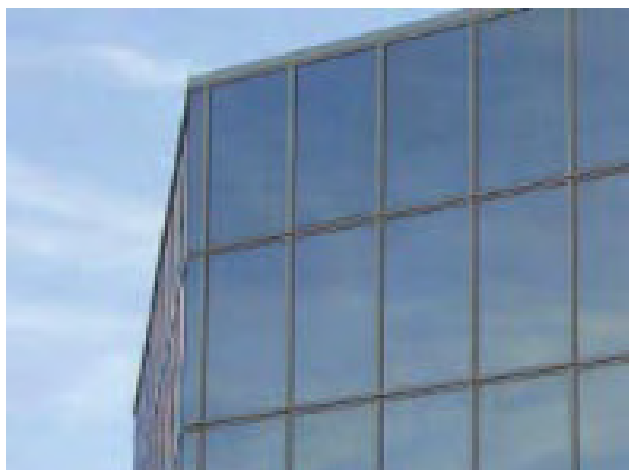


Figura 5.31



Figura 5.32

-Gli UV-B sono parzialmente assorbiti dall'atmosfera.

-Gli UV-A generalmente passano attraverso l'atmosfera e il vetro.

UV-A e UV-B contribuiscono allo scolorimento e al deterioramento dei materiali e, in dose eccessiva, possono determinare l'insorgenza di fenomeni cancerogeni sulla nostra pelle. I film anti UV sono in grado di filtrare in modo consistente le radiazioni ultraviolette e trovano impiego soprattutto per proteggere opere d'arte, vetrine di negozi, e nei casi in cui bisogna proteggere i materiali dal deterioramento. Sono disponibili in versione perfettamente trasparente solo anti-UV, ma di solito si trovano in commercio pellicole che alla prestazione di filtro agli UV associano quella di pellicole di sicurezza o di riflessione della radiazione solare.

#### 5.5.4 Pellicole a controllo solare

Si tratta di dispositivi che respingono una parte delle radiazioni incidenti, spesso costituite da pellicole riflettenti. In generale, sono formate da una base di materiale poliestere trasparente sulla quale viene posto un rivestimento estremamente sottile di alluminio o altri metalli vaporizzati a densità controllata.

Su questo viene posto un ulteriore strato di poliestere con un successivo trattamento antigraffio per proteggerlo da abrasioni e corrosioni.

L'effetto esterno che si ottiene è speculare di vari colori. Impiegate da tempo in vetrate con grossi problemi di insolazione, abbaglio e surriscaldamento degli ambienti interni, hanno un sono utilizzate soprattutto in edifici industriali o per uffici, dove possono essere applicate a posteriori in modo economico. Appartengono a questa categoria anche i vetri colorati ottenuti con aggiunte di sostanze coloranti al vetro fuso (ossidi metallici, principalmente ferro, cobalto, cromo vanadio e rame, anche oro e argento) e i vetri riflettenti ottenuti con ossidi metallici depositati in strati molecolari sulla loro superficie.

#### 5.5.5 Film fotocromici

Sono realizzati con materiali che, esposti alla luce, e quindi assorbendo energia, sono in grado di alterare le proprie condizioni iniziali di trasparenza e colore ripristinandole gradualmente una volta cessata l'esposizione. I materiali fotocromici si basano sul principio del cambiamento cromatico reversibile di alcune sostanze

Figura 5.31, 5.32:  
Pellicole riflettenti applicate  
a posteriori in edifici per  
uffici

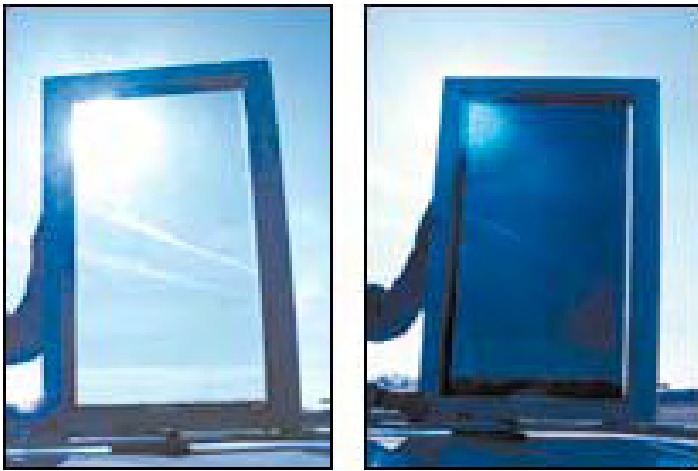


Figura 5.33

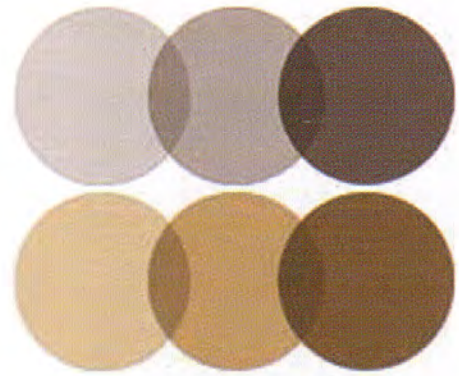


Figura 5.34

chimiche (Ag, alogeni Cl, Br,) poste tra due strati ad assorbimento energetico differente ed esposte ad un flusso luminoso. Si tratta di materiali in grado di assorbire energia e di variare quindi, per induzione di radiazioni elettromagnetiche, lo spettro cromatico in uscita: in breve, riflettendo alcune lunghezze d'onda, colorano il vetro e lo opacizzano a causa della ridotta trasmissibilità della luce. Per questo motivo, I dispositivi fotocromici trovano un interessante impiego in applicazioni nelle quali la limitazione delle radiazioni è l'obiettivo principale da raggiungere, ed attualmente sono impiegati ad esempio nelle lenti per occhiali da sole, o nelle vetrate per automobili<sup>71</sup>.

Per quanto riguarda l'applicazione in edilizia, bisogna tener presente che la prestazione ottica dei materiali fotocromici non è di tipo selettivo, e ciò vuol dire che vetrate controllate in questo modo avranno un guadagno termico maggiore di vetrate controllate attraverso dispositivi schermanti tradizionali. Detto questo, offrono buone potenzialità per il futuro, ma nel presente sono ancora penalizzati da alcuni problemi tecnico-costruttivi:

- difficoltà ad ottenere una distribuzione uniforme delle sostanze fotocromiche nel vetro;
- perdita graduale della reversibilità nel tempo.

Aspetto importantissimo, per un architetto, sono i colori ed il livello di visibilità nello stato oscurato: entrambe queste caratteristiche possono variare di molto a seconda del materiale che viene utilizzato (i materiali fotocromici sono infatti molti). Le contro indicazioni per l'impiego di questi materiali in edilizia sono riscontrabili nella totale assenza di controllo della variabilità delle prestazioni da parte dell'utente. Impiegati in un edificio potrebbero creare un oscuramento indesiderato a causa della tendenza dei film fotocromici ad aumentare la densità cromatica anche a livelli di luce molto bassa. Occorre quindi posizionarli in modo opportuno affinché, in un giorno d'inverno con cielo coperto con poca ma diffusa luminosità, non si ottenga un eccessivo oscuramento interno degli ambienti. In una facciata continua, ad esempio, dovrebbero essere posizionati al di sopra o al di sotto di una fascia mediana totalmente trasparente.

Vantaggi

- sono autoregolanti
- buona durabilità nei cicli colorato/trasparente
- buona resistenza agli attacchi chimici

Figura 5.33:  
Finestra fotocromica:  
esposta al sole assume  
una colorazione più  
scura, schermando dalla  
componente visibile della  
radiazione, ma assorbendo  
calore

Figura 5.34:  
lenti oftalmiche  
fotocromatiche





Figura 5.35



Figura 5.36

#### Svantaggi

- drastica riduzione di trasmissione luminosa nello stato oscurato
- riflessione della radiazione energetica anche nei mesi invernali
- cambiando stato diventano assorbenti (causando problemi di stress termico)
- le dimensioni sono ancora troppo piccole per l'uso in edilizia
- costo molto elevato
- difficoltà di ottenere una distribuzione omogenea nello stato colorato

#### 5.5.6 Film termocromici

Sono definiti termocromici quei materiali trasparenti che modificano le loro proprietà ottiche in funzione della variazione di temperatura. Ciò avviene tramite una reazione chimica di tipo reversibile una volta ripristinate le condizioni termiche entro le quali la reattività chimica è statica. Il comportamento termocromico si può ottenere con svariati composti organici, inorganici e in film di ossidi metallici, i quali si trasformano in conduttori a determinate temperature. Sono state esplorate diverse tecnologie termocromiche, ma le più promettenti sembrano essere rivestimenti a base di gel. Il Cloug gel consiste in un sottile strato di soluzione acquosa polimerica racchiusa tra due pellicole plastiche. Le molecole polimeriche restano trasparenti fino a una temperatura che, se superata, riduce la trasparenza fino a rendere il materiale opaco con colorazione biancastra, contribuendo a riflettere la radiazione solare, ma continuando a lasciar passare un'alta percentuale di luce diffusa. La temperatura di risposta del film termocromico può essere adattata a seconda delle necessità e la localizzazione. Negli elementi di involucro in cui le due facce del materiale termocromico sono esposte a condizioni termiche differenti, è infatti necessario regolare la reazione del materiale in relazione alle prestazioni richieste in risposta al cambiamento di temperatura dell'ambiente. In aggiunta al cambiamento automatico, in risposta a caldo, dal chiaro al diffondente, le vetrate cambiano anche in bianco –riflettente, riducendo la trasmissione di calore solare<sup>72</sup>. Ciò può ridurre in modo significativo i costi di aria condizionata nel periodo estivo. Poiché una volta che la vetrata perde la sua trasparenza non si può più vedere attraverso, questo tipo di dispositivo è probabilmente più adatto per lucernari,

Figura 5.35:  
Carta da parati fotocromica:  
esposta alla luce diventa  
scura; quando l'esposizione  
finisce, o diminuisce  
d'intensità, compare il  
disegno

Figura 5.36:  
Décorazioni termocromiche  
su piastrelle di rivestimento  
in ceramica: quando  
l'ambiente si scalda,  
compare il disegno, quando  
si raffredda, scompare



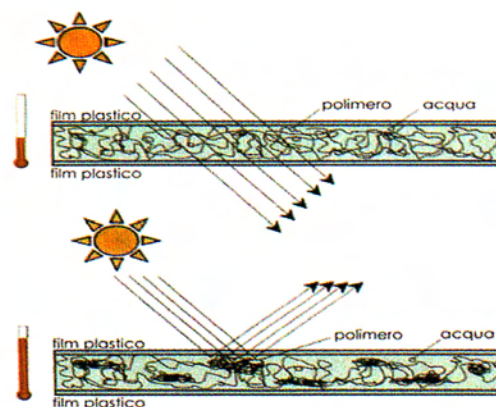


Figura 5.37

piuttosto che per le finestre. “Cloug Gel”, è ora anche un prodotto sul mercato, sottoforma di una sottile pellicola in plastica, che può essere incorporata nel montaggio di quasi tutti i componenti vetrati o plastici trasparenti.

### 5.5.7 Film elettrocromici

L'elettrocromatismo è il fenomeno per cui il passaggio di una corrente elettrica attraverso un materiale comporta il cambiamento persistente e reversibile, nella sua struttura chimica, con l'ulteriore

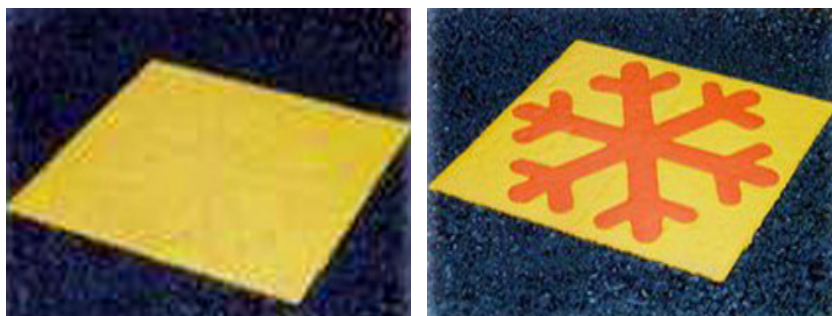


Figura 5.38

Figura 5.37: Funzionamento di un film termocromico, in grado di modificare in modo reversibile le proprie caratteristiche ottiche al variare della temperatura

Figura 5.38: rivestimento termocromico in una pavimentazione stradale: a determinate temperature, compare il disegno.



Figura 5.39

Figura 5.39: Finestra termocromica

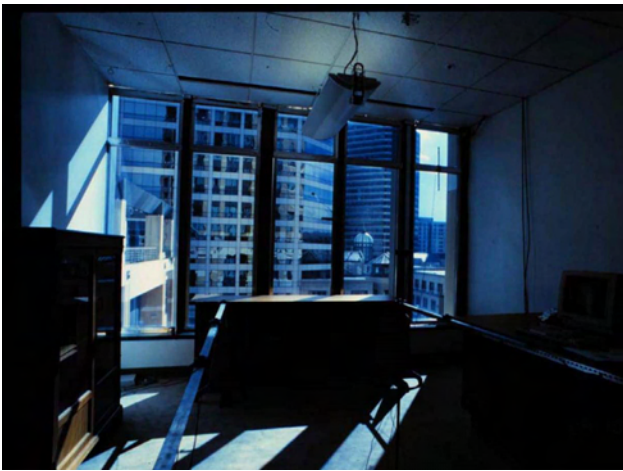


Figura 5.40



Figura 5.41

conseguenza di mutare le caratteristiche della trasmissione della luce. Questi dispositivi consistono in celle elettrochimiche i cui elettrodi chimicamente attivi (materiali elettrocromici) sono depositati sotto forma di film sottili su vetro o plastica. Il cambiamento delle loro proprietà è da attribuire all'inserimento o all'estrazione di ioni mobili: quando il campo elettrico è attivato, gli ioni introdotti reagiscono generando composti colorati che modificano lo spettro cromatico del materiale. Il fenomeno è stato rilevato in numerose sostanze inorganiche ed organiche (compresi alcuni polimeri). Ci sono due categorie principali di materiali elettrocromici: ossidi dei metalli di transizione e composti organici. I più comuni sono elencati in tabella.

Il processo elettrocromico consiste quindi nel cambiamento di stato di questi materiali, a seguito di un piccolo trasferimento di carica elettrica sotto l'applicazione di un campo elettrico a tensione relativamente bassa (1-5 V). Uno dei maggiori vantaggi dei dispositivi elettrocromici è quello di essere particolarmente adatti ad applicazioni che richiedono grandi superfici (come in

Figura 5.40:  
finestra elettrocromica  
in un edificio per uffici:  
attivato elettricamente, il  
film elettrocromico muta  
le proprie caratteristiche  
ottiche.

Figura 5.41:  
vetrata elettrocromica  
dell'edificio Stadsparkasse,  
Dresden, arch. Bauer &  
Keller(cfr. par. 1.4.2)

Tabella 5.1:  
i più comuni materiali  
elettrocromici.

fonte: <http://www.fis.unical.it>

MATERIALI ELETTROCROMICI INORGANICI		MATERIALI ELETTROCROMICI ORGANICI	
a) Catodici (colorazione per riduzione)		Tipo	Colore acquisito
Materiale	Colore acquisito	Viologeni	Trasparente <--> Blu, Viola, Rosso
Ossido di Tungsteno (WO <sub>3</sub> )	Trasparente <--> Blu	Polimeri: Polianilina	Trasparente <--> Verde, Blu, Porpora
Ossido di Molibdeno (MoO <sub>3</sub> )	Giallo <--> Grigio, Porpora	Polimeri: Polipirrolo	Giallo <--> Marrone
Ossido di Titanio (TiO <sub>2</sub> )	Trasparente <--> Blu	Polimeri: Politiofene	Rosso <--> Blu
Ossido di niobio (Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Trasparente <--> Bronzo	Polimeri: Poliisotianofene	Nero <--> Trasparente
Ossido di Vanadio (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Giallo <--> Blu, Verde, Nero	Antraquinoni	Rosso <--> Blu, Verde
b) Anodici (colorazione per ossidazione)		Diftalocianine	Verde <--> Rosso, Viola, Blu, Giallo
Ossido di Nichel (NiO)	Trasparente <--> Bronzo	Tetrafulvalene	Giallo <--> Verde, Porpora
Ossido di Iridio (IrO <sub>2</sub> )	Trasparente <--> Nero	Pirazoline	Giallo <--> Giallo, Blu, Verde
Ossido di Rodio (RhO <sub>3</sub> )	Giallo <--> Verde, Marrone, Porpora		
Ossido di Cobalto (CoO <sub>2</sub> )	Rosso <--> Porpora, Grigio, Nero		



Figura 5.42

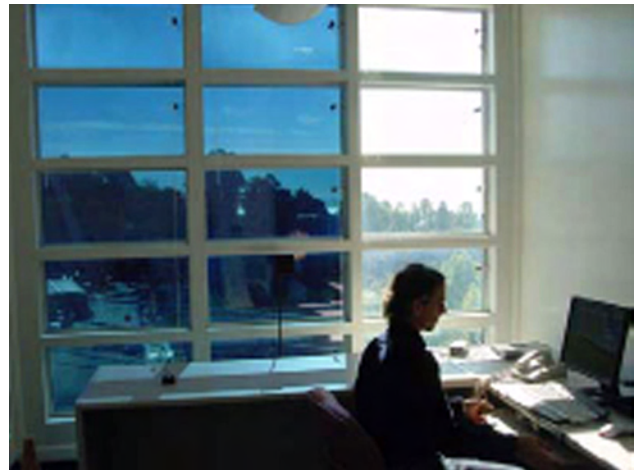


Figura 5.43

edilizia e mercato automobilistico). Tra i materiali maggiormente sperimentati per la realizzazione di dispositivi elettrocromici, l'Ossido di Tungsteno presenta una grande variazione di trasmissione nel campo del visibile, di colore prevalentemente blu, la cui intensità può essere modulata. L'elettrocromatismo è attualmente oggetto di molti studi approfonditi, che hanno già portato allo sviluppo di prodotti commerciali per l'edilizia. Per lo sviluppo della "finestra intelligente" la gradazione di colorazione del dispositivo rappresenta naturalmente un fattore di grande importanza, sia nello stato chiaro che in quello oscurato, così come acquistano importanza le strategie di controllo associate al loro impiego. Da un punto di vista dell'analisi costi/benefici, comunque, diversi studi confermano il dato secondo cui finestre regolate da dispositivi elettrocromici potrebbero contribuire ad un sensibile risparmio energetico per i consumi di raffrescamento ed illuminazione, fino ad una percentuale massima, in condizioni estreme, che potrebbe raggiungere anche il 40% del totale. Inoltre, questo tipo di tecnologia garantisce una flessibilità d'uso che non è disponibile con sistemi fotocromici, termotropici o termocromici, il cui comportamento è passivo e non può essere regolato<sup>73</sup>.

Vantaggi:

I requisiti richiesti a una cella elettrocromica per finestra comprendono: stabilità in temperatura, longevità (circa 25 anni negli edifici e circa 5 anni per un'automobile); tempo per un ciclo on/off minore di tre minuti; numero totale di cicli all'anno attorno a 5000; disponibilità di colore e di modulazione ottica. Tutto ciò deve essere conseguito in finestre fino a 2m x2m di dimensioni e su vetri anche curvi. Finestre per applicazioni in edilizia e automobili vengono attualmente sviluppate in tutto il mondo. Prototipi commerciali in questo settore sono già disponibili. Per esempio, Asahi-Glass (Giappone) ha già dotato da qualche anno la facciata di un museo di una matrice di piccole finestre elettrocromiche. In Europa, Saint Gobain e Pilkington (in collaborazione con Flachglass AG per l'edificio Stadparkasse, analizzato in par.1.4.2) ne hanno già dimostrata la fattibilità<sup>74</sup>.

Svantaggi:

Nonostante i maggiori produttori di vetro abbiano la tendenza a immettere sul mercato una grande quantità di vetrate elettrocromiche per uso in edilizia e automobili, permane ancora il problema della mancanza della robustezza necessaria a consentire un lungo servizio per questi dispositivi. I risultati più interessanti sono i dispositivi basati su materiali inorganici, anche se pure con

Figura 5.42:  
Lucernario elettrocromico  
sviluppato da SAGE glass

Figura 5.43:  
Finestra elettrocromica in  
un edificio per uffici





Figura 5.44



Figura 5.45

Figura 5.44, 5.45:  
specchi "switchable": attivati elettricamente, passano da uno stato trasparente ad uno stato riflettente.

Figura 5.46: i passaggi del cambio di stato

Figura 5.46



questi la durabilità si può raggiungere a prezzo di notevoli difficoltà: un sistema può essere buono in termini di stabilità su una ben determinata finestra di condizioni elettrochimiche specifiche, ma non essere in grado di sopportare trattamenti che lo portino al di fuori di questa (per esempio, tensioni elettriche eccessive, applicate per lunghi tempi). Allo stato attuale, è comunque in atto sforzo di ricerca e sviluppo, concentrato alla definizione di problemi di base e di contorno, legati alla struttura e alle proprietà dei materiali coinvolti, al fine di ottimizzarne soprattutto caratteristiche ottiche e durabilità<sup>75</sup>.

#### 5.5.8 Specchi "switchable"

Sono materiali che hanno un comportamento elettrocromico, ma che per molti aspetti sono differenti dai convenzionali ossidi elettrocromici. Depositati inizialmente come strati metallici, impiegando un film sottile di magnesio e titanio applicato ad un sostrato trasparente, essi possono essere convertiti in idruri parzialmente trasparenti mediante l'aggiunta di idrogeno allo stato solido o gassoso. In questo modo, essi cambiano diventando riflettenti. Gli specchi "switchable" furono scoperti nel 1996 nell'università di Vrije in Olanda, e tale scoperta è stata poi sviluppata dai Laboratori Philips, implementando la tecnologia necessaria. Attualmente vengono realizzati mediante la tecnica di sputtering simultaneo per facilitare le variazioni nella composizione. A differenza dei tradizionali ossidi elettrocromici, gli idruri diventano riflettenti invece di diventare assorbenti. Il range dinamico è solitamente dieci volte maggiore di quello per i materiali assorbenti. Questo comportamento ha un interessante potenziale in termini di prestazioni energetiche e durevolezza, stabilità alle temperature, controllo dell'abbagliamento e della privacy, anche se attualmente le dimensioni prodotte sono di circa 60x70cm.

#### 5.5.9 Cristalli liquidi (LCD)

I dispositivi a cristalli liquidi offrono la possibilità di realizzare dispositivi in grado di variare dinamicamente dalla traslucidità alla totale trasparenza; in sostanza, il loro comportamento è assimilabile a quello dei display più diffusi, attivati elettricamente. Ciò offre il grande vantaggio di poterli attivare o disattivare, e modulare con opportuni dispositivi di controllo.





Figura 5.47



Figura 5.48

Il loro comportamento si basa sulle caratteristiche di un film a matrice polimerica in cui vengono disperse particelle di cristalli liquidi, ed il film viene poi inserito tra due elettrodi trasparenti.

Quando viene applicato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole di cristalli liquidi assumono un determinato orientamento e il materiale è trasparente; nello stato non attivato, invece, le molecole sono casualmente disposte: la luce incidente subisce una diffrazione e il materiale risulta di colorazione lattea. Dal punto di vista applicativo nei componenti dell'involucro edilizio si dovranno comunque considerare almeno due aspetti: dal punto di vista del controllo ottico, il loro comportamento è estremamente interessante, consentendo di proiettare immagini, di variare la trasparenza, l'introspezione, il livello di illuminazione di un ambiente. Dal punto di vista termico, invece, bisogna considerare il fatto che tali dispositivi non sono selettivi, e quindi la loro prestazione dal punto di vista del guadagno termico allo stato attuale non è ottimale<sup>76</sup>.

Malgrado la raggiunta maturità commerciale di tali dispositivi, infatti, essi sono meno interessanti rispetto agli elettrocromici per le seguenti ragioni. In primo luogo, nello stato trasparente essi devono essere continuamente alimentati con consumi energetici (20 W/m<sup>2</sup>) non trascurabili, inoltre l'escursione della trasmittanza è piuttosto limitata (0.53-0.77) il che si riflette in una ancora più stretto range di variazione del fattore solare per cui non sono particolarmente efficaci per regolare i guadagni solari.

Entrati in produzione da circa dieci anni i PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal) sono oggi, tra i dispositivi a trasparenza variabile, i più commercializzati. Pur rimanendo invariato il funzionamento, nel corso degli ultimi anni la competizione tra le aziende produttrici ha dato notevoli risultati di perfezionamento del sistema. L'innovazione riguarda:

- l'allungamento della durata (da 4 a 6 anni);
- la riduzione di energia di attivazione (da 120 a 30V);
- aumento dell'escursione del campo termico esterno al dispositivo
- il potenziamento della rapidità della risposta;
- una maggiore opacità;
- il miglioramento della deformazione ottica (sfuocamento nello stato trasparente della visibilità in incidenza obliqua)
- l'utilizzazione di conduttori più economici per contenere il prezzo

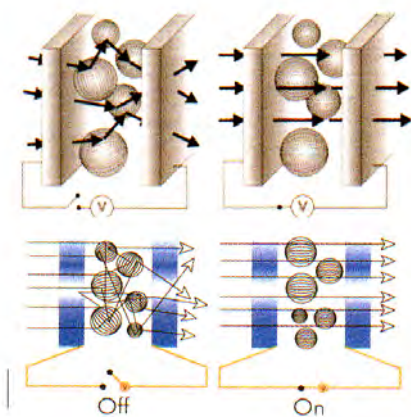


Figura 5.49

Figura 5.47, 5.48:  
Vetrata a cristalli liquidi nello stato attivato e disattivato

Figura 5.49:  
Funzionamento di un dispositivo a cristalli liquidi.

Quando viene applicato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole di cristalli liquidi assumono un determinato orientamento e il materiale è trasparente; invece, le molecole sono disposte casualmente, quindi la luce incidente subisce una diffrazione e il materiale appare di color latteo. La possibilità di orientare e modulare le molecole consente anche di proiettare immagini.



Figura 5.50



Figura 5.51



Figura 5.52

Figura 5.50, 5.51, 5.52:  
Vetrata a cristalli liquidi nello  
stato attivato, disattivato e  
con proiezione di immagini

di vendita.

Anche se il dispositivo può funzionare con un'alimentazione del campo elettrico regolata in intensità da un potenziometro, i prodotti disponibili sul mercato prevedono solo un interruttore con posizione ON-OFF. La regolazione intermedia non dà ancora garanzie di lunga durata, anzi compromette la reversibilità.

Prodotti in commercio in Italia:

-VARILITE Azienda produttrice: ISOCLIMA Indirizzo: ISOCLIMA SpA - Via A. Volta, 14 -35042 Este (PD) ITALIA  
Dimensione pannelli: larghezza max. mm. 900 lunghezza max. mm. 2600 spessore max. mm. 9 Alimentazione elettrica: 60V ca Consumo: 20 W/ mq Proprietà ottiche: fattore di trasmissione luminosa stato attivato 82% stato disattivato 74% - fattore di



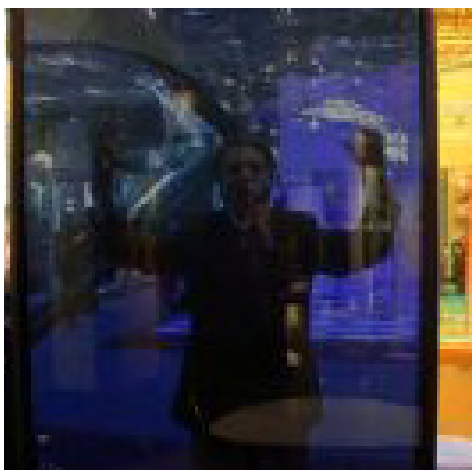


Figura 5.53



Figura 5.54



Figura 5.55

trasmissione solare stato attivato 80% stato disattivato 60% Sistema di attivazione: interruttore a comando manuale ON-OFF

- PRIVA-LITE Azienda produttrice: Saint-Gobain Indirizzo: Saint-Gobain Vetro Italia SpA - Via Romagnoli, 6 - 20146 Milano Dimensione pannelli: mm. 305 x 405 mm. max. 1000 x 2800 mm. spessore standard 10,12 e 14 mm. Alimentazione elettrica: 120V ca Consumo: 50 W/ mq Proprietà ottiche: fattore di trasmissione luminosa stato attivato 75% (vetro semplice) 67,3% (vetro doppio) stato disattivato 74,8% (vetr. semp.) 66,9% (vetr. dop.) Sistema di attivazione: interruttore a comando manuale ON-OFF.

### 5.5.10 SPD

Molto simili per caratteristiche e proprietà ai cristalli liquidi, i dispositivi Suspended Particle Device sono sostanzialmente costituiti da un film polimerico all'interno del quale vengono disperse delle particelle microscopiche di forma affusolata (costituite da poliodidi o parfatite), caratterizzate dalla capacità di assorbire gran parte della radiazione luminosa incidente. Nella costruzione di un dispositivo a particelle sospese, a tre o cinque strati, il film viene racchiuso tra due lastre di vetro o in materiale plastico trasparente rivestite al loro interno da un film conduttivo. Come nel caso dei dispositivi a cristalli liquidi, in assenza di potenziale elettrico le particelle sono disposte casualmente nello spazio e la radiazione luminosa incidente viene assorbita. L'applicazione di un voltaggio provoca invece l'allineamento delle particelle sospese secondo la direzione del gradiente di potenziale e, quindi, un aumento della trasmissione luminosa; tale processo di allineamento è proporzionale al voltaggio applicato. Contrariamente ai dispositivi a cristalli liquidi, che consentono esclusivamente una regolazione di tipo ON/OFF, infatti, i sistemi SPD garantiscono una modulazione pressoché completa nella variazione della trasmissione luminosa, nell'intervallo compreso tra i valori minimi e massimi ottenibili.

### 5.5.11 Pellicole opacizzanti

Le pellicole per vetri sono sottili film di materie plastiche che presentano un lato adesivo per l'applicazione, realizzate in poliestere per applicazioni solo su vetro, e in pvc per applicazioni su materie plastiche, vetro, superfici verniciate ed in genere superfici non porose e traspiranti. Evoluzione delle pellicole nate agli inizi del

Figura 5.56

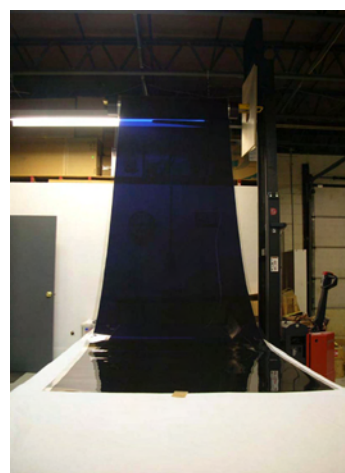


Figura 5.53, 5.54: Vetrate particelle sospese (Sputtered Particle Device, SPD) nello stato attivato e disattivato

Figura 5.55, 5.56: Il film SPD prima di essere applicato al vetro float



Figura 5.57: pellicola opacizzante





Figura 5.58

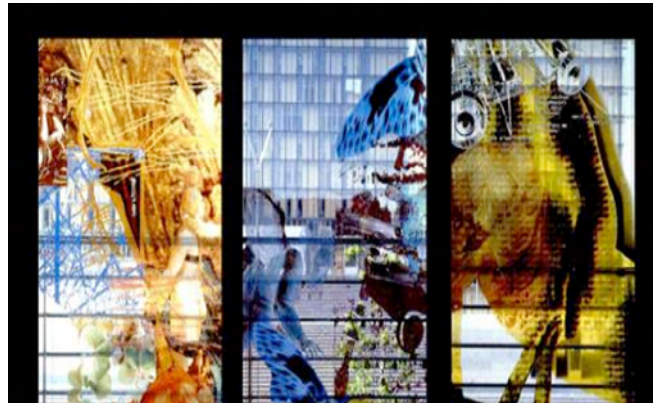


Figura 5.59

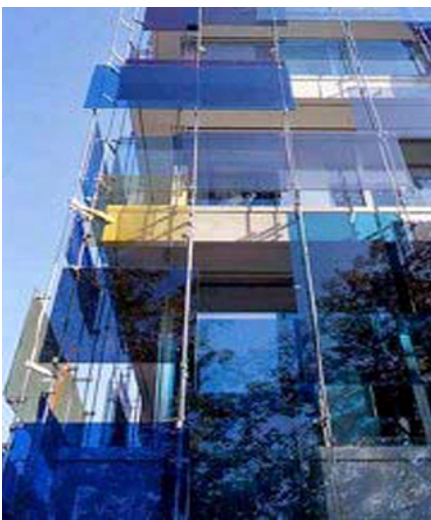


Figura 5.60

Figura 5.58:  
pellicole decorative  
impiegate come schermi  
solariFigura 5.59, 5.60:  
pellicole decorative:  
mediante processi di  
stampa digitale, è possibile  
realizzare immagini di  
grandi dimensioni e alta  
definizioneFigura 5.61:  
alcune pellicole dal  
campionario 3M: si tratta di  
pellicole adesive decorative  
che imitano texture e colori  
di altri materiali.

1960 per limitare l'irraggiamento solare, vengono oggi impiegate per migliorare la sicurezza delle superfici vetrate (trattengono infatti le schegge del vetro in caso di rottura), per garantire la privacy, e come elemento decorativo.

La pellicola è stampabile mediante una tecnologia di stampa digitale ed è quindi possibile realizzare decorazioni grafiche personalizzate, con qualsiasi immagine. E' disponibile in due versioni: per applicazioni all'esterno del vetro (Prima superficie) e per applicazioni all'interno del vetro (Seconda superficie). Se applicata sul lato interno del vetro si possono ridurre i costi di



Figura 5.61



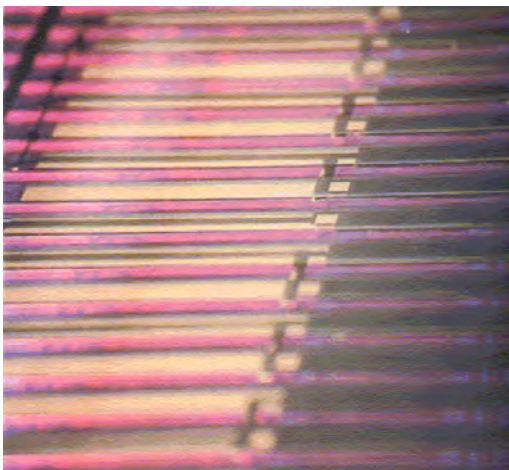


Figura 5.62



Figura 5.63

applicazione e la grafica è meno soggetta ai danneggiamenti. Le pellicole opacizzanti, in particolare, una volta applicate, trasformano un vetro trasparente in un vetro opaco bianco, bronzo, grigio, a specchio. Possono essere applicate a posteriori, su vetri preesistenti. Dette anche pellicole opali, consentono, una volta applicate al vetro, un totale o parziale oscuramento dell'ambiente. Offrono elevate prestazioni per l'abbattimento del calore, l'assorbimento dei raggi U.V. ed assicurano al vetro caratteristiche antinfortuno in caso di rottura. Le pellicole opali nella versione satinata diffondono la luce. Sono disponibili in vari colori e vengono impiegate soprattutto a scopi decorativi, per ottenere risultati simili alle serigrafie, ma senza averne i costi.

#### 5.5.12 Film olografici

I film olografici sono pellicole plastiche che, applicate sulle normali superfici vetrate, diffondono la luce all'interno del locale per diffrazione aumentando l'illuminamento nelle parti più interne del locale e limitando l'abbagliamento. A seconda dei tipi possono essere selettivi nei confronti degli UV o dell'IR, nel secondo caso limitano il carico termico del locale. Sono componenti ottici passivi, che possono essere integrati nelle lastre di vetro, e sono in grado di diffrangere i raggi solari trasmessi secondo una direzione prestabilita, definita sulla base dei percorsi solari caratteristici della zona considerata. Il comportamento nei confronti della radiazione solare incidente è di tipo selettivo: questa risulta diffratta in maniera diversa in funzione della lunghezza d'onda o dell'angolo con cui incide sulla pellicola. I reticoli a selettività spettrale hanno la caratteristica di riflettere la radiazione infrarossa (in maniera del tutto analoga ai vetri riflettenti), e al tempo stesso di trasmettere la maggior parte della radiazione luminosa, determinando pertanto livelli elevati di illuminazione naturale e ridotti carichi termici all'interno dell'edificio. I reticoli a selettività angolare sono invece in grado di variare l'entità dei guadagni solari, orari o stagionali, riducendo la trasmissione solare in estate (angoli di incidenza minimi) e mantenendola invece alta in periodo invernale (angoli di incidenza massimi)<sup>77</sup>.

I principali svantaggi sono costituiti dall'impossibilità di veder fuori, nella direzione di incidenza corrispondente all'angolo di diffrazione, e dal costo ancora elevato; inoltre provocano fenomeni di iridescenza superficiale dovuti alla scomposizione spettrale della luce, e in giornate nuvolose questi film diminuiscono il coefficiente di trasparenza del vetro cui sono applicati.

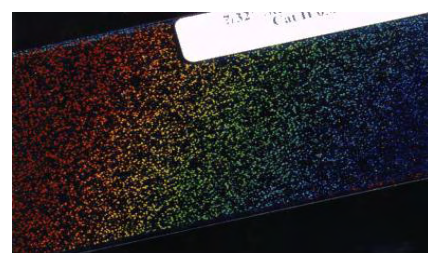


Figura 5.64

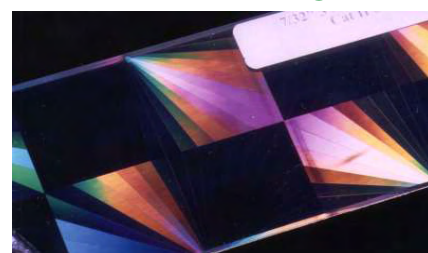


Figura 5.65

Figura 5.62:  
film olografico

Figura 5.63:  
Impiego di film olografici ad  
un involucro edilizio

Figura 5.64, 5.65:  
due campioni mostrano  
alcuni dei pattern che  
è possibile stampare  
mediante stampa olografica.

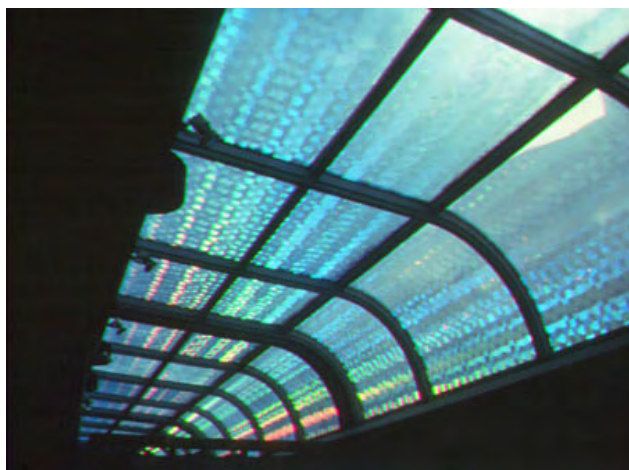


Figura 5.66

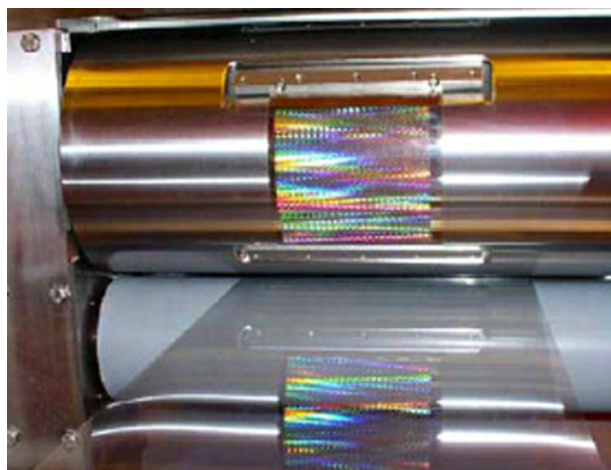


Figura 5.67

Figura 5.66:

Film olografici applicati ad un lucernaio.

Figura 5.67:

Processo di stampa olografica

Gli ologrammi vengono prodotti mediante laser sotto forma di pellicole sottili e successivamente incorporate all'interno di lastre trasparenti di vetro stratificato. Mediante l'effetto fisico della diffrazione, essi guidano la luce analogamente agli specchi, prismi, lenti ed altri elementi ottici, senza peraltro diminuire in maniera significativa la trasmissione della radiazione solare. I sistemi olografici ottici (Hoe) si inseriscono tra quelle soluzioni che sfruttano meglio la luce diurna sia nelle condizioni di cielo coperto, sia durante i periodi di illuminazione solare diretta, consentendo di ottenere un miglioramento della distribuzione dell'illuminazione diurna mediante la deviazione controllata della radiazione solare sia diffusa, sia diretta. L'effetto di redirectionamento della radiazione incidente in questo caso è ottenuto tramite la diffrazione di una struttura prismatica invisibile ottenuta mediante "stampa" con tecnica olografica. Tali materiali, sviluppati inizialmente presso l'Istituto di illuminotecnica e tecnica della costruzione (Ilt) dell'Università di Colonia, permettono la realizzazione di una distribuzione più omogenea della luce diurna negli spazi interni. Il vetro dotato di pellicole olografiche apre molteplici possibilità di applicazione, nell'ambito del miglioramento della qualità dei posti di lavoro e nel trattamento con luci e colori dell'involucro esterno degli edifici. La gamma di applicazioni per i vetri dotati di pellicole olografiche è molto ampia, consentendo di ottenere un miglioramento della distribuzione dell'illuminazione diurna mediante la deviazione controllata della radiazione solare sia diffusa che diretta.

Essi sono ottenuti interponendo tra due lastre di vetro di spessore variabile tre fogli polimerici a base di polivinil butirrale, di cui uno ha proprietà olografiche. La presenza del film olografico crea nel vetro stratificato un effetto ottico tridimensionale con giochi di colore che variano a seconda dell'angolo di osservazione. Quando un raggio di luce colpisce tali vetri stratificati, l'effetto risultante è simile a quello che si osserva in un caleidoscopio. I film olografici sono disponibili in diversi tipi di grafiche che, combinate in modo differente, permettono di ottenere vetri stratificati con una grande varietà di finiture. Questi prodotti inoltre possiedono tutte le caratteristiche tipiche dei vetri stratificati: grazie alla presenza dei film plastici interposti sono vetri di sicurezza e possiedono buone proprietà di isolamento acustico. Già impiegati a scopo prevalentemente decorativo, possono essere applicati in modo particolarmente utile quando si voglia focalizzare la radiazione incidente in un determinato punto dello spazio; in tal caso i film olografici possono comportarsi come una lente. Questo effetto può essere sfruttato per far sì che elementi dotati di film olografici



Figura 5.68

possano aumentare il rendimento, ad esempio, di celle fotovoltaiche, concentrando su di esse la radiazione solare incidente e garantendo cos' un rendimento in termini di energia elettrica prodotta fino ad una volta e mezza maggiore rispetto ad un sistema tradizionale.

I test fino ad oggi effettuati hanno poi mostrato che i dispositivi olografici hanno dato gli esiti migliori per redirezionare la luce solare diretta, mentre se applicati in condizioni di luce diffusa (stato in cui le onde luminose provengono da varie direzioni differenti) generano effetti di redirezionamento poco significativi<sup>78</sup>.

#### 5.5.13 Film antiriflesso

Sono costituiti da rivestimenti che vengono posti su entrambe le facce, che riducono il fattore di riflessione del vetro chiaro da 0.09 a 0.02-0.03, aumentando così la trasmissione della radiazione luminosa. L'uso di questo trattamento, nato per scopi speciali come esigenze ottiche in prove di laboratorio, o per l'esposizione di opere d'arte, non è esclusivamente ristretto a questi ambiti, ma può essere vantaggioso anche in unità multiple per l'edilizia, al fine di ridurre il numero di riflessioni successive tra edifici che si fronteggiano, o in tutti quei casi in cui la differenza tra le condizioni di luce all'esterno e all'interno sono tanto forti che è difficile vedere verso l'interno. Attualmente i film anti-riflessione sono ampiamente usati nelle vetrine dei negozi e in tutti i casi in cui si cerca di migliorare l'introspezione.

#### 5.5.14 Film anti infrarossi

Realizzati con film polimerici senza depositi metallici, i film anti Infrarossi sono stati sviluppati soprattutto per il settore medicale ed automobilistico, per bloccare parte della radiazione solare. Sono realizzati da un sottile film trasparente a più strati, grazie al quale l'energia solare viene riflessa sulla lunghezza d'onda infrarossa. Il fatto che i nuovi film anti IR siano completamente polimerici, segnano un netto miglioramento tecnologico rispetto a qualche anno fa, quando venivano invece impiegati film con depositi metallici, che spesso creavano problemi di corrosione e trasmissione elettromagnetica. I film anti IR si trovano già laminati tra lastre in vetro, o sottoforma di pellicole adesive applicabili "a posteriori".

Figura 5.68:

Film anti-riflesso applicati alle vetrine di un negozio.

Questo tipo di film aumenta l'introspezione e riduce la componente riflessa di luce naturale.





Figura 5.69

Figura 5.69:  
Pellicole prismatiche  
impiegate in un involucro  
edilizio.

Si può notare a destra  
l'effetto della luce sul film  
in condizioni di luce diretta,  
a sinistra lo stato del film in  
condizioni di luce diffusa

### 5.5.15 Pellicole prismatiche

Le pellicole prismatiche sono costituite da fogli in materiale plastico trasparente, incisi attraverso uno speciale procedimento di serigrafia che produce una superficie formata da piccoli prismi, di dimensioni anche inferiori al millimetro. Così lavorati, questi fogli sfruttano sia le proprietà ottiche delle materie trasparenti, che sono in grado di riflettere e rifrangere la radiazione solare in modo diverso in relazione all'angolo di incidenza, sia le possibilità di eseguire lavorazioni laser su spessori assai sottili, consentendo di creare un film che si comporti come un pannello prismatico.

Sono caratterizzati da un elevato potere deformante dell'immagine e, per permettere la veduta esterna, tali sistemi sono spesso collocati ad altezza superiore al cono visivo dell'utente

Il risultante film acrilico è leggero, ma con buone proprietà ottiche. Le pellicole prismatiche sono molto sottili e, per proteggerle dai graffi o dalla polvere, devono essere racchiuse tra due lastre di vetro. Così confezionate possono essere impiegate all'interno di unità a doppio vetro. Il Building Research Establishment (BRE) ha testato questo sistema nella sua sede a Garston vicino a Londra, Regno Unito (UK): un sistema con pellicola prismatico (prisma con angoli di  $62^\circ$  e  $78^\circ$ ). Esposto direttamente al sole (estate e equinozio), il film prismatico rifrange la luce solare e illumina il tetto al centro della stanza. Rispetto al vetro chiaro, il film prismatico raggiunge livelli di illuminamento al centro e nel retro della camera da circa il 10 al 20%<sup>79</sup>. Per basse elevazioni del Sole (inverno), il film ha re-diretto la luce più in prossimità del dispositivo che verso il centro della stanza. In condizioni di cielo coperto, il film prismatico ha ridotto la luce in modo uniforme. È stato anche sperimentato un sistema produttivo analogo alla serigrafia, costituito da film stampati da applicare su entrambi i lati della lastra di vetro: caratterizzati da un pattern di linee orizzontali, questi film consentono l'ingresso della luce naturale (diretta e diffusa) all'interno degli spazi confinati, mentre blocca parte della radiazione incidente proveniente da angolazioni selettivamente determinate.

### 5.5.16 Laser cut film

I Film a taglio laser sono dispositivi in grado di ridirezionare l'illuminazione naturale fungendo da sistemi riflettenti, ed assicurando comunque un buon livello di visibilità verso l'esterno. Costituiti da fogli sottili (film spessi) in materiale acrilico



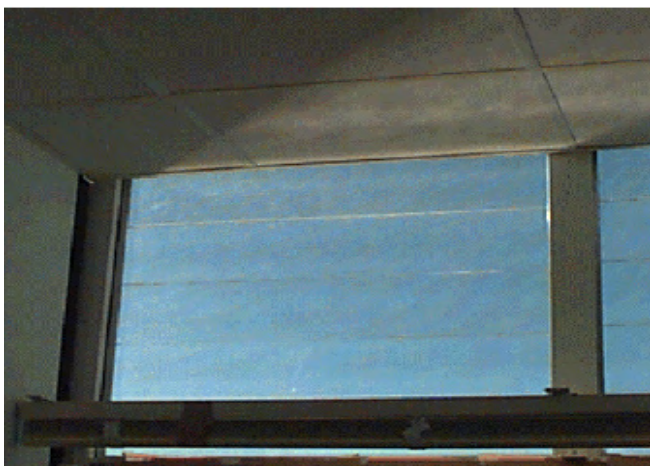


Figura 5.70

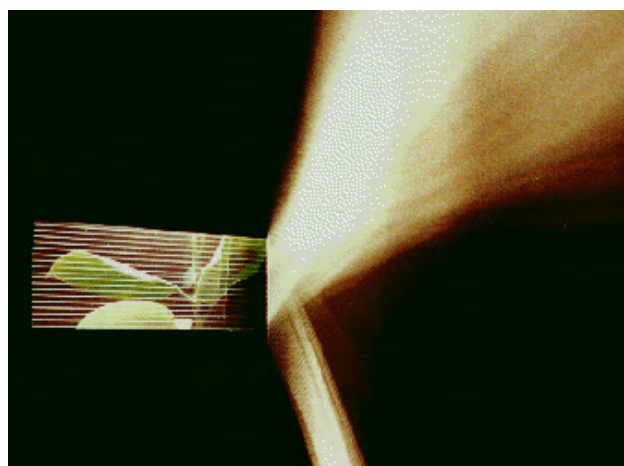


Figura 5.71

trasparente chiaro (PMMA), tagliati da un raggio laser in una serie di elementi dalla forma rettangolare, funzionano in modo che la superficie di ciascun taglio funzioni come una piccola lamella interna in grado di deflettere la luce che attraversa il film stesso. Caratterizzati da una grande percentuale di luce deflessa, in un ampio angolo ( $>120^\circ$ ) e dalla possibilità di mantenere la trasparenza su quasi tutta la superficie vetrata, i Laser cut panels sono realizzabili attraverso un processo produttivo semplice e flessibile, e di solito sono incisi in direzione perpendicolare rispetto alla superficie (anche se è possibile effettuare i tagli in altre angolazioni): il taglio viene deciso in fase di progettazione. Quando i tagli avvengono perpendicolarmente alla superficie, si richiede un minor controllo della velocità di taglio e della potenza del laser che in altre condizioni; in ogni caso, tra un taglio e l'altro devono rimanere almeno 10-20mm di parti solide. L'efficienza del sistema nel trasmettere (per rifrazione) la luce solare è molto alta. Se i pannelli sono montati verticalmente (con incisioni orizzontali), la luce solare incidente con angoli superiori ai  $30^\circ$  viene praticamente interamente riflessa verso l'esterno, mentre al di sotto dei  $20^\circ$  viene rifratta verso il soffitto e quindi verso la parte di ambiente più lontana dalle finestre<sup>80</sup>. Questo permette di ridurre la radiazione solare trasmessa in ambiente in periodo estivo ottimizzando invece la quota parte trasmessa in periodo invernale. Anche per i pannelli montati orizzontalmente (nella forma di lamelle orizzontali o di veneziane) è elevata la frazione di radiazione solare riflessa esternamente. Permettono la vista verso l'esterno (la distorsione è minima), ma la loro posizione ottimale è sopra l'altezza degli occhi, in modo da evitare possibili abbagliamenti.

### 5.6 Sicurezza ( resistenza alle azioni meccaniche, resistenza al fuoco)

La normativa è volta a garantire misure di protezione e livelli di sicurezza complessiva al fine di evitare possibili rischi e/o eventi lesivi per l'individuo. Accorgimenti progettuali di carattere sia architettonico che tecnologico possono contribuire a garantire adeguati livelli di sicurezza dell'edificio; per far questo, occorre individuare gli elementi che potrebbero essere causa oggettiva degli infortuni all'interno di un edificio. Gli strati funzionalizzati possono intervenire nello sforzo di garantire sicurezza e resistenza alle unità tecnologiche coinvolte, soprattutto in riferimento alla resistenza alle azioni meccaniche e alla resistenza al fuoco, sia per supporti trasparenti che opachi.

Figura 5.70:

Laser cut film collocati nella parte alta dell'involucro.

I laser cut film funzionano come dispositivi di re-direzzamento della luce diretta

Figura 5.71:

esempio di come film prismatici e laser cut film si comportino quando vengono investiti da un raggio luminoso incidente



Figura 5.72



Figura 5.73

### 5.6.1 Film resistenti al fuoco

Vi sono sistemi resistenti al fuoco sia per le parti opache che trasparenti.

Per le parti in vetro, l'effetto di resistenza al fuoco si ottiene alternando lastre di vetro a strati di materiale apirico (di solito silicato di sodio, silicato di calcio, prodotti termoespandenti a base grafite). In caso d'incendio la lastra di vetro più esterna si rompe per effetto del calore facendo reagire lo strato successivo di silicato di sodio che va a formare una schiuma densa e compatta in grado di assorbire calore e formare un vero e proprio scudo termico nei confronti della fiamma. Incrementando il numero di strati di vetro e silicato si riescono ad ottenere tempi di resistenza al fuoco sempre più elevati. I vetri stratificati si opacizzano se esposti ai raggi del sole o in presenza di temperature superiori ai 45°C.

Per le parti opache, esistono vari tipi di trattamento ignifugo.

Per il legno e l'acciaio, è ormai consolidato l'impiego di vernici intumescenti, a base di polimeri vinilici in dispersione acquosa e specifiche sostanze reattive in grado di generare una schiuma avente proprietà isolanti, o di resina sintetica impermeabile, che agiscono a circa 130°C, con formazione di schiumogeno che protegge dal fuoco le strutture in legno e acciaio. Posti all'interno di fabbricati civili e industriali, ove non sia richiesto di mantenere a vista l'effetto estetico del materiale di base, non sono idonei al trattamento di parti sollecitate meccanicamente: ad esempio porte, finestre, pavimenti o altre parti di soggette ad abrasione e calpestio.

### 5.6.2 Film anti-sfondamento

Si trovano in commercio pellicole che garantiscono la sicurezza delle superfici in vetro in caso di sfondamento; la pellicola naturalmente non impedisce la rottura del vetro, ma ne trattiene saldamente i pezzi affinché non si propaghino pericolose schegge. Questa precauzione, divenuta obbligatoria per legge, viene tradizionalmente raggiunta inserendo tra le vetrate un film in materiale plastico (ad esempio il polivinilbutirrale, PVB) estremamente sottile e trasparente, applicabile a posteriori su una vetrata esistente relativamente economica. Esiste addirittura una pellicola anti-bomba, ovvero una pellicola microlaminata specifica per la protezione e la sicurezza delle strutture e persone nelle aree

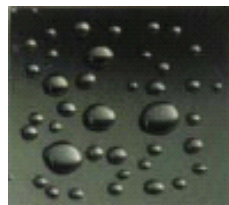
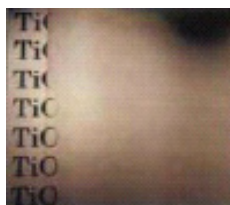


Figura 5.74

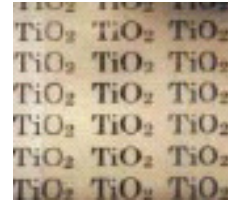
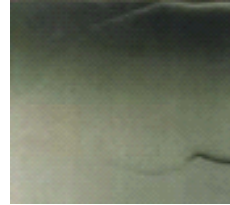


Figura 5.75

a rischio deflagrazione. Abbinando, con la tecnologia della micro laminazione, 39 strati di pellicole in poliestere in uno spessore estremamente ridotto, garantiscono una rilevante resistenza all'onda d'urto provocata dalla deflagrazione di ordigni esplosivi, fornendo uno scudo di protezione contro la dispersione dei frammenti di vetro.

## 5.7 Gestione: Manutenibilità (pulibilità)

A seguito del DPR 554/99, riguardante il piano di manutenzione, si stabilisce che l'aspetto della gestione e manutenzione dell'organismo edilizio dovrà essere progettata e legata all'interno del processo edilizio, tenendo conto anche delle scelte dei materiali, delle tecniche e soluzioni costruttive orientate alla esecuzione di operazioni manutentive agevoli, economiche e controllabili nel tempo. In particolare, per quanto riguarda i materiali di finitura esterni, esposti agli agenti atmosferici e a vari agenti chimici inquinanti, la normativa richiede requisiti quali la resistenza all'acqua, la resistenza agli agenti aggressivi chimici, la resistenza al gelo, la resistenza agli attacchi biologici. Sono stati di recente sviluppati una serie di sistemi che reagiscono in vari modi nella direzione di mantenere i materiali usati nel loro aspetto primigenio: respingendo le particelle di sporco (film drenanti), o addirittura reagendo chimicamente con le stesse, anticipando e facilitando l'azione di pulitura grazie alla possibilità di sfruttare l'energia solare attraverso l'impiego di materiali foto catalitici. Questo aspetto risponde anche alle esigenze estetiche di conservazione del colore delle superfici e alla riduzione dei costi di manutenzione (film autopulenti). Sfruttando, poi, le proprietà chimiche di alcune sostanze, si sono sviluppati trattamenti superficiali antibatterici o antiodore, impiegati soprattutto in interni.

### 5.7.1 Film autopulenti

Film sottili nanostrutturati che sfruttano la capacità di alcuni materiali di reagire allo sporco organico: una volta colpito dalle radiazioni ultraviolette della luce solare, il più importante e caratterizzato materiale con proprietà fotocatalitiche è il biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) che appartiene alla famiglia degli ossidi dei metalli di transizione. Lo studio delle sue proprietà fotocatalitiche ha avuto origine agli inizi degli anni '70 ed è tuttora di grande interesse per le sue applicazioni. È stato infatti dimostrato che l'uso di  $\text{TiO}_2$  irraggiato con luce ultravioletta (UV) non solo

Figura 5.74:

Film idrofobico: l'effetto di idrorepellenza trova origine nella microrugosità superficiale che, anziché favorire il contatto con l'acqua, lo impedisce (effetto loto). Durante il rotolamento, l'acqua raccoglie le particelle di sporco, permettendo l'autopulizia della superficie

Figura 5.75:

Grazie all'irraggiamento di UV la superficie del film di biossido di titanio, modifica le proprie caratteristiche di bagnabilità: l'acqua depositata sulla superficie trattata tende a formare un film sottile anziché una goccia. L'effetto autopulente della superficie di  $\text{TiO}_2$  è conseguente al fatto che lo sporco, aderendo meno alla superficie, è lavato via più facilmente da essa.



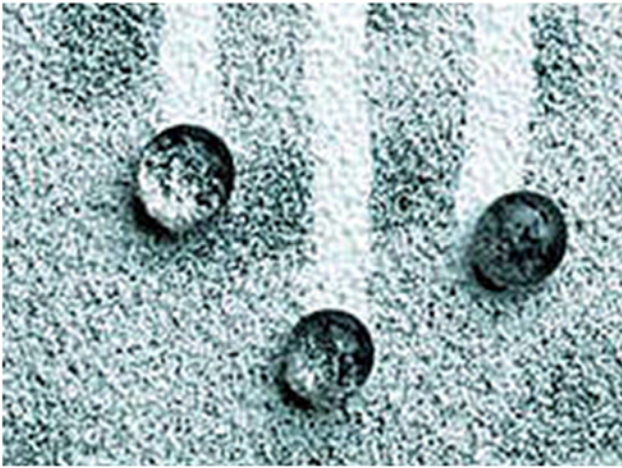


Figura 5.76



Figura 5.77

Figura 5.76, 5.77:  
 due esempi di superfici idrofobiche, autopulenti.  
 Nella prima foto si può vedere il rotolamento di gocce d'acqua che portano con sé depositi superficiali;  
 nella seconda, superfici autopulenti resistenti all'olio resistenti

permette la totale degradazione dei composti organici volatili ma anche l'abbattimento degli ossidi di azoto e di zolfo. infatti, questo materiale reagisce tramite un processo fotocatalitico, comportandosi da catalizzatore decomponendo e sciogliendo le impurità; il  $\text{TiO}_2$  viene impiegato in vernici, nei laminati plastici, nelle idropitture, e negli smalti. Un'altra interessante applicazione riguarda l'utilizzo di polvere di biossido di titanio come additivo per particolari cementi dove sfruttando la sua capacità fotocatalitica, funge da catalizzatore per inquinanti presenti nel mezzo a contatto. Le superfici autopulenti rappresentano un obiettivo di ricerca di crescente interesse per le loro molteplici applicazioni. Per il raggiungimento di tale obiettivo, la ricerca percorre al momento due strade diametralmente opposte basate rispettivamente sulla superidrofobicità e sulla superidrofilicità delle superfici. I due filoni hanno in comune l'obiettivo di cambiare, grazie a differenti tecniche a scala nanometrica, l'angolo di contatto tra la superficie e le gocce d'acqua che la colpiscono. inoltre, si comporta in modo idrofilo, rispetto all'acqua, distendendo uniformemente sulla sua superficie l'acqua meteorica che, scivolando via, contribuisce a eliminare le particelle di sporco disciolte.

#### - Film idrofobico

Si tratta di materiali impermeabili ed idrofobi in cui l'effetto di idrorepellenza trova origine nella microrugosità superficiale che, anziché favorire il contatto con l'acqua, o fluidi in genere, lo impediscono. Sono stati trovati, nel campo delle nanotecnologie, dei trattamenti superficiali da applicare sottoforma di film sottili, su materiali di diversa natura, che impediscono in buona misura all'acqua e agli inquinanti di aderire alla superficie, mantenendola così intatta per lungo tempo anche in ambienti fortemente umidi e inquinati. Questo sistema impiega film la cui composizione chimica porti ad un'alta idrofobicità (effetto loto), ovvero siano caratterizzati da un angolo di contatto dell'acqua compreso tra  $90^\circ$  e  $120^\circ$ . Questa metodologia è basata sullo studio e sull'imitazione della natura: il fiore di loto mostra infatti capacità autopulenti. Le gocce d'acqua scorrono via dalla superficie delle foglie senza aderirvi. Il principio di funzionamento è legato all'interazione repulsiva tra l'acqua e la superficie: su tali superfici l'angolo di contatto dell'acqua è superiore ai  $90^\circ$  e di conseguenza le gocce tendono a rotolare sulla superficie invece di scivolare. Durante il rotolamento, l'acqua raccoglie le particelle di sporco, permettendo l'autopulizia della superficie. L'effetto loto è già stato utilizzato in molti prodotti come le pitture per esterni, deposizione su metalli e laminati plastici, su cui l'acqua scivola via portando con sé lo



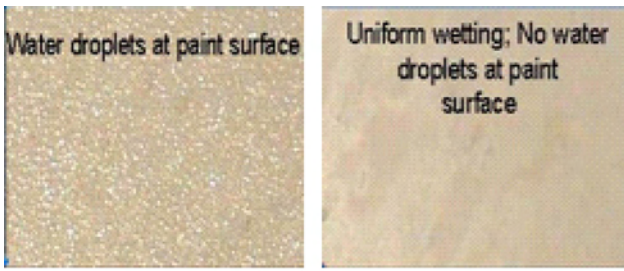


Figura 5.78



Figura 5.79

sporco.

- Film superidrofilico

Grazie all'irraggiamento di UV la superficie del film di biossido di titanio, già di per sé idrofilica, modifica le proprie caratteristiche di bagnabilità: il risultato è che l'acqua depositata sulla superficie trattata tende a formare un film sottile anziché una goccia. L'effetto autopulente della superficie di  $TiO_2$  è conseguente al fatto che lo sporco, aderendo meno alla superficie, è lavato via più facilmente da essa. Inoltre, poiché le gocce d'acqua si spandono facilmente, la superficie si asciuga molto velocemente e non si appanna mai (l'appannamento è un fenomeno caratteristico di superfici con angolo di contatto maggiore di  $20^\circ$ ). Per applicazioni di questo tipo, il biossido di titanio è impiegato sotto forma di film molto sottile depositato su un substrato vetroso. L'efficienza fotocatalitica del film è influenzata dallo spessore, dalla rugosità superficiale, dalla porosità, dalla cristallinità, dalla quantità di impurità e dalla concentrazione di ioni ossidrilici in superficie

### 5.7.3 Film antibatterici

Sono materiali nanostrutturati che sfruttano le proprietà battericide dei colloidali di argento: con processi sol-gel un sottile strato di un prodotto organico-inorganico viene applicato sulla superficie da trattare, riuscendo in tal modo a migliorarne l'aspetto e oltre a proprietà quali la solidità ai graffi e allo sporco o la stabilità chimica. Sono stati sviluppati strati di rivestimento per vetro, plastiche e metalli con proprietà anche idrorepellenti e ad alta resistenza. Il film antibatterico per vetri brevettato di AGC Flat Glass Europe consiste invece nella diffusione di ioni d'argento negli strati superiori del vetro: gli ioni vengono a contatto con i batteri, ne bloccano il metabolismo e ne interrompono il meccanismo di proliferazione, determinandone quindi la distruzione.

### 5.7.4 Film antiodore

Sfruttano lo stesso principio dell'ossido di titanio e dei film antibatterici che, in presenza di sporco organico (sia quello presente nell'aria che quello depositato sulla superficie), che produce cattivi odori, ne abbatta una quota-parte grazie al comportamento fotocatalitico. Esistono strati sia opachi che trasparenti dotati di questa proprietà, utilizzabili su un'ampia gamma di supporti. I più diffusi sono applicati a rivestimenti in ceramica per gli ambienti

Figura 5.78, 5.79: due esempi di superfici idrofiliche, autopulenti. Nella prima foto, l'applicazione su una superficie ceramica nella seconda, un vetro autopulente (questa proprietà previene anche fenomeni di appannamento del vetro)

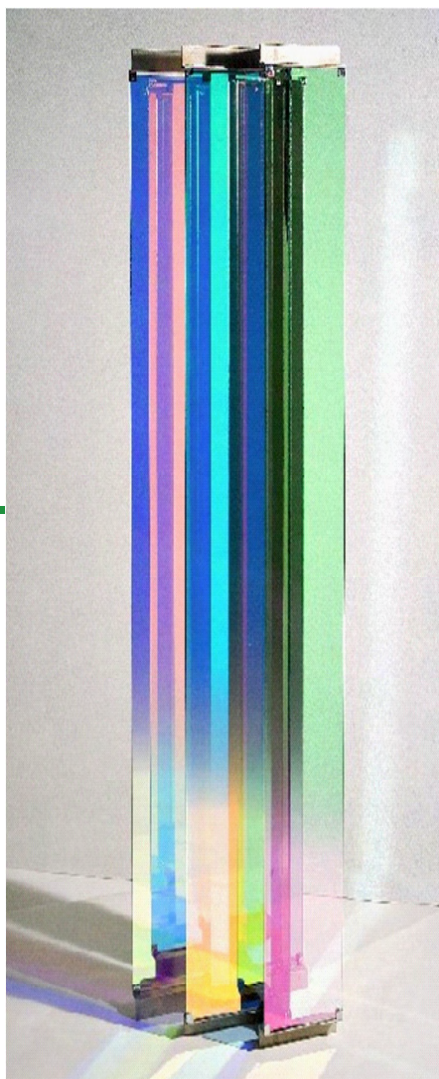


Figura 5.80

Figura 5.80:

film diecrico applicato laminato tra lastre di vetro

Figura 5.81:

Film diecrico applicato all'involucro dell'edificio La Defense (cfr. par.1.4.3)



Figura 5.81

più difficili (cucine, bagni ecc).

### 5.8 Aspetto (fruizione percettiva del sistema)

La normativa affronta i requisiti d'aspetto soprattutto per quanto riguarda la regolarità delle finiture, o il controllo della regolarità geometrica, lasciando necessariamente fuori le valenze estetiche dei rivestimenti esterni, poiché non è possibile descriverle o tantomeno suggerirle per via normativa, ma non per questo meno importanti nelle scelte dei materiali per l'involucro di Architettura. Tali scelte sono strettamente correlate ai materiali, ai formati utilizzati, ai metodi di fissaggio, alla continuità della superficie che può realizzare solo l'involucro di una struttura funzionale, o prestarsi ad un dialogo con l'interno presentandone e connotandone le funzioni, e creando tessiture dalle differenti configurazioni. Inoltre l'architettura tramite le proprie forme e la propria immagine esteriore che il rivestimento contribuisce a creare, si distingue e, allo stesso tempo, dialoga col contorno. I rivestimenti presentano quindi una notevole importanza, oltre che in ambito funzionale, anche e soprattutto in ambito estetico.

L'aspetto dell'immagine e della rappresentatività, soprattutto, si pone insieme a ragionevoli requisiti di natura funzionale, come primo criterio di scelta, in sede progettuale. Esso determina il tipo e la forma degli elementi, ma soprattutto il materiale costituente con le relative proprietà di trattamento estetico superficiale. La scelta del materiale e del tipo di posa in opera più adatto, è in ogni caso legato anche a bisogni di natura funzionale e quindi soggetto a cambiamenti secondo i casi. Ogni scelta è motivata da parametri che non sono slegati tra loro, ma si intrecciano, risolvendo ognuno problemi differenti ma comunque tutti ugualmente da risolvere. Esistono comunque priorità, dipendenti dalle destinazioni d'uso, dalle caratteristiche dell'edificio e del sito, che si sintetizzano in due elementi fondamentali: prestazioni funzionali, che dipendono dalle caratteristiche funzionali del rivestimento come la protezione da agenti esterni di natura atmosferica, chimica o meccanica; prestazioni di natura estetico-decorativa, che dipendono dal materiale costituente lo strato più esterno in vista ed i relativi trattamenti di rifinitura superficiale (rivestimenti passivi, come verniciatura plastificazione, o attivi, come l'ossidazione artificiale, per alcuni metalli; o adattivi, capaci di mutare colore o caratteristiche) aventi carattere non solo estetico, ponendosi infatti come ulteriore strato protettivo per il materiale stesso.





Figura 5.82



Figura 5.83

### 5.8.1 Film dicroici

Nati per la realizzazione di filtri speciali per strumenti di laboratorio o di misurazione, i film dicroici generano un effetto di interferenza che divide la luce in colori spettrali, in modo che, in base all'angolo di incidenza, un range di lunghezze d'onda sia trasmesso ed il resto venga riflesso, generando così colorazioni diverse nella trasmissione e nella riflessione. Un dispositivo di questo tipo permette dunque un totale controllo sui fattori di riflessione e di trasmissione rispetto a qualsiasi lunghezza d'onda, sia nel visibile che nell'UltraVioletto che nell'InfraRosso. Da 10 a 40 strati dicroici possono essere applicati a lastre di vetro di 1x1mq grazie ad un processo di deposizione sotto vuoto, mentre è ancora difficile e costoso ottenere dimensioni maggiori. Un prodotto impiegato di recente da UN studio è la pellicola "Radiant Color Film", prodotta dalla 3M, che combina più di 200 strati di poliestere e acrilico di vario spessore aventi diversi valori di riflessione della luce per ottenere un effetto di variazione cromatica che copre l'intero spettro del visibile da ogni angolazione possibile. L'effetto che deriva dalle proprietà dicroiche del materiale è quello di una facciata che, in base alle condizioni atmosferiche e alla posizione dell'osservatore, sembra mutare continuamente. La pellicola è disponibile in due tipi di film di colorazione diversa: il CM 500 e il CM 590. Questi presentano due differenti effetti di variazione cromatica: il primo sui toni del blu, del magenta e dell'oro, il secondo sui toni del ciano, del blu e del Magenta. Dai tre colori dominanti di ciascuno dei due prodotti si ottiene uno spettro cromatico molto ampio che dipende dall'angolo di incidenza della luce e dal punto di vista. Il film è un polimero sintetico, non contiene metallo e pertanto non è soggetta a ossidazione o corrosione e non presenta fenomeni conduttivi. Ha un coefficiente di dilatazione molto basso ed è stabile sino a una temperatura di 125° C. Inoltre, non richiede particolari accorgimenti per la lavorazione e per il taglio, all'occorrenza può essere anche stampata e resa adesiva. Il principale limite di questo prodotto è rappresentato dalla sua durabilità a un'esposizione continua e persistente ai raggi UV ragione per la quale può essere consigliabile il suo impiego con vetri schermanti o parzialmente schermanti. Bisogna, inoltre, sottolineare che questo prodotto non era stato originariamente concepito per essere utilizzato nella realizzazione di facciate, ma con tutt'altro scopo. Esso era stato, infatti, inizialmente ideato per rivestire il contenitore di una nota marca di profumi e l'effetto cangiante della pellicola avrebbe dovuto essere legato alla campagna promozionale della nuova

Figura 5.82:  
La pellicola dicroica Radiant Color di 3M

Figura 5.83:  
Film selettivo angolare. Si tratta di un film polimerico che lascia passare la radiazione luminosa incidente solo da un angolo preciso, oltre il quale è traslucido



Figura 5.84



Figura 5.85

Figura 5.84, 5.85:

Pigmenti cangianti.

Ispirati dalla natura, sono stati riprodotti chimicamente e sono disponibili sia come vernici che come pellicole.

linea. Il progetto non ottenne il seguito sperato e la pellicola ebbe una diffusione limitata.

### 5.8.2 Film a selettività angolare (ottico- selettivi)

Sono costituiti da film polimerici che lasciano passare la radiazione luminosa incidente solo da un angolo preciso, oltre il quale sono traslucidi. Questa proprietà è dovuta alla loro struttura, composta da una struttura microscopica a lamelle, realizzata mediante processi di foto polimerizzazione con raggi ultravioletti. Questo tipo di dispositivo è in grado di modificare la possibilità di visione, ma consente una totale trasmissione dell'energia solare. Può essere abbinato a pellicole anti UV e di sicurezza, e spesso utilizzata accoppiata a vetro o metacrilati per finestre o vetrine. Si trovano in commercio alcune versioni: biangolo (caratterizzate, cioè, da una doppia visione frontale e laterale), o monoangolo (che offre una chiara visione frontale con schermatura da un solo lato). In particolare quando ci si trova frontalmente, rispetto alla prima pellicola biangolo, o alla superficie sulla quale è stata applicata, possiamo vedere attraverso come se non ci fosse, ma se ci si sposta lateralmente l'effetto sfocatura crea uno schermo totale. Viceversa la seconda offre una chiara visione laterale e una schermatura frontale.

### 5.8.3 Film cangianti

Sono basati sull'impiego di pigmenti multistrato con proprietà cangianti: se osservati da differenti angolazioni producono un effetto caleidoscopico. Ispirati dalla natura, tali pigmenti sono stati prodotti chimicamente ed hanno dato risultati eccezionali nelle resine chiare e brillanti, se usati soli o in miscela con altri pigmenti per produrre un'ampia gamma di tonalità. Hanno un'elevata durabilità e sono disponibili sia dispersi in pellicole adesive o di fogli in materiale plastico, che come vernici, o disciolti in resine. I film cangianti possono essere applicati ad un grandissimo numero di materiali di supporto.

### 5.8.4 Film luminescenti

La luminescenza è definita come *l'emissione luminosa in un materiale conseguente all'assorbimento di energia*

Inoltre si può poi distinguere



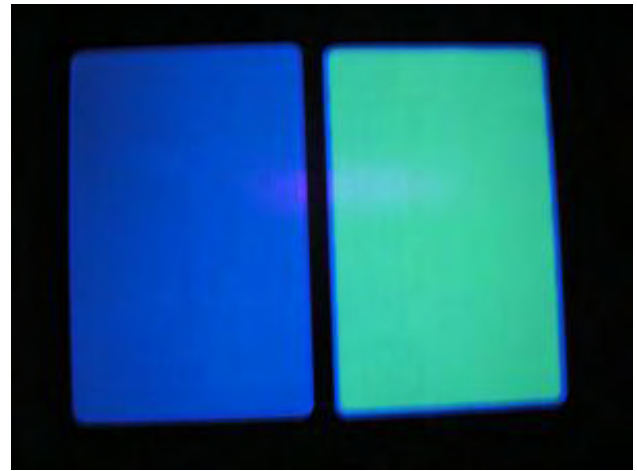
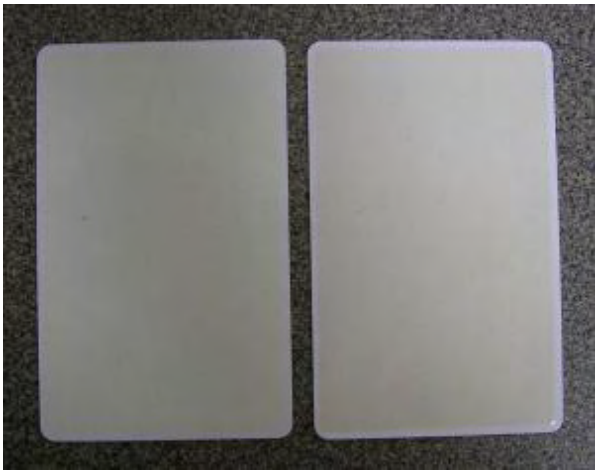


Figura 5.86

- Fotoluminescenza quando l'energia è assorbita come radiazione visibile o ultravioletta, e ciò può avvenire mediante fenomeni di fluorescenza o fosforescenza (a seconda della distanza di tempo tra l'eccitazione e l'emissione)

- Elettroluminescenza quando l'energia di input è elettrica

I film elettroluminescenti sono in grado di illuminarsi al passaggio

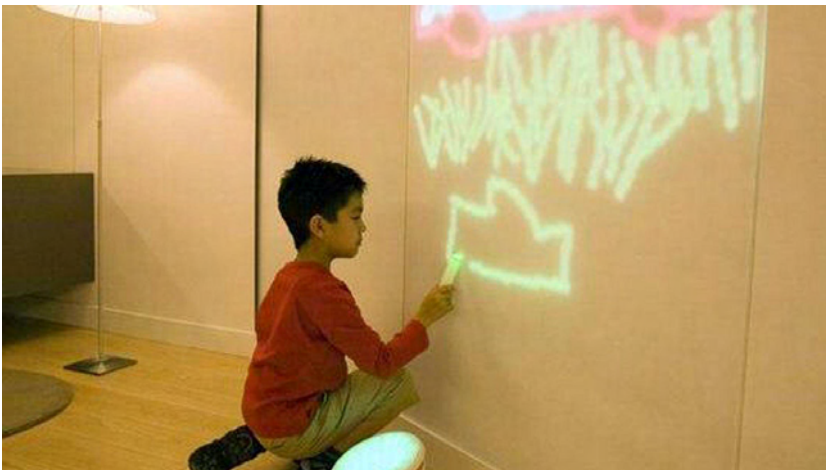


Figura 5.87

Figura 5.86:  
film luminescenti nello stato non attivato (sinistra) e attivato (destra)

Figura 5.87, 5.88:  
Vernice luminescente

Figura 5.89.  
Carta da parati elettroluminescente



Figura 5.88



Figura 5.89



Figura 5.90

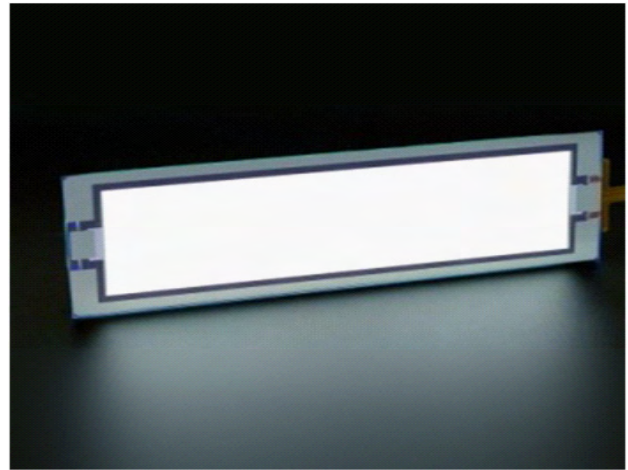


Figura 5.91



Figura 5.92

Figura 5.90, 5.92: film OLED prodotti da DUPONT. Essendo laminati tra film conduttivi, gli OLED non hanno bisogno di circuiti tradizionali per essere attivati. E' possibile quindi realizzare pattern di ogni tipo.

Figura 5.91: lampada realizzata con un film OLED

di una debole corrente elettrica, senza generare calore. Flessibili, possono prendere forme anche complesse e non solo planari.

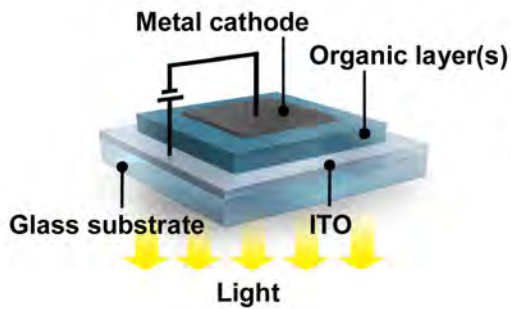
Un film elettroluminescente è composto da diversi strati: all'esterno e all'interno sono posti degli elettrodi che interagiscono con uno strato intermedio dotato di un pigmento elettroluminescente, il tutto avvolto da una protezione di pellicola plastica trasparente. L'applicazione avviene mediante l'integrazione del film luminoso direttamente nella pellicola. Quando una debole corrente elettrica viene applicata al sistema, le celle emettono luce.

Queste tecnologie sono state introdotte per applicazioni nei trasporti, poiché può essere integrata in elementi sottili, facili da conformare e che consumano poca energia. Inoltre, la luce non scalda e non abbaglia il conducente e i passeggeri presenti all'interno del veicolo. Vi sono applicazioni in commercio per supporti in vetro, e recentemente Exatec, joint venture tra Bayer e GE nel settore del glazing, ha presentato al congresso internazionale "Plastics in Automotive Engineering" (Mannheim, 29-30 marzo 2006) un'interessante applicazione delle nuove lastre in policarbonato Exatec 900el per impiego in interni auto.

### 5.8.5 Film Oled

Derivati dai LED (Light-Emitting Diodes) Gli OLED sono dispositivi allo stato solido composti da film sottili di molecole organiche che, attivate elettricamente, emettono luce. Un OLED è un dispositivo semiconduttore allo stato solido, dello spessore tra i 100 e i 500 nanometri, e cioè circa 200 volte più piccolo di un capello umano. Gli OLED possono essere composti da due o tre strati di materiale organico; negli ultimi prototipi sviluppati, il terzo strato aiuta a trasportare gli elettroni dallo strato che funge da catodo allo strato emissivo. In generale, un OLED si presenta come un film a più strati composto da:

- Sostrato (plastica trasparente, vetro, pellicole) – Il sostrato ha funzione di supporto dell' OLED.
- Anodo (trasparente) – L'Anodo rimuove gli elettroni quando una corrente attraversa il dispositivo
- Film Organici: Questi film sono realizzati da molecole organiche polimeriche.
- Film conduttivo: Questo strato è costituito da molecole di plastica organica in contatto con l'anodo. Uno dei polimeri conduttivi più



**Roll-to-roll manufacturing**

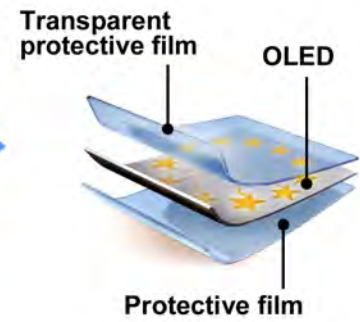


Figura 5.93

usati è il polianiline

- **Film Emissivo:** Questo strato è costituito da uno strato polimerico organico (di materiale differente rispetto al film conduttivo), che trasporta gli elettroni dal catodo. In questo strato si produce la luce. Uno dei polimeri più usati per lo strato emissivo è il polifluorene
- **Catodo** può essere trasparente o meno, a seconda del tipo di OLED; il catodo inietta elettroni quando una corrente elettrica attraversa il dispositivo.

Processo produttivo:

L'aspetto produttivo più importante consiste nell'applicare i film organici al sostrato. Ciò può avvenire sostanzialmente in tre modi:

-Deposizione sotto vuoto, o Evaporazione Termica sottovuoto (VTE): in una camera evacuata, le molecole organiche vengono riscaldate (evaporate), realizzando un sottile film di condensa sullo strato, più freddo, del sostrato. Questo processo è però costoso e poco efficiente

-Deposizione organica in fase di evaporazione (OVPD) in una camera a bassa pressione un gas trasporta le molecole organiche evaporate sui sostrati precedentemente raffreddati, dove condensano come film. L'uso del gas migliora l'efficienza e riduce i costi del metodo precedente

-Stampa a getto d'inchiostro: gli OLED vengono spruzzati sui sostrati proprio come l'inchiostro viene normalmente spruzzato sulla carta durante un normale processo di stampa. Il metodo a stampa riduce veramente di molto i costi di produzione degli OLED e permette l'applicazione su film piuttosto estesi, come schermi da 80 pollici o lavagne elettroniche.

Grazie alla loro alta versatilità, le sorgenti di luce allo stato solido hanno un interessante potenziale per sistemi di illuminazione sia in ambito civile che in applicazioni di design. A ciò si aggiunge il fatto che, data l'elevata efficienza luminosa, tali dispositivi sono caratterizzati da un basso consumo energetico. Gli OLED, inoltre, a differenza delle tradizionali sorgenti di luce, non contengono mercurio e piombo e quindi possono essere facilmente smaltite.

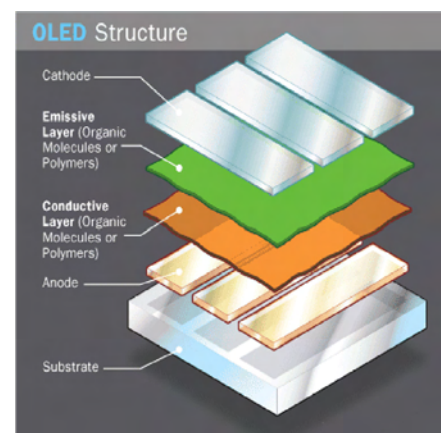


Figura 5.94

Figura 5.93, 5.94:  
processo di realizzazione e composizione in strati di un film OLED

Figura 5.95:  
un esempio di scritta OLED (ottenuta ritagliando il film OLED secondo la forma desiderata)



Figura 5.95





Figura 5.96: film OLED flessibile

Note:

<sup>60</sup>MANZINI Ezio (1986) op.cit., pag.57

<sup>61</sup>HERZOG Thomas, KRIPPNER Roland, LANG Werner, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET, 2005

<sup>62</sup>Si definisce capacità termica la capacità di un sistema omogeneo di trattenere il calore all'interno delle proprie molecole senza trasmetterlo immediatamente all'ambiente circostante. Questa proprietà è direttamente proporzionale alla massa per area unitaria(kg/m<sup>3</sup>) ed alla capacità termica specifica(J/kg°C)

<sup>63</sup>IMPERADORI Marco, "Alla ricerca dell'inerzia artificiale", in AA VV, *Abitare il futuro*, Innovazione Tecnologia Architettura, Milano, BE-MA editrice, 2003, p. 200

<sup>64</sup>AA.VV., "Trends in photovoltaic applications", Report IEA, pubblicazione nel Task7 dell'International Energy Agency, August 2007 <http://www.iea-pvps.org>

<sup>65</sup> [www.cencerbo.it](http://www.cencerbo.it)

<sup>66</sup>IANNACCONE Giuliana, "SmartWrap", in *Modulo*, 296, 2003, pp. 1018-1019

<sup>67</sup>HARTWIG Helge, HERZOG Thomas, "Performance of Thermotropic Layers for the Regulation of Daylight and Direct Solar Gain", in *Proceedings of the eurosun 2000 Conference*, Bologna, 2004

<sup>68</sup>HERZOG Thomas, KRIPPNER Roland, LANG Werner, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET, 2005 pp. 320

<sup>69</sup>SALA Marco (a cura di), *Schermature Solari*, Firenze, Alinea, 2007, pp.348

<sup>70</sup>SCHITTICH Christian, STAIB, *Atlante del vetro*, Torino, UTET, 2007, p.334

<sup>71</sup>ALTOMONTE Sergio, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Firenze, Alinea, 2004, pp. 386

<sup>72</sup>LANGELLA Carla, *Nuovi Paesaggi materici*, Firenze, Alinea Editrice, 2003, p.207

<sup>73</sup>LEE E.S., SELKOWITZ S.E., ASCHELOUG O., "Perspectives on Advanced Facades with Dynamic Glazings and Integrated





Figura 5.97: un altro esempio di foglio flessibile OLED

Lighting Controls”, in *Proceedings of the CISBAT 2003 Conference*, Losanna, Svizzera, 2003

<sup>74</sup>PLATZER W.J., “Switchable Facade Technology- Final Public Project Report”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, 2003. Disponibile in [www.eu-swift.de](http://www.eu-swift.de)

<sup>75</sup>WILSON H.R., “Chromogenic glazing: Performance and Durability Issues”, IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 27, Solar Facade Components. Workshop, 1st October 2002, Ottawa, Canada. Disponibile in [www.eu-swift.de](http://www.eu-swift.de)

<sup>76</sup>WIGGINTON M., *Glass in Architecture*, Phaidon Press, London, 1996, p.320

<sup>77</sup>AA.VV., “Daylight in Buildings. A source book on daylighting systems and components”, Report dell’ IEA SHC Task 21/ ECBCS, 29, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, U.S., Luglio 2000.

<sup>78</sup>PAPAMICHAEL K. EHRLICH C., WARD G., “Design and Evaluation of Daylight applications of holographic Glazings”, Final Report, Physical Optics Corporation, LBNL, Berkeley, u.S., 1996, in [www.gaia.lbl.gov](http://www.gaia.lbl.gov)

<sup>79</sup>BAKER Nick, “High performance daylighting- light and shade”, in *Revival, Technical Monograph* n.4, EU project, in [www.revival-eu.net](http://www.revival-eu.net)

<sup>80</sup>AA.VV. op. cit, 2000.

Figura 6.1: schema dell'organizzazione dei dati in un database

Produttore: Linguaggio  
Tecnico

Progettista: Linguaggio  
esigenziale-prestazionale

SCHEDA PRODOTTI

DATABASE PRODOTTI

- SPECIFICHE TECNICHE
- SPECIFICHE TECNICHE
- SPECIFICHE TECNICHE
- SPECIFICHE TECNICHE

Dati Tecnici	
Trasmissione (V 20°C/N)	0,48
Coefficiente di omogeneità	1,90
Trasmissione di raggi UV	0,50
Dimensioni (cm)	85-120 x 3,50



## VI. Metodologia III fase: Costruzione di un sistema di dati

### 6.0 Abstract

A questa fase corrisponde una classificazione dei prodotti raccolti secondo un principio di classificazione che corrisponda ai diversi aspetti, o approcci, con cui si considera il prodotto. Si pone dunque il problema di individuare una serie di chiavi di ricerca per esplorare materiali e prodotti relativi agli strati funzionalizzati, che siano propri del procedere dell'architetto. Considerando che un importante frame di riferimento per gli architetti è costituito dal sistema esigenziale-prestazionale espresso dalle normative UNI, si organizzeranno gli strati funzionalizzati secondo i principali requisiti espressi dalle norme UNI, e si strutturerà un insieme di dati ritenuti utili, in modo da costruire un sistema di dati. Dopo aver definito queste grandi famiglie, i prodotti verranno dunque organizzati in schede che ricompongono dati di diverse qualità. Rispetto ad una classificazione di tipo tassonomico, basato su una struttura di conoscenze statica, si pone poi il problema di utilizzare una struttura classificatoria dinamica, che tenga aperte le relazioni tra le voci della classificazione, e permetta letture trasversali dei dati raccolti. Per far questo, occorre che la classificazione diventi metodo operativo, ovvero che introduca l'aspetto relazionale dei dati, e che si avvalga di strumenti operativi adeguati, quali i database.

### 6.1 L'organizzazione delle informazioni rispetto al modello adeguato

Il metodo di raccolta dei dati rappresenta già di per sé una prima rappresentazione intenzionale della realtà, e così dev'essere perché i dati raccolti acquisiscano un senso. Data la disomogeneità dei dati disponibili, è stato necessario porsi il problema del modello di selezione dei dati, e della scelta di quelli che si ritiene utili.

Gli autori che probabilmente pongono il problema della selezione del materiale e della lavorazione di trasformazione nell'ottica più vicina al progettista sono Ezio Manzini, con *La materia dell'invenzione*, e Mike Ashby con *Materials and design*.

*«A ben vedere, per Manzini, esiste già la possibilità di progettare il materiale su misura che dovrà rispondere alle caratteristiche richieste, spostando l'attenzione dal materiale alle qualità che dovrà avere. Lo spostamento muove l'attenzione del progettista dai vincoli tecnici legati alle prestazioni e alle possibilità di trasformazione dei materiali, verso*

*vincoli di tipo comunicativo e sensoriale.*<sup>81</sup> In sintesi, l'operare tecnico, per soluzioni, lascia il posto all'operare per problemi, preoccupandosi di definire una loro corretta formulazione all'interno del sistema che li racchiude, in relazione alle finalità che si perseguono.

Anche lo studio condotto negli anni da Ashby va nella direzione di colmare una lacuna informativa nel campo della comunicazione dei materiali, spostando l'attenzione sui criteri di scelta propri di designer e progettisti. Ponendo il problema in termini più ampi, il materiale e la sua trasformazione hanno come obiettivi coincidenti la soddisfazione di requisiti sia tecnici che sensoriali e semantici.

Nella disciplina della Tecnologia dell'Architettura, d'altronde, sono stati da tempo disposti ed organizzati una serie di problemi che il progetto deve affrontare in tutte le fasi del suo ciclo di vita, in un corpus conosciuto come Teoria esigenziale-prestazionale. Questa operazione è stata tanto importante da costituire l'ossatura della struttura normativa in materia, ed è propria dell'operare dell'architetto, chiamato a lavorare a contatto con diversi specialisti, e a coordinarne l'apporto al progetto. In questo studio si partirà dal presupposto che l'approccio esigenziale-prestazionale costituisce la lingua più propria all'architetto, per porre domande utili al progetto: costituisce insieme il quadro di riferimento e la lettura con cui affrontare le scelte.

Tra i molti approcci possibili alla selezione dei dati utili, si è preso a riferimento lo studio condotto da Michael Ashby a Cambridge, che, oltre all'approccio teorico, ha portato alla costituzione di una delle banche dati più completa e, a mio avviso, stimolanti per la conoscenza, valutazione e scelta di un materiale<sup>82</sup>. certo, l'ossatura del sistema mostra un'impostazione volta soprattutto all'uso da parte di ingegneri, ma il sistema è aperto, e va arricchendosi di anno in anno di aggiunte ed ampliamenti in settori vicini anche al design e all'architettura.

#### **6.1.1** Principali modelli esistenti selezione dei dati.

*“Il processo di classificazione non è semplice (...), pp. VII-336 L'approccio migliore è classificare secondo gli scopi per cui tale processo verrà usato, nonostante le ambiguità siano inevitabili”<sup>83</sup>.*

Le logiche che sottendono i sistemi classificatori sono sostanzialmente legate al pensiero tecnico e culturale in cui questi vengono organizzati. Oggi il quadro dei riferimenti culturali offre meno certezze, vi sono forti spinte multidisciplinari in qualunque settore, ed anche i rapporti con la tecnica tendono a modificarsi.



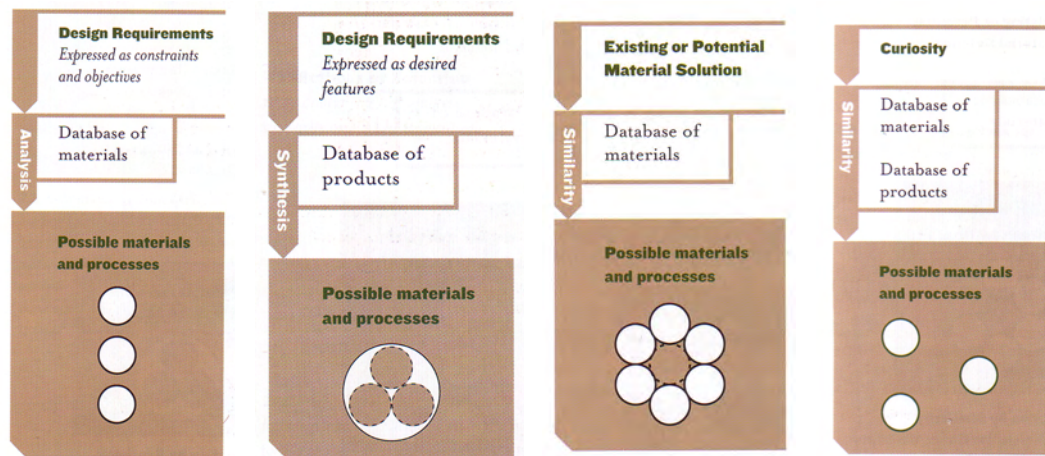


Figura 6.2: principali modelli di selezione dei dati

Per quanto riguarda i materiali, e i molti approcci possibili, si riesce tuttavia ad individuare quattro tipi tradizionali di modelli di selezione principali (figura 6.2), legati alla formazione e ai riferimenti tecnici e culturali delle diverse figure coinvolte:

- selezione attraverso l'analisi:

metodo scientifico, che parte dalla traduzione di bisogni in requisiti in e poi, attraverso l'individuazione di modelli basati su parametri, consenta un'analisi quantitativa, grazie alla quale è possibile identificare la prestazione del materiale rispetto ai requisiti iniziali. Questo approccio può portare a soluzioni radicalmente nuove, ma presuppone un set di informazioni complete sul materiale in esame.

- selezione attraverso la sintesi:

metodo empirico, basato su precedenti esperienze ed analogie, attraverso il quale i bisogni sono tradotti in un set di caratteristiche che descrivono intenzioni, estetica e caratteristiche percettive; l'individuazione del materiale richiesto avviene qui per comparazione con casi in cui uno o più di questi aspetti viene soddisfatto, permettendo soluzioni potenzialmente nuove, spesso derivate da altri settori, da testare poi per il caso specifico.

- selezione per similarità:

approccio basato innanzitutto su una descrizione del materiale che comprenda prestazioni primarie e secondarie, anche apparentemente poco rilevanti, ma che potrebbero rivelarsi strategiche in altri impieghi. Attraverso l'analisi di queste prestazioni secondarie il campo dei materiali –possibili sostituti si amplia, ed è proprio tra questi che si può trovare il materiale desiderato. Questo approccio è basato su un "innovazione adattiva", in cui prestazioni secondarie per alcuni impieghi diventano primarie per altri.

- selezione per ispirazione:

perché provoca un pensiero creativo. Questo approccio è per forza di cose poco strutturato, può essere innescato dall'interazione con il materiale stesso o attraverso immagini dello stesso, e procede, come per la sintesi, sulla base di esperienze precedenti o analogie.

A questi pare doveroso aggiungere gli studi condotti Mike Ashby, professore del Cambridge Engineering Design Centre, che da anni studia in modo sistematico le proprietà e i metodi di selezione dei materiali; gli studi di Ashby, condotti con l'impiego di mappe multi criterio, hanno portato allo sviluppo di un efficace software

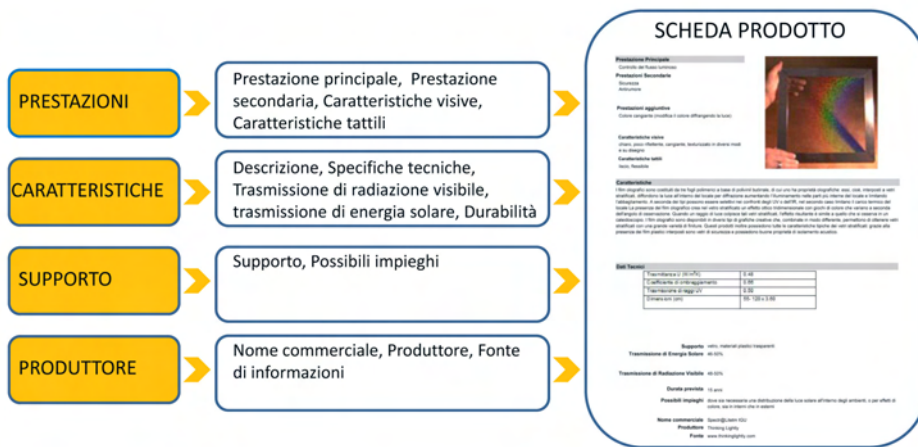


Figura 6.3: famiglie di dati ritenuti utili ed organizzazione in schede

per la selezione dei materiali.

Poiché ognuno degli approcci tradizionali sopra citati genera possibilità interessanti, per la selezione dei materiali e per un eventuale impiego degli stessi in ambiti non-convenzionali, Ashby propone un modello di classificazione che li comprenda tutti e quattro, e che quindi descriva lo stesso materiale partendo da approcci anche radicalmente diversi.

### 6.1.2 Modello proposto di selezione dati.

Il modello che si propone in questa ricerca vuole mutuare il carattere “aperto” della classificazione proposta da Ashby, rispetto ai materiali in spessore filmico per l’architettura.

“Dai fatti ai dati attraverso la comprensione, dai dati alle soluzioni possibili attraverso la modellizzazione; dalle soluzioni possibili a quelle analizzate attraverso la valutazione; dalle soluzioni valutate alla organizzazione attraverso l’implementazione dell’intero sistema (input e output)”

Dato che la quantità di informazioni ha oggi superato la soglia di carico cognitivo ammissibile, diventa più che mai necessario stabilire relazioni tra le informazioni, strutturarle in un sistema interconnesso che ci consenta di trattenere le più importanti e ripescare le utili quando occorrono. L’informazione da sola ha un valore relativo: è la capacità di stabilire relazioni che crea conoscenza.

La classificazione ha un ruolo particolarmente importante nella progettazione, che è un processo complesso e funziona per criteri paralleli

Il modello di scheda utilizzato per la classificazione è sviluppato secondo alcune parole-chiave che derivano direttamente dal sistema “a faccette” di Ashby citato nel paragrafo precedente, e ai relativi metodi di selezione (analisi, sintesi, similarità, ispirazione). I dati raccolti appartengono dunque a tre macro-insiemi:

- Dati di tipo prestazionale: le prime tre voci (prestazione principale, prestazioni secondarie, prestazioni aggiuntive) indicano la prestazione principale ed una o più prestazioni secondarie; è dunque possibile arrivare ad un materiale attraverso le prestazioni che è in grado di offrire. Per le considerazioni fatte in par.5.3, inoltre, si vuole qui indicare anche l’eventualità di prestazioni aggiuntive di adattività, o carattere dinamico degli strati funzionalizzati.

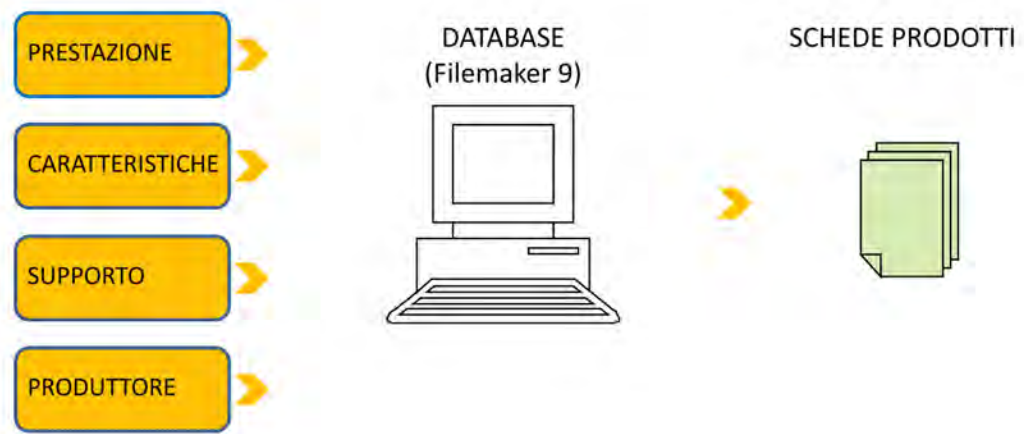


Figura 6.4: alle famiglie di dati indicate, corrispondono le chiavi di accesso al database

- **Caratteristiche:** questa voce raccoglie una descrizione del comportamento globale del prodotto, indicandone il funzionamento, le condizioni di impiego, i limiti di applicabilità.
- **Dati tecnici, di tipo chimico-fisico:** sono qui indicati dati importanti ai fini della impiego d'uso di un prodotto: i valori di trasmittanza, di durezza, resistenza, remissività e così via. Questo tipo di dati è necessariamente disomogeneo data la diversità e quantità di strati funzionalizzati considerati. Questo tipo di dati è anche il più complesso da ottenere: si intende schedare i dati divulgati dal produttore, avendo avuto cura di verificare che fossero stati condotti test appropriati. Rientrano tra i dati tecnici anche due caratteristiche che assumeranno particolare importanza nella seconda parte della ricerca, e che valgono nel caso di supporti trasparenti:
  - **Trasmissione di energia solare (te):** fattore che indica la componente di trasmissione di energia solare trasmessa attraverso lo strato funzionalizzato
  - **Trasmissione di radiazione visibile (tv o tvl o a volte indicato con la lettera greca tau)** fornisce la percentuale di radiazione trasmessa

Altro dato importante per la selezione è il

- **Supporto,** che indica i materiali cui si possono applicare gli strati funzionalizzati indicati, o le compatibilità nel caso di componenti.
- **Durata prevista:** indica la durata in cui il produttore garantisce la permanenza delle caratteristiche chimico-fisiche iniziali (o che rientrano in un decadimento annunciato, come nel caso dei film fotovoltaici)
- **Dati di tipo produttivo- commerciale:** indicando nome commerciale, produttore e fonte di informazioni principale.

## 6.2 Obiettivi della schedatura

*“Il mondo si divide in fatti... noi facciamo delle raffigurazioni dei fatti... la raffigurazione è un modello della realtà, ciò che la raffigurazione deve avere in comune con la realtà per poterla raffigurare, esattamente o falsamente”<sup>84</sup>*

Nel processo di raccolta di dati, dunque, il fatto concreto diventa dato, perché selezionato fra i tanti possibili. Il dato poi diventa informazione se, e solo se, all'interno di un determinato contesto, esso assume importanza per chi lo osserva: *“Ciò che distingue un*

*dato da un'informazione è il significato rilevante che l'osservatore gli attribuisce. Dunque è definibile informazione un dato, riferito ad un contesto, nel quale questo dato si inserisce e assume un valore. Questo valore nasce solo in un sistema finalizzato, in grado di individuare a priori sia gli obiettivi che i fruitori dell'informazione*<sup>785</sup>. L'obiettivo principale della schedatura è appunto quello di selezionare tra i molti aspetti di potenziale interesse (fra i molti dati), quelli che potrebbero essere utili ad un architetto, prima nella fase di selezione, poi in quella di comparazione di alcune caratteristiche mirate ad eventuali impieghi, ed infine nella fase di approfondimento (diventando così informazioni). Non sfugge il carattere esplicitamente intenzionale di tutta l'operazione, tesa a raccogliere dati utili per costruire un sistema finalizzato, e tuttavia, in questi passaggi è importante che non si perdano informazioni, rischio che invece si corre spesso impiegando uno strumento informativo rigido, in cui bisogna immettere una chiave di ricerca estremamente precisa per giungere al risultato desiderato. Per questo motivo, si è innanzitutto proposto un tipo di scheda multicriterio, che contiene, cioè, dati di diverse qualità, e soprattutto, poi, l'organizzazione delle schede corrispondenti ai prodotti si è ottenuta utilizzando un database, che permette l'accesso ai dati secondo diverse modalità possibili.

### 6.3 Strumenti per la schedatura

La ricerca del materiale su cui sviluppare le schede è avvenuta frequentando fiere, attraverso riviste e libri, contattando direttamente i produttori, e dal web. Naturalmente, i dati raccolti presentavano forti disomogeneità di approfondimento e di qualità; in parte dovuto, come si accennava nel par. 5.1, al fatto che evidentemente molti produttori non considerano la rete come uno strumento adeguato per la divulgazione delle specifiche tecniche dei loro prodotti, in parte dovuti al fatto che sembrano lontani dal settore delle costruzioni quanti si occupano di film, distanza che si percepisce bene dal tipo di informazioni divulgate, spesso poco chiare, soprattutto nel caso di piccole aziende o rivenditori, o invece, all'eccesso opposto, eccessivamente incentrate su aspetti chimico-fisici di non immediata comprensione.

Si è comunque compiuto lo sforzo di creare schede quanto possibile omogenee, e di offrire una panoramica volutamente ampia del settore. Lo sforzo, costante, è stato mirato all'individuazione di prodotti realmente reperibili ed impiegabili, scartando i pur molti studi in corso per l'implementazione di molti strati funzionalizzati. Definito, dunque, un campo di interesse nei film e



strati funzionalizzati che ricadono nelle classi UNI di cui al cap.5, si è poi individuato uno strumento operativo che consentisse una consultazione flessibile, e accessibile secondo diversi approcci.

Per organizzare i dati si è quindi scelto di utilizzare un database (Filemaker Pro9) che consente di ordinare le schede secondo ciascuna delle parole chiave sopra citate (par.6.1.2), e poi di valutare le relazioni tra le varie schede esaminando e comparando le stesse. Tale procedimento è utile per un Architetto poiché consente diversi possibili approcci, ed è probabile che ogni ricerca porti qualcosa di più di quello che ci si aspettava.

#### **6.4 Le schede**

Le schede dei prodotti di interesse sono dunque organizzate componendo i dati relativi alle prestazioni: principali (classe prestazionale di appartenenza), secondarie (ulteriori prestazioni UNI), aggiuntive (eventuali proprietà adattive), da dati relativi all'aspetto percettivo: caratteristiche visive e tattili, una descrizione che contenga specifiche e comportamento del prodotto, poi una tabella di dati tecnici, di tipo chimico-fisico.

Viene poi indicato il materiale (o i materiali) di supporto, e due dati specifici relativi all'aspetto di controllo del flusso solare: caratteristiche su cui si concentrerà la seconda parte della ricerca, quali il coefficiente di trasmissione dell'energia solare ed il coefficiente di trasmissione della radiazione luminosa visibile. Si indica poi la durata prevista, ed alcuni possibili impieghi. Infine, si indicano alcuni riferimenti legati al mercato: il nome commerciale, il produttore e la fonte di informazioni. Le schede dei prodotti sono in Appendice1.

#### **6.5 Il database**

Un database è una raccolta di informazioni, o dati, che è possibile organizzare, aggiornare, ordinare, stampare e ricercare in vari modi. Un database FileMaker Pro è un file o un gruppo di file costituito da record e campi che memorizzano e visualizzano i dati. Ciascun file del database di FileMaker Pro contiene informazioni sugli elementi della struttura del file, come i campi e le relative definizioni. Per immettere dati in un file di database è necessario creare un record e immettere i dati nei campi appartenenti a tale record. Dopo aver creato record in un file, è possibile utilizzarli in diversi modi: modificarli, ordinarli, trovare un gruppo di record

Figura 6.5

**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie**Sicurezza  
Antirumore**Prestazioni aggiuntive**

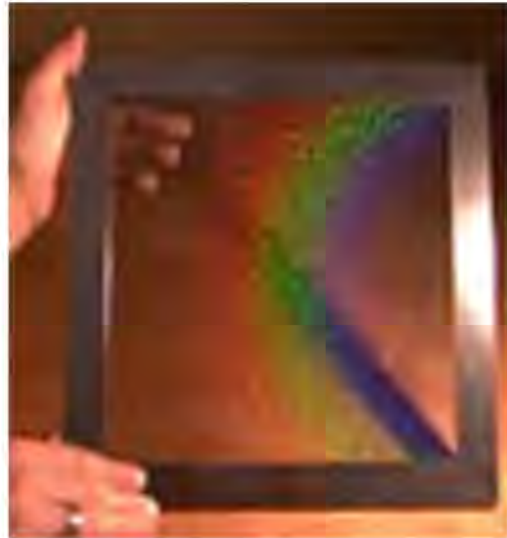
Colore cangiante (modifica il colore diffrangendo la luce)

**Caratteristiche visive**

chiaro, poco riflettente, cangiante, texturizzato in diversi modi e su disegno

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

I film olografici sono costituiti da tre fogli polimerici a base di polivinil butirrale, di cui uno ha proprietà olografiche: essi, cioè, interposti a vetri stratificati, diffondono la luce all'interno del locale per diffrazione aumentando l'illuminamento nelle parti più interne del locale e limitando l'abbagliamento. A seconda dei tipi possono essere selettivi nei confronti degli UV o dell'IR, nel secondo caso limitano il carico termico del locale. La presenza del film olografico crea nel vetro stratificato un effetto ottico tridimensionale con giochi di colore che variano a seconda dell'angolo di osservazione. Quando un raggio di luce colpisce tali vetri stratificati, l'effetto risultante è simile a quello che si osserva in un caleidoscopio. I film olografici sono disponibili in diversi tipi di grafiche creative che, combinate in modo differente, permettono di ottenere vetri stratificati con una grande varietà di finiture. Questi prodotti inoltre possiedono tutte le caratteristiche tipiche dei vetri stratificati: grazie alla presenza dei film plastici interposti sono vetri di sicurezza e possiedono buone proprietà di isolamento acustico.

**Dati Tecnici**

Trasmittanza U (W/m <sup>2</sup> K)	0.48
Coefficiente di ombreggiamento	0.66
Trasmissione di raggi UV	0.50
Dimensioni (cm)	55- 120 x 3.60

**Supporto** vetro, materiali plastici trasparenti**Trasmissione di Energia Solare** 46-50%**Trasmissione di Radiazione Visibile** 48-50%**Durata prevista** 15 anni**Possibili impieghi** dove sia necessaria una distribuzione della luce solare all'interno degli ambienti, o per effetti di colore, sia in interni che in esterni**Nome commerciale** Spectr@Litetm IGU**Produttore** Thinking Lightly**Fonte** www.thinkinglightly.com

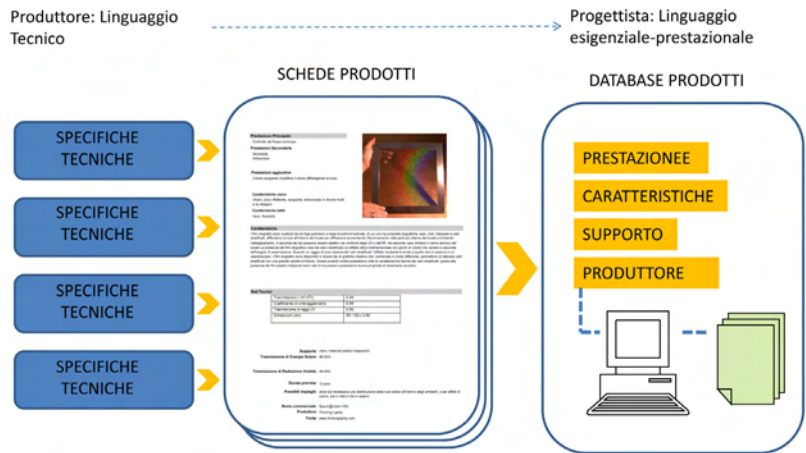


Figura 6.6: organizzazione schematica del sistema di dati: dalle specifiche tecniche (dati analitici) al sistema di dati organizzati e finalizzati (dati sintetici)

che contengono un determinato valore o condividere i dati in una rete. Ai record corrispondono i campi, che consentono di memorizzare, calcolare e visualizzare i dati immessi in un record. Le informazioni digitate in un campo ne costituiscono il valore. I valori dei campi possono essere: testo, numeri, date, ore, indicatori data e ora, immagini, suoni, filmati, file allegati, valori calcolati, e così via. Ciascun dato di un record, è dunque memorizzato in un campo. All'interno di un file di database, è possibile effettuare operazioni di ricerca, ordinamento e sostituzione dei dati (figura 6.6). La ricerca può avvenire:

- Cercando un record (comando cerca record): è possibile ricercare record che soddisfano criteri specificati.
- Ordina record: è possibile riordinare i record eseguendo l'ordinamento dei campi in modo alfabetico, numerico, per data o in modo personalizzato
- Ricerca e sostituzione di dati: è possibile cercare e sostituire il testo in più campi, similmente a quanto accade con la maggior parte dei programmi di elaborazione testi.

La ricerca viene eseguita su tutti i record in una tabella confrontando i criteri specificati con i dati della tabella. I record contenenti dati corrispondenti ai criteri diventano il gruppo trovato, vale a dire il sottogruppo di record esaminati. I record che non corrispondono vengono omessi. A questo punto è possibile ridurre o ampliare il gruppo trovato. Si può ricercare un testo nei campi Testo o nei campi Calcolo che contengono del testo. Solo se si ricercano frasi e corrispondenze esatte, il campo può contenere altri valori oltre a quelli specificati; inoltre, i valori possono essere disposti in un ordine qualsiasi. Esempi:

- Selezionando prodotti per prestazione primaria= controllo del flusso luminoso, otterrò una selezione di ...n prodotti schedati. Tra questi, ora, emergeranno come dati rilevanti altri aspetti che potrebbero raffinare la ricerca. Esempio: supporto materiali plastici
- Seleziono i prodotti per supporto vetro. Il database troverà ...n prodotti, tra cui potrò scegliere per, ad esempio, fattore di trasmissione di energia luminosa

Il principale motivo che limita lo sviluppo dei database è l'impegno gravoso nel raccogliere e mantenere aggiornati una grande quantità di dati necessari per garantire la completezza.

Infatti come evidenzia Spiro N.Pollais, professore della Graduate

School of Design della Harvard University: «Le istituzioni accademiche e le società di progettazione hanno la tendenza a sviluppare delle banche dati che richiedono un limitato numero di dati che non siano sensibili al tempo. Quando prendono l'iniziativa di sviluppare banche dati che richiedono molti dati che si modificano con il tempo, lo sforzo è solitamente concentrato nello sviluppo della struttura del database. La struttura contiene soltanto alcuni dati, aspirando a dimostrare il concetto ma rinunciando a qualsiasi completezza del database.»<sup>86</sup>

Naturalmente, anche il database realizzato ai fini di questa ricerca sconta il limite di non essere esaustivo nè completo; il fine è però quello di orientare il progettista supportandolo nell'accesso all'informazione, nel tentativo di delineare un approccio all'innovazione di prodotto che riporti i termini del discorso non tanto nella specificità e precisione del dato tecnico, quanto piuttosto nel discorso più ampio e generale delle relazioni tra prodotto e costruzione.



Note:

<sup>81</sup> RAIMONDI Alberto, *Delitto e Progetto. Conoscere la tecnologia attraverso il metodo di Sherlock Holmes*, Roma, Palombi Editori, 2004, pp.90, p. 26

<sup>82</sup> CES Selector : metodo di selezione sviluppato dal prof. Mike Ashby e dai suoi colleghi: <http://www.grantadesign.com/products/ces/ashby.htm>

<sup>83</sup> ASHBY Mike, JOHNSON Kara, op. cit., 2003, p.89.

*“Classifying process is not easy (...). The best approach is to classify according to the purposes for which the process will be used, though ambiguities are unavoidable.”*

<sup>84</sup> Wittgenstein, 1921, citato in MORABITO Giuseppe, *Percorsi di ricerca*, Quaderni del Dipartimento ITACA, Roma, 1998, pp.76

<sup>85</sup> RAIMONDI Alberto, op.cit., 2004, p. 38

<sup>86</sup> POLLALIS Spiro, KOUTAMANIS Alexander, *Visual databases in Architecture*, Aldershot (UK), Avebury, 1995, p.144.

«Academic institutions and design firms have a tendency to develop databases that require a limited number of data that are not time sensitive. When they undertake the larger task to develop databases that require large amounts of data that change with time, the effort usually focuses on developing the shells for those databases. The shell contain just a few of those data, and aim in proving the concept but disclaim any completeness of the database»



Figura 7.1: "Dichroic Glass Field", Arch. J. Carpenter, New York





## VII. Valutazione dei dati raccolti: Considerazioni critiche e limitazione del campo d'indagine.

### 7.0 Abstract

Alla luce di un insieme organizzato di conoscenze rispetto ai materiali individuati, si sono rese necessarie alcune considerazioni critiche volte ad individuare quelli che si considerano gli aspetti più promettenti dell'impiego dei film per i componenti dell'involucro edilizio. Sulla base di alcune riflessioni si è dunque effettuata una restrizione del campo di indagine ai film con funzione di controllo del flusso solare.

### 7.1 La questione del "sottile": film e progetto

Nel dibattito contemporaneo sul rapporto tra architettura e ambiente, l'involucro architettonico rappresenta la sede di quell'insieme di connessioni tra interno ed esterno connaturate alle modalità di scambio desiderate tra uomo e ambiente fisico (Donato, Spadolini et altri, 1980). Il termine stesso involucro, che trova origine nel verbo involvere, indica tutto ciò che avvolge esternamente qualcosa, definendo uno spessore-filtro ben leggibile in sezione, che rappresenta anche il luogo in cui si svolgono una pluralità di funzioni complesse. Ponendo l'accento sulla complessità di funzionamento di tale sistema, si sono sempre più consolidate accezioni quali membrana, o pelle, a ribadire da un lato la qualità osmotica e (almeno potenzialmente) dinamica di tali scambi, da un lato la consistenza fisica di elementi che vanno progressivamente assottigliandosi a vantaggio di una crescente multifunzionalità.

Le innovazioni in atto nell'ambito dei componenti d'involucro e del sistema nel suo complesso, rappresentano dunque una trasformazione silente ma dalle proporzioni enormi. I materiali da costruzione si inseriscono a vari livelli nella dialettica tra materia e tecnica, secondo requisiti di tipo formale, funzionale e tecnico, mettendo il progettista di fronte ad "elementi" che presentano differenti proprietà: da un lato, la scelta del materiale ha relazioni dirette con la sfera della cultura materiale e dell'immaginario simbolico, dall'altro tale scelta ha a che fare con la definizione del sistema fisico, in termini di configurazione della morfologia dei suoi componenti e controllo delle reciproche relazioni. Rispetto ai film per l'involucro edilizio, si pone in modo particolare la questione del modo di pensare la superficie di un oggetto. Se, intuitivamente, la superficie di un oggetto è il luogo dei punti in cui finisce il materiale di cui l'oggetto è fatto e comincia l'ambiente esterno, e quindi è una superficie che deve affrontare molti tipi

di sollecitazioni e aggressioni, nella realtà di fatto avviene che la stragrande maggioranza dei manufatti, specie quelli destinati all'involucro edilizio, subiscono varie forme di trattamenti superficiali che riqualificano l'ultimo strato del materiale per renderlo adatto a sostenere le sollecitazioni dell'ambiente esterno e rispondere a maggiori prestazioni. Materiali come la pietra, il vetro, la ceramica, l'acciaio inossidabile ed alcuni altri metalli e leghe hanno, di fatto, la capacità di essere impiegati ed esposti agli agenti ambientali senza particolari modificazioni della loro superficie, grazie alle loro caratteristiche intrinseche di inerzia agli agenti aggressivi (chimici, fisici, biologici), durezza, lavorabilità superficiale; tuttavia, questi materiali costituiscono un gruppo ristretto rispetto alle situazioni in cui si rendono necessari interventi di modifica, protezione, trattamento della superficie.

*“Rovesciando il punto di vista, si può dire che, se veramente la superficie di un oggetto è l'ultimo strato di un materiale che continua con le stesse proprietà verso l'interno, in definitiva ci troviamo di fronte ad uno spreco. Non a caso la natura (che tende all'economia), ha dotato gli organismi più complessi di una pelle, cioè di un organo specializzato nel ruolo di interfaccia tra interno ed esterno”<sup>87</sup>.*

Il graduale assottigliarsi delle pareti, che tendono alla bidimensionalità di solo supporto sembra condannare i volumi edilizi alla rinuncia della massa in favore di nuove sinergie con materiali differenti: i materiali per l'involucro subiscono una metamorfosi, che porta di fatto ad una nuova concezione della superficie, che tenga conto della sua funzione di interfaccia tra interno ed esterno, comprendendo quindi le qualità dinamiche che vi si concentrano: dall'idea di un limite muto, statico della materia, si giunge all'idea di superficie come interfaccia tra due ambienti, divenendo essa stessa un componente dell'oggetto in grado di mediare tra interno ed esterno e di produrre autonomamente una gamma di prestazioni. Ormai l'apparenza delle facciate e delle superfici nasconde una trasparenza segreta, uno spessore senza spessore, un volume senza volume, una quantità impercettibile.

La questione relativa all'integrazione di queste superfici agli edifici, sia dal punto di vista formale che da quello spaziale e soprattutto climatico al contesto in cui si inseriscono, pone delle problematiche troppo spesso messe in secondo piano, per lasciare il posto ad ardite sperimentazioni sui materiali, cui si affida l'esito di un effetto finale per il quale occorrono competenze di alta specializzazione.

Scriva Martin Heidegger: *“la linea della frontiera non chiude e definisce soltanto, ma apre alla relazione con l'altro, senza tuttavia volerlo*



*ridurre a sé*<sup>88</sup>: così l'involucro architettonico è frontiera, limite, nel suo significato più proprio, ovvero di luogo superabile a determinate condizioni, membrana concepita e realizzata per segnare una barriera ma anche per aprire in senso filtrato e selezionato, per porre in relazione realtà differenti ma complementari.

Ricomponendo la scelta dei materiali per l'involucro in una visione di questo tipo, bisogna dunque rilevare che il problema centrale non è la soluzione tecnica in quanto tale, quanto il suo trasferimento in termini di soluzione progettuale, che spesso non è in grado di integrare nella forma l'interazione tra interno ed esterno.

### 7.1.2 da limite modificato...a superficie aggiunta<sup>89</sup>

Data dunque l'importanza della superficie come luogo in cui si svolgono molte diverse funzioni, in termini generali, si può affermare che il modo di concepire la superficie di un oggetto possa essere di fatto ricondotto a due processi fondamentali: la modifica del limite, o la superficie aggiunta.

Possiamo ricondurre il processo di modifica del limite alle operazioni di trasformazione della superficie di un oggetto attraverso la manipolazione più o meno spinta del materiale che lo costituisce. In questo caso potremo avere la formazione di uno strato superficiale con caratteristiche chimico-fisiche nuove, ma creato a partire dallo stesso materiale del substrato.

La superficie aggiunta comprende invece i processi in cui la superficie è di fatto un altro materiale, una pelle aggiunta al sostrato. Un componente bidimensionale in grado di ricoprire un oggetto può essere prodotto in molti modi differenti, dalla più tradizionale, che vede l'impiego di vernici, pitture, smalti o metallizzazioni, ai processi che aggiungono "in parallelo", ma anche "in aderenza" la futura pelle: i processi di laminazione, di termoformazione di alcuni film plastici, di deposizione, di stampa, di rivestimento applicato in diversi modi.

La famiglia dei film funzionalizzati appartiene a questa grande categoria: sotto la forma di membrane sottili, spesso flessibili, costituite al loro interno da una stratificazione di diversi materiali, i film funzionalizzati rappresentano una pelle che dal punto di vista strettamente fisico, della consistenza dimensionale dell'involucro, si accosta attraverso diversi tipi di lavorazione al materiale di supporto, ma in maniera da non modificare, almeno in apparenza, il sistema; questo accostamento, tuttavia, rappresenta

uno strumento dal potenziale enorme dal punto di vista delle prestazioni e delle relazioni che la nuova pelle può instaurare con l'involucro come sistema, e rappresenta un campo d'indagine che ha dimensioni ancora molto ampie per le possibili integrazioni all'architettura. La pelle diviene strumento dinamico e reattivo, in grado di regolare il flusso luminoso o termico che lo attraversa, in grado di veicolare informazioni, suoni, impulsi luminosi, in grado di modificarsi, insomma, insieme all'ambiente circostante. In tal senso, è innegabile che nel processo di risemantizzazione dell'architettura, i materiali costruttivi abbiano oggi un ruolo determinante: sono, in realtà, le caratteristiche, le proprietà e le prestazioni di questi ultimi che danno identità e significato alle superfici tramite le quali l'architettura tenta di comunicare i propri messaggi. Questo processo di trasformazione dei materiali – che coinvolge anche i materiali naturali – ed il sempre più frequente uso di complesse combinazioni di materie di base tra loro disomogenee, potrebbe portare, ovviamente, ad una perdita della loro identità originaria per diventare sempre più spesso dei supporti flessibili, adatti ad ospitare significati diversi e mutevoli.

## **7.2 Strati funzionalizzati per materiali visualmente muti o prestazionalmente poveri**

Alla luce di queste considerazioni, si può affermare che l'applicazione di componenti superficiali in aderenza, come quelli analizzati, rappresentino una possibilità della tecnica che non possiede, ancora, di per sé, una tradizione d'uso ed una portata culturale paragonabili a quelle legate all'impiego di tanti altri materiali usati per l'architettura. Penso qui al legno, alla pietra, ai laterizi che di per sé acquistano significato e spessore di memoria.

Nella recente storia dei materiali si è verificato tuttavia un notevole incremento del numero e della varietà dei prodotti cosiddetti *engineered*<sup>90</sup>, in cui la manipolazione selettiva operata a fini presatzionali ha dato però luogo ad una proliferazione di materiali omogenei e anonimi, che, sebbene siano adatti e finalizzati ad utilizzi specifici e di tipo quantitativo, sembrano mancare della complessità e del carattere dei materiali tradizionali. Di più, potremmo definirli *visualmente muti*, citando una felice espressione di James Carpenter<sup>91</sup>, in quanto sembrano non possedere di per sé quei caratteri espressivi sui quali ci fondiamo per attribuire valori.

Oltre a questa categoria di materiali, bisogna inoltre considerare anche quelli prestazionalmente poveri, primo fra tutti il vetro, che

per molto tempo ha manifestato carenze prestazionali critiche per un suo impiego ad ampio raggio. Nel caso del vetro, i film, i coating, le pellicole hanno permesso prestazioni aggiuntive per il materiale di supporto, che si sono rivelate decisive sotto molti diversi aspetti. La vernice, la pellicola e altri tipi di rivestimenti creano strati sottili capaci di trasformare i materiali ai quali vengono applicati.

Per materiali prestazionalmente poveri, o visualmente muti, dunque, le superfici aggiunte da film e strati funzionalizzati possono rappresentare una strategia decisiva per infondere significato, oltre che prestazioni.

*“Esistono modi più attivi e modi più passivi di interferire con il mondo dei materiali. Verniciare il legno o lasciarlo senza rivestimento sono solo due modi possibili di utilizzare quel materiale. Possono essere entrambi giusti o sbagliati, veri o non veri, o altro. Nulla è reale o giusto o corretto in sé; può essere giusto se fa parte di un sistema o di un concetto dove le cose cominciano a interagire insieme. Anche risalendo molto indietro nella storia delle culture umane si possono trovare esempi di un atteggiamento più attivo o più passivo nei confronti della trasformazione della materia”<sup>92</sup>*

La questione è come utilizzare in modo selettivo i materiali più sofisticati, come utilizzarli in modo intelligente, per quali finalità e dove. E questa è una questione che non riguarda tanto la comunità della scienza dei materiali, in cui essi nascono, quanto piuttosto l'intera industria della costruzione, e ancora di più il mondo dell'architettura.

E' necessario dunque comprendere che i film non sono che uno dei dispositivi tecnici a disposizione del progettista, mentre l'opportunità della scelta risiede nella fase progettuale, e nella capacità dell'architetto di riportare dati, fatti, tecniche, all'interno di un sistema complesso (il progetto, appunto) organizzato in relazioni chiare.

### 7.3 Atteggiamento dei progettisti

Tra i vari requisiti dei film e strati funzionalizzati per l'involucro edilizio, alla luce dei dati organizzati nel database, e soprattutto alla luce delle considerazioni critiche appena fatte, è possibile individuare sostanzialmente due tipi di approcci da parte dei progettisti, all'impiego di film e strati funzionalizzati. Il primo approccio, forse il più diffuso a giudicare dagli esempi realizzati, è preminentemente visuale, volto cioè ad utilizzare la capacità degli

strati sottili di conferire qualità percettive nuove (soprattutto di tipo visivo, ma anche tattile) ai materiali di supporto. Il secondo approccio, invece, più diffuso tra i produttori che tra i progettisti, è di tipo prestazionale, ed è teso ad utilizzare gli strati funzionalizzati per prestazioni legate più al comfort ambientale nel suo insieme, che per lo specifico aspetto visivo-comunicativo.

Nel caso specifico dei film per i componenti di involucro, entrambi questi approcci si dimostrano fondamentali, rappresentando soluzioni tecniche dai molti possibili effetti. I due aspetti più interessanti individuati sono senza dubbio la possibilità di modulare la radiazione solare attraverso le parti trasparenti del sistema, e la possibilità di variare gli effetti cromatici o addirittura di renderli reattivi.

La possibilità di modulare radiazione solare e colore, dunque, rappresenta la più interessante caratteristica dell'impiego dei film per le parti dell'involucro edilizio: due aspetti dalle ricadute progettuali molto importanti, se non decisive.

Rispetto all'auspicato approccio integrato e complessivo alle scelte progettuali, la ricerca effettua a questo punto una scelta di limitazione del campo d'indagine, rivolgendosi all'aspetto prevalentemente prestazionale, di cui sopra, e decidendo di occuparsi della prestazione di controllo del flusso solare attraverso superfici trasparenti.

Le vetrate, la cui dimensione e tipologia costruttiva sono elementi determinanti per consentire o meno l'irraggiamento, la dispersione termica e l'illuminazione, non sono infatti riconducibili ad una definizione progettuale univoca e appropriata ovunque e comunque, perché le prestazioni bioclimatiche ad esse richieste sono quasi sempre contrastanti tra loro (elevata illuminazione e scarso soleggiamento, limitata dispersione termica ed elevato soleggiamento, ecc.), e fortemente legate a caratteristiche di contesto.

I recenti sviluppi tecnologici hanno quindi messo a disposizione dei progettisti un nutrito gruppo di materiali innovativi di spessore filmico le cui caratteristiche possono senz'altro migliorare le prestazioni energetiche e la vivibilità degli edifici.

Nonostante ormai da anni vengano prodotti contributi metodologici molto importanti nel campo della valutazione del comfort interno agli spazi costruiti, della progettazione bioclimatica degli edifici, dell'interazione fra forma e fisica degli edifici e dei sistemi passivi, affiancati da studi e programmi di sperimentazione che hanno



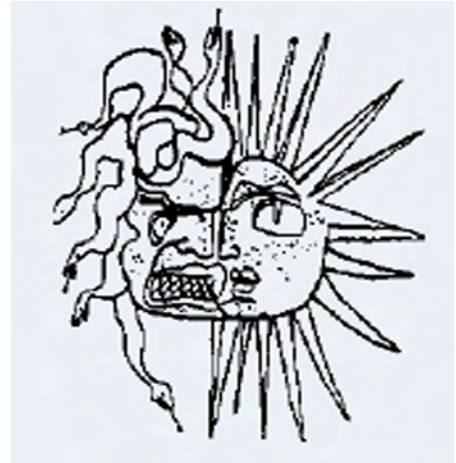


Figura 7.2: Le Corbusier, Le due facce del sole

prodotto un'ampia strumentazione progettuale a disposizione degli architetti, bisogna tuttavia sottolineare il persistere di alcuni equivoci fondamentali.

Il primo equivoco riguarda l'eccessivo affidamento a soluzioni tecnologiche legate a materiali e tecniche innovative relativamente poco sperimentate in contesti specifici, e comunque non sedimentate in sistemi tecnici facilmente trasmissibili agli operatori. D'altra parte, l'aver a disposizione soluzioni tecniche di involucro con prestazioni molto efficienti può facilmente condurre ad un eccesso di "libertà progettuale" con la conseguente tendenza ad impiegare in modo acritico i ritrovati scientifici.

Il secondo equivoco riguarda, invece, il trasferimento nord-sud di modelli e tecnologie di involucro trasparente avanzato

Il problema centrale, ancora una volta, non è la soluzione tecnica in quanto tale, quanto il suo trasferimento in termini di soluzione progettuale.

### 7.1 Film per il controllo del flusso solare.

I dispositivi di controllo solare "in aderenza" come film, pellicole, coating, come obiettivo principale hanno la valorizzazione e l'ottimizzazione della luce naturale all'interno degli ambienti, affrontando con diverse prestazioni la problematica del controllo e gestione della componente solare. Ognuno di essi risponde in modo diverso a tale fenomeno in modo da poter coprire un ampio raggio di casistiche applicative, supportando la progettazione della parte trasparente dell'involucro, la quale è notoriamente critica per il raggiungimento degli obiettivi di estetica, efficienza e sostenibilità, e per una corretta interazione con l'energia solare.

*"L'involucro di vetro, fornendo la protezione primaria dagli agenti atmosferici, permette una lettura di un intreccio e gioco di luci, che invita ad attraversare questa pelle trasparente. Questo è il fine che molti architetti perseguono. C'è un forte desiderio di arricchire gli ambienti urbani e gli spazi interni raggiungendo e comunicando un messaggio di interconnessione con l'ambiente, una sfida alla nostra cultura ed esperienza quotidiana. I tentativi di lavorare sulla pelle di vetro supera le mode. Piuttosto, riafferma il ruolo di responsabilità dell'architetto nell'essere fautore di una trasformazione del nostro ambiente costruito e del nostro benessere culturale"<sup>93</sup>.*

James Carpenter, che, per inciso, nelle sue architetture dimostra di essere uno dei maggiori sperimentatori dell'impiego di film

per il vetro, invita dunque gli architetti ad un uso sempre più consapevole ed integrato delle parti vetrate dell'involucro edilizio, per migliorare ed arricchire sia dal punto di vista visuale che del comfort gli ambienti costruiti.

Sono ben noti i problemi che un progettista deve affrontare – ampie vetrature per lasciar entrare molta luce naturale e l'utile guadagno termico solare in inverno, o finestre piccole per conservare il calore ed evitare il surriscaldamento dal guadagno termico solare estivo. In climi prevalentemente miti, con inverni temperati, questa è una priorità. Nella maggior parte di questi casi, risparmi energetici più consistenti possono essere ottenuti riducendo i carichi energetici per il raffrescamento attraverso un buon uso di dispositivi schermanti, piuttosto che riducendo i carichi dovuti ai guadagni termici solari. Molti climi, in Europa, hanno una notevole domanda di calore in inverno. Strategie progettuali che ottimizzino l'uso della radiazione solare, in cui, cioè, l'edificio sia progettato per ottimizzare i guadagni solari termici invernali, sono state viste come aspetti importantissimi per il risparmio energetico. Il grado in cui questo si verifica è stratta mente dipendente da fattori come l'analisi dettagliata delle caratteristiche di clima e di uso dell'edificio, e la presenza di ulteriori fonti di guadagno termico, il livello di isolamento, e le strategie di controllo. È probabilmente corretto affermare che ci sono molti casi in cui i progettisti hanno cercato troppo insistentemente di massimizzare i guadagni solari invernali per una riduzione appena modesta dei carichi energetici per il riscaldamento, a spese di altri problemi ambientali, in particolare il surriscaldamento estivo.<sup>94</sup>(Baker, 2008)

I film, i coating, gli strati funzionalizzati per supporti trasparenti possono giocare un ruolo fondamentale (cfr. par.8.14) , e per questo la ricerca si pone l'obiettivo di supportare il progettista nella comprensione e nella previsione di impiego di questi dispositivi, limitando il campo d'indagine, di qui in avanti, ai dispositivi sottili per il controllo del flusso solare; applicati, quindi, a supporti trasparenti.

Per far meglio comprendere l'importanza dei film ai fini del controllo del flusso solare nel suo doppio aspetto, è interessante osservare la comparazione tra requisiti visivi all'interno di una stanza-tipo, al variare di alcune soluzioni tecniche impiegate (fig.15): rispetto alle condizioni di benessere visivo interno (300 lux) calcolate per una stanza di dimensioni standard (pianta quadrata, area di 16 m<sup>2</sup>), a seconda della scelta del tipo di film per vetro, possono notevolmente cambiare altre caratteristiche importanti:

- Il primo caso analizzato mostra che, per un vetro chiaro doppio, per raggiungere i requisiti richiesti è necessaria un'area vetrata di 3,2m<sup>2</sup>; per questa soluzione tecnica la componente di radiazione visibile corrisponde ad un guadagno termico di 2.2 Kw
- Il secondo caso mostra che, se si sceglie un vetro a controllo solare (tinted glass), per raggiungere i requisiti richiesti ci sarà bisogno di un'area vetrata di 7,1 m<sup>2</sup> ed il guadagno termico sarà di 3,7 Kw
- Il terzo esempio mostra, invece, il caso di un vetro selettivo, in cui, alle stesse condizioni interne di visibilità, corrisponde un'area vetrata di 4,9m<sup>2</sup> ed un guadagno termico di 1,8 Kw.

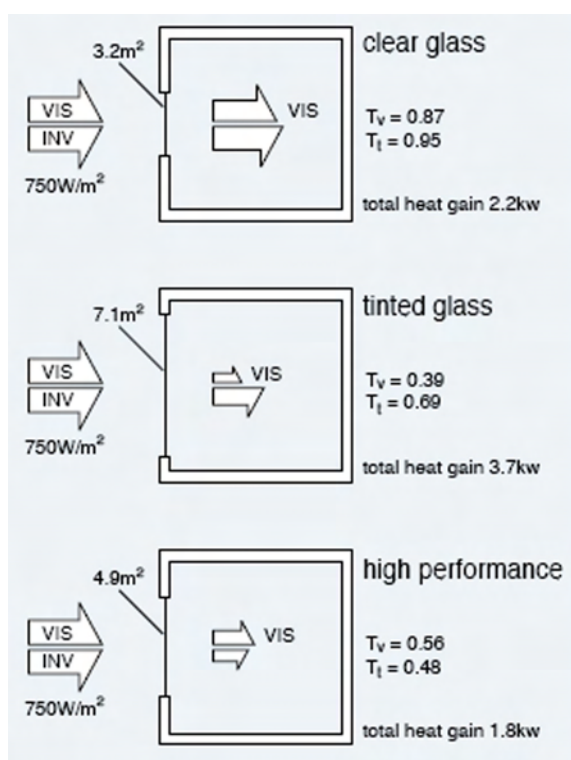


Figura 7.3: per mantenere costante (300lux) il livello di illuminazione diurna all'interno di un ambiente di dimensioni standard, a seconda del tipo di vetratura impiegata saranno necessarie aperture differenti (esprese in mq) e vi sarà un differente guadagno termico

## Note:

<sup>87</sup> MANZINI Ezio, (1986), op. cit., p.183.

<sup>88</sup> HEIDEGGER Martin, cit. in: ALTOMONTE Sergio, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Firenze, Alinea, 2004, p. 386

<sup>89</sup>Cfr. MANZINI,(1986), op.cit., pag.186

<sup>90</sup> Cioè dotati di una componente di lavorazione supplementare: l'evoluzione delle tecnologie permette di utilizzare i materiali anche naturali in forme diverse, composite, migliorando le prestazioni del prodotto finale e permettendo funzionalità adattabili alle specifiche esigenze

<sup>91</sup> CARPENTER James, intervistato da LEE Eleanor, in LBNL - High-Performance Commercial Building Facades - Design Process, Berkeley University, 14/06/2007 p. 8, in: [www.gaia.lbl.gov/hpbf/design](http://www.gaia.lbl.gov/hpbf/design)

<sup>92</sup> HERZOG Jacques, intervistato da MORI Toshiko in *Immateriale/ Ultramateriale, Architettura, progetto e materiali*, (tr.it. di Antonella Bergamin, titolo originale *Immaterial / Ultramaterial. Architecture, design and materials*, New York, Harvard Design School e George Braziler Inc., 2002,) Milano, Postmedia books, 2004, p.111

<sup>93</sup>CARPENTER James, op. cit., 2007

<sup>94</sup> BAKER Nick, "High performance daylighting- light and shade", in *Revival, Technical Monograph* n.4, EU project, in [www.revival-eu.net](http://www.revival-eu.net)

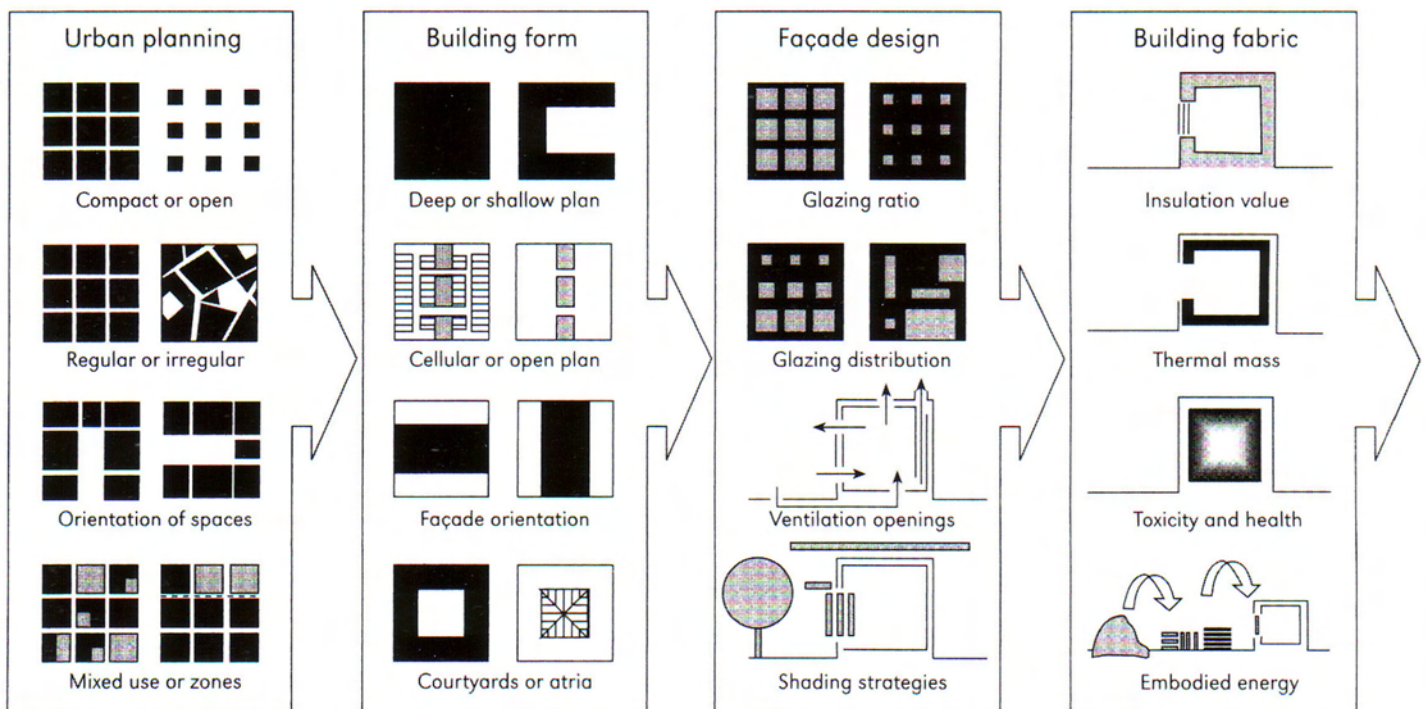


# PARTE 3

## Costruzione del modello

Figura 8.1: Schematizzazione dei fattori che entrano in gioco nella progettazione edilizia secondo il modello IBDS (Integrated Building Design System), proposto dal Prof. Steemers.

Sono rappresentate le interazioni delle principali variabili di progetto alle diverse scale (situazione urbana, morfologia, facciate, composizione materica degli involucri), ma viene segnalato, nel contempo, l'esistenza di un autentico nodo problematico costituito dall'attuale mancanza di teorie di processo progettuale adeguate alla complessità dei problemi in gioco.



## VIII. Obiettivo: Cercare le Relazioni. Costruzione di un modello di supporto alla scelta

### 8.0 Abstract

Nella seconda parte della ricerca, l'attenzione si concentra su alcuni aspetti del progetto d'involucro, restringendo il campo ad una tematica precisa (il comportamento energetico dell'involucro). La scelta compiuta è stata dettata dall'importanza di affrontare le implicazioni energetiche legate alle scelte che investono il sistema involucro. Privilegiando l'analisi di film per componenti trasparenti di involucro (cap.7), i film vengono considerati soprattutto per la capacità di modificare la trasmissione della radiazione solare, sia dal punto di vista termico (Trasmissione di energia solare) che luminoso (Trasmissione luminosa visibile). Da questo punto di vista, sono considerati come componenti schermanti innovativi, a spessore sottile, che funzionano in parallelo e in aderenza integrandosi all'intero sistema. La ricerca si è poi rivolta alla costruzione di una strumentazione sperimentale, simile ad un modello semplificato di previsione del comportamento termico-luminoso del sistema involucro comunemente impiegato per il controllo energetico in fase ideativa, sviluppato in modo da controllare la costruzione al variare dei film impiegati per il controllo del flusso solare. Dopo un'analisi degli strumenti semplificati a disposizione dei progettisti, attraverso una comparazione di vantaggi e svantaggi degli stessi, si è scelto come riferimento il metodo di simulazione LT (Light and Thermal) per alcune sue caratteristiche utili, quali ad esempio la grande diffusione e la snellezza di utilizzo. Si sono ripercorse le tappe della costruzione del modello LT per poterne poi modificare ed aggiungere alcune parti.

### 8.1 Necessità di valutare per scegliere

*“L'esperienza è un'informazione già conosciuta, capita, analizzata, compresa, classificata alla luce del campo di interesse; immediatamente pronta e reperibile per essere usata. Al contrario, un dato deve essere prima analizzato, classificato e trasformato per essere compreso e divenire utilizzabile.”<sup>94</sup>*

Dopo aver compiuto un lavoro di analisi, classificazione e comprensione dei dati relativi a film e strati funzionalizzati (cfr. cap.6), bisogna lavorare su questi dati, trasformarli, per usare le parole di Morabito, perché vengano compresi ed utilizzati. Lo scopo della ricerca è l'approfondimento della conoscenza di film e strati funzionalizzati perché divenga possibile per un progettista innanzitutto comprenderne le relazioni con il sistema cui si

applicano, e quindi renderne possibile una previsione d'impiego in fase progettuale.

Rispetto alla fase iniziale di raccolta di dati, dunque, siamo adesso al punto di compiere quello sforzo di trasformazione dell'informazione che la renda utile, quindi utilizzabile.

Per definizione, l'informazione è il dato necessario per scegliere: *"L'informazione è ciò che riduce l'incertezza"*<sup>95</sup>, e, a ben vedere, tutte le fasi della progettazione implicano un processo decisionario. Si fanno scelte per definire ciò che serve e per operare una scelta corretta sono necessarie informazioni. Poiché le scelte sono tra loro connesse, non sono cioè una serie di scelte, ma piuttosto un sistema di scelte tra loro collegate, che portano ad un risultato coerente, anche le informazioni non saranno isolate, ma un sistema di informazioni. Per questo è più opportuno parlare di sistema informativo, che permette di vedere nel suo insieme il rapporto tra realtà e dati che utilizziamo per risolvere un problema (Morabito, 2004, op. cit.).

Questa condizione è tipica dell'operare dell'architetto, e consiste nel coordinare i saperi per costruire delle ipotesi progettuali traducendo i bisogni in forma e materia, comparando le alternative

Figura 8.2:

schema dei rapporti tra progetto e modello. La valutazione delle scelte progettuali è facilitata se si avvale di un modello.

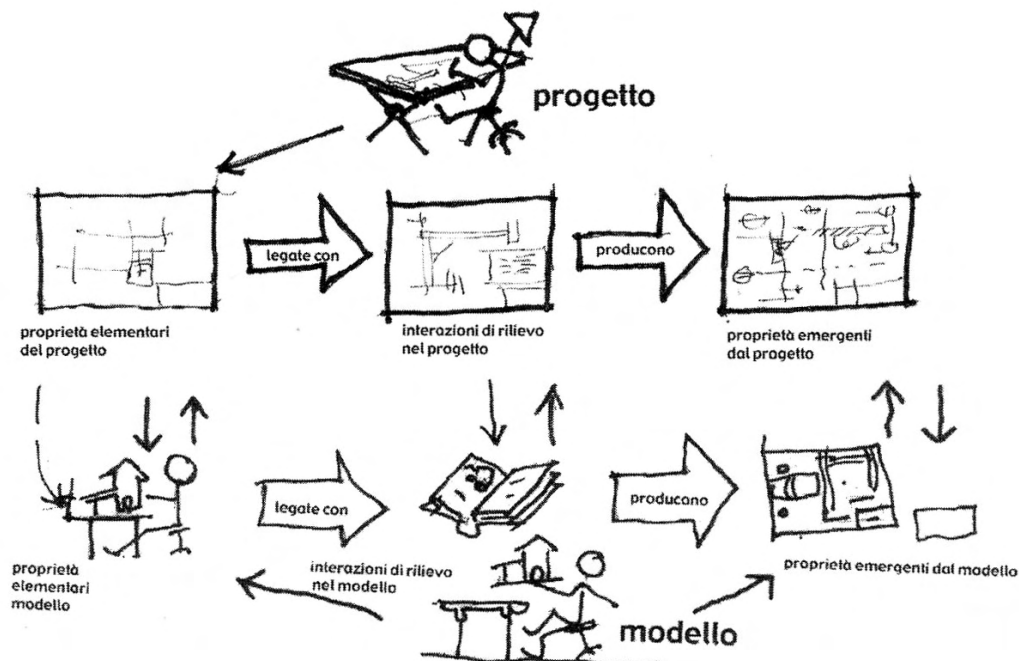






Figura 8.3:

Figura 8.3:  
I principali elementi e le più importanti interazioni tra realtà e modello

secondo differenti criteri e priorità. I caratteri della produzione edilizia rendono questa attività di traduzione e di confronto come un processo la cui complessità e diversità dalle esperienze precedenti è proporzionale agli obiettivi formulati e alle particolarità del contesto fisico e climatico. Tutto questo implica il trattamento di una quantità elevata di dati fin dalle prime tappe ideative.

*“Lo schema è molto semplice: I fatti, la realtà che ci circonda, solo se compresi possono essere trasformati in dati che, se modellizzati, danno le soluzioni possibili. Tra queste, una soluzione opportunamente valutata è scelta da un sistema di valutazione e implementata, cioè trasformata in istruzioni, per una procedura esecutiva specificamente studiata. (...) Un sistema di valutazione nella forma di un modello permetterà l’identificazione della soluzione, per esempio, più appariscente, più economica, più duratura, più leggera. Il sistema è in grado di controllare non appena avrò espresso le mie intenzioni”<sup>96</sup>*

Appare dunque l’esigenza di dotarsi di strumenti per comprendere l’interazione e le relazioni che intercorrono tra i diversi aspetti del problema. L’operare tecnico deve essere affiancato dallo sforzo di definire una corretta formulazione dei problemi, all’interno del sistema che li racchiude, per trovare relazioni e comprendere l’integrabilità tra le parti. Accanto alla componente tecnica si manifesta dunque la componente strategica, che apre la necessità di elaborare un sistema di valori sulla base del quale sia possibile definire gli obiettivi che vogliamo raggiungere con il progetto, i criteri da seguire nell’impiego di risorse disponibili, ed i riferimenti per la scelta fra le varie soluzioni possibili (Cetica, 1993, pp. 18-27).

## 8.2 I modelli e l’informazione

*“Ciò che la scienza fa per la Tecnologia è un po’ come metterle a disposizione un grande Meccano, una scatola di montaggio del tipo più generale, non finalizzata (e limitata) alla costruzione di specifici modelli”<sup>97</sup>*

Un modello è in sostanza un modo per rappresentare la realtà in maniera più semplice, selezionando una serie di aspetti che si intende rappresentare, e riproducendone le relazioni.

Ogni sguardo sulla realtà che voglia renderla intelligibile richiede l’adozione di un filtro, e quindi impone un’organizzazione delle informazioni grezze, non trattate, in base al modello adeguato allo specifico tipo di informazione che si intende estrarre: la qualità del

conoscibile dipende dalla qualità (cioè dall'adeguatezza) di questo modello.

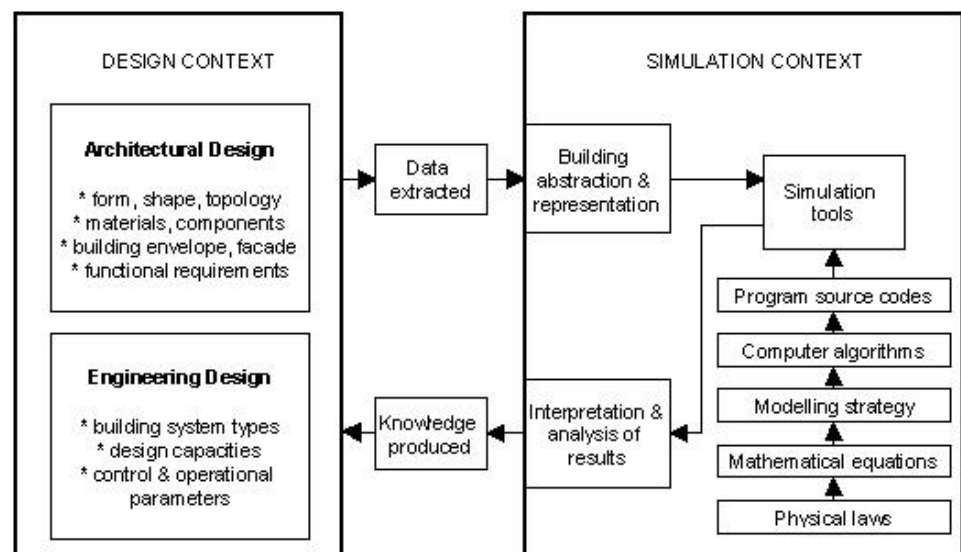
Soffermandoci su un piano teorico, potrebbe sembrare che un modello sia necessariamente qualcosa di molto complicato e di difficile gestione, ma in realtà è già pratica corrente nella progettazione. Un modello semplifica i problemi, mantenendo i collegamenti con tutti gli aspetti che li riguardano. Mette in evidenza le conseguenze di qualsiasi operazione sul problema elementare, in rapporto all'insieme da cui deriva. *“La progettazione è la funzione centrale della tecnologia, e l'uso dei modelli ne è uno strumento essenziale”*<sup>98</sup>

In effetti, una progettazione supportata da modelli può essere molto facilitata dal fatto che si può controllare quello che si fa, e, in caso di errore, ritornare a decidere per correggere. Questo principio è detto della retroazione (feedback). In questa applicazione assumono particolare importanza i seguenti aspetti:

- Il modello può essere costruito prima dell'oggetto reale e può essere modificato, con poca spesa, fino ad ottenere una ragionevole previsione delle caratteristiche funzionali dell'oggetto reale
- Sebbene molte delle proprietà di rilievo dell'oggetto reale possano influenzarne i vari aspetti funzionali, è possibile, attraverso l'impiego di più modelli dell'oggetto reale, ciascuno costruito per

Figura 8.4:

Dati e rapporti tra progetto e strumento di simulazione(modello) in architettura



un particolare scopo, esaminare separatamente gli aspetti che ci interessano

- Il procedimento di costruzione del modello, ottenuto componendo pezzo per pezzo le sue proprietà elementari e le loro immediate interazioni, facilita l'analisi dell'oggetto da modellare, permettendo di concentrare l'attenzione sulle sue proprietà fondamentali.

### 8.3 Il problema da simulare

Bisogna constatare che un approccio bioclimatico e volto ad un impiego responsabile delle risorse energetiche è il pre-requisito a qualsiasi programma di sviluppo sostenibile. Poiché il comportamento degli spazi aperti, semiconfinati e confinati dipende da una serie di fattori interrelati come clima, orografia, geometria costruita, un approccio consapevole e attento alle prestazioni ambientali dell'architettura passa per la previsione delle esigenze di comfort ambientale negli spazi interni con il pieno utilizzo delle risorse climatiche locali rinnovabili (radiazione, ventilazione, energia termica ambientale) e la minimizzazione d'uso di quelle non rinnovabili.

Il controllo qualitativo più efficace, in quest'ottica, è quello compiuto all'inizio del processo decisionale, in termini di margine di miglioramento rispetto ad un obiettivo, condotto quindi sulle prime scelte progettuali. Scrive Gianni Scudo in proposito:

*“È importante comunque tenere presente che il progetto dell'architettura alle diverse scale non è solo una ricaduta che deriva da un programma funzionale, cioè dai requisiti di metaprogetto. Dalle funzioni non segue la forma (forms follows fiasco), ma in qualche modo la forma generale è una prima sintesi di vincoli e potenzialità che anticipa e condiziona l'assetto prestazionale successivo del progetto; gli strumenti semplificati che quantificano preliminarmente i caratteri di un edificio (tra cui quelli ambientali, come l'orientamento, o la relazione tra trasparente ed opaco), servono all'inizio del processo sia per evidenziare le disattitudini (misfit, nei termini di Alexander), cioè la mancanza di rispondenza tra requisiti (anche ambientali) e forma, sia per dare contributi alla sintesi “prestazionale” della forma; in altri termini sono un aiuto a generare la forma anche attraverso la falsificazione delle disattitudini (Alexander, 1964)”<sup>99</sup>.*

In quest'ottica si dimostrano particolarmente interessanti i modelli semplificati destinati alle fasi iniziali di progetto, quando l'insieme di vincoli e risorse comincia a “conformarsi” (collocazione nel sito,

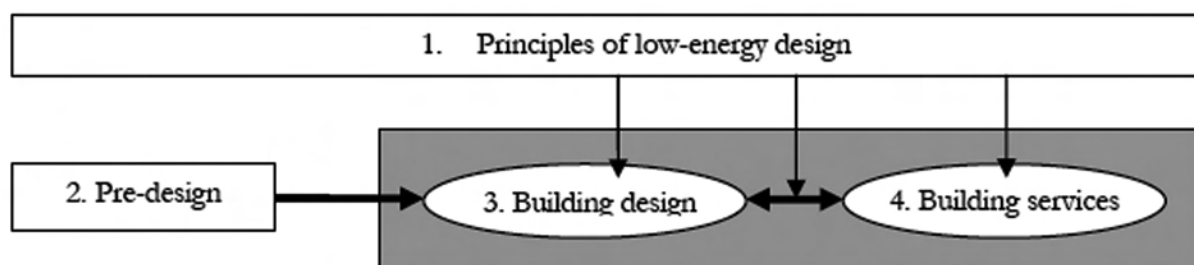


Figura 8.5: Integrazione fra fasi progettuali e principi di progettazione energeticamente consapevole

forma, orientamento, strategie costruttive e tecnologiche ecc.) e a definirsi in base ad un insieme di decisioni progettuali: nel caso in cui si verificano scelte errate, non è più possibile intervenire a valle del processo se non con scelte “emendative”.

Queste riflessioni portano a considerare di estrema importanza lo sviluppo di strumenti semplificati, che supportino di previsioni la fase strategica di progetto in cui la scelta progettuale matura in forma e tecnologie.

Tali strumenti semplificati, se correttamente correlati ad opportune verifiche quantitative, consentono di agevolare, grazie alla loro facilità e rapidità d’uso, una reale integrazione di tecniche ed approcci di natura differente/discordante nel processo progettuale. Tale integrazione di conoscenze è lo scopo di questa ricerca, e rappresenta la principale condizione per un approccio alla progettazione di tipo circolare, ricorsivo, informato dei necessari apporti disciplinari specialistici. Tali strumenti previsionali sono di fatto modelli semplificati che consentono di muovere qualche passo nella progettazione non supportata dall’esperienza.

In quest’ottica, è opportuno avvalersi di strumenti che aiutino la scelta supportandola con informazioni, al fine di creare uno strumento di comprensione e valutazione delle possibilità e dei limiti di impiego:

*“Molto utile appare la possibilità di ridurre le inefficienze dovute alla carenza di informazione durante la progettazione che determina: scelte sbagliate, duplicazione di informazioni, documentazione incompleta, difficoltà di comunicazione tra gli operatori”<sup>100</sup>*

La progettazione della parte trasparente dell’involucro è critica per il raggiungimento degli obiettivi di estetica, efficienza e sostenibilità, e per una corretta interazione con l’energia solare. I recenti sviluppi tecnologici hanno messo a disposizione di progettisti un nutrito gruppo di materiali innovativi di spessore filmico le cui caratteristiche possono senz’altro migliorare le prestazioni energetiche e la vivibilità degli edifici. La ricerca si pone quindi l’obiettivo di effettuare un’analisi delle principali considerazioni per garantire una corretta scelta tra tre diverse tipologie di schermature, aderenti (strati specializzati, film e coating) e di realizzare uno strumento di previsione dell’impatto che tali soluzioni permettono di ottenere sul risparmio energetico in seguito alla loro applicazione.

Infatti, per sfruttare al meglio tali materiali e per evitare che una scelta superficiale possa avere degli effetti complessivi negativi, sia



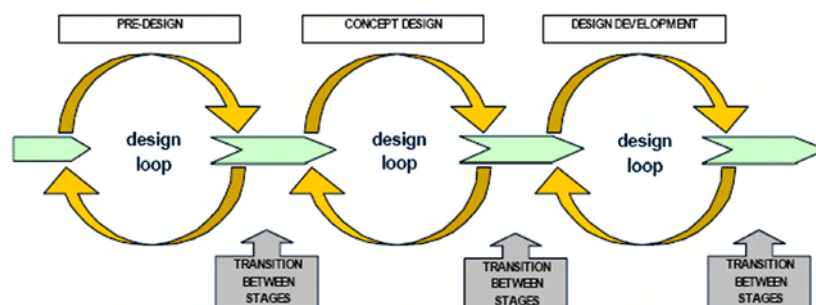


Figura 8.6: Fasi di progetto e strumenti di controllo (feedback loop)

in termini energetici che economici, è necessario che i progettisti, oltre a conoscere nel dettaglio le proprietà nonché i campi ed i limiti di utilizzo dei film per le parti trasparenti dell'involucro (Prima fase di questa ricerca), siano anche supportati da modelli in grado di definire le relazioni esistenti tra questa famiglia di materiali e gli altri elementi dell'involucro di Architettura. Perché possano essere considerati, alla stregua di altri componenti a noi più familiari, come elementi schermanti in aderenza, gli strati funzionalizzati, per supporti trasparenti, devono essere visti nella relazione che essi hanno con l'intero sistema involucro, e tale relazione dovrebbe essere esplicitata in termini quantitativi.

Il modello utile a questo scopo dovrebbe quindi simulare il comportamento energetico e luminoso di un organismo edilizio in base al sito in cui si colloca, all'orientamento, alla disposizione e progettazione delle sue aperture, e rispetto a queste condizioni fornire valutazioni sintetiche sul comportamento energetico passivo globale. Tale modello dovrebbe poi consentire di procedere per retroazioni, ovvero modificando alcune variabili progettuali, per avere nuovi valori sintetici da paragonare con i precedenti. Rispetto a questo sistema di dati, dovrebbe quindi essere possibile intervenire attraverso una serie di variabili progettuali che incidano sul comportamento energetico globale: ampiezza e posizione delle parti vetrate, introduzione di opportuni elementi schermanti, composizione fisica delle parti opache.

Un modello, oltre a rappresentare un sistema di relazioni, dovrebbe poi essere in grado di fornire valutazioni quantitative, anche se approssimate, e attribuire valori per poter comparare in termini di efficacia prevista i risultati relativi alle diverse configurazioni possibili. Questo passaggio è particolarmente importante ed impone uno sforzo culturale che a ben vedere è proprio del mestiere dell'architetto, il quale impiega strumenti pratici e culturali diversi e coordina competenze a volte anche molto differenti, per svolgere un processo progettuale creativo. Qualsiasi modello impiegato a tal fine deve essere rapido e facile da usare in modo da consentire al progettista di esaminare diverse ipotesi. In secondo luogo deve poter fornire risultati in funzione dei maggiori parametri di progetto considerati.

#### 8.4 Strumenti per realizzare modelli: VENSIM PLE

Uno degli strumenti più flessibili per realizzare modelli è probabilmente il software VENSIM PLE<sup>101</sup>, disponibile in

Figura 8.7:

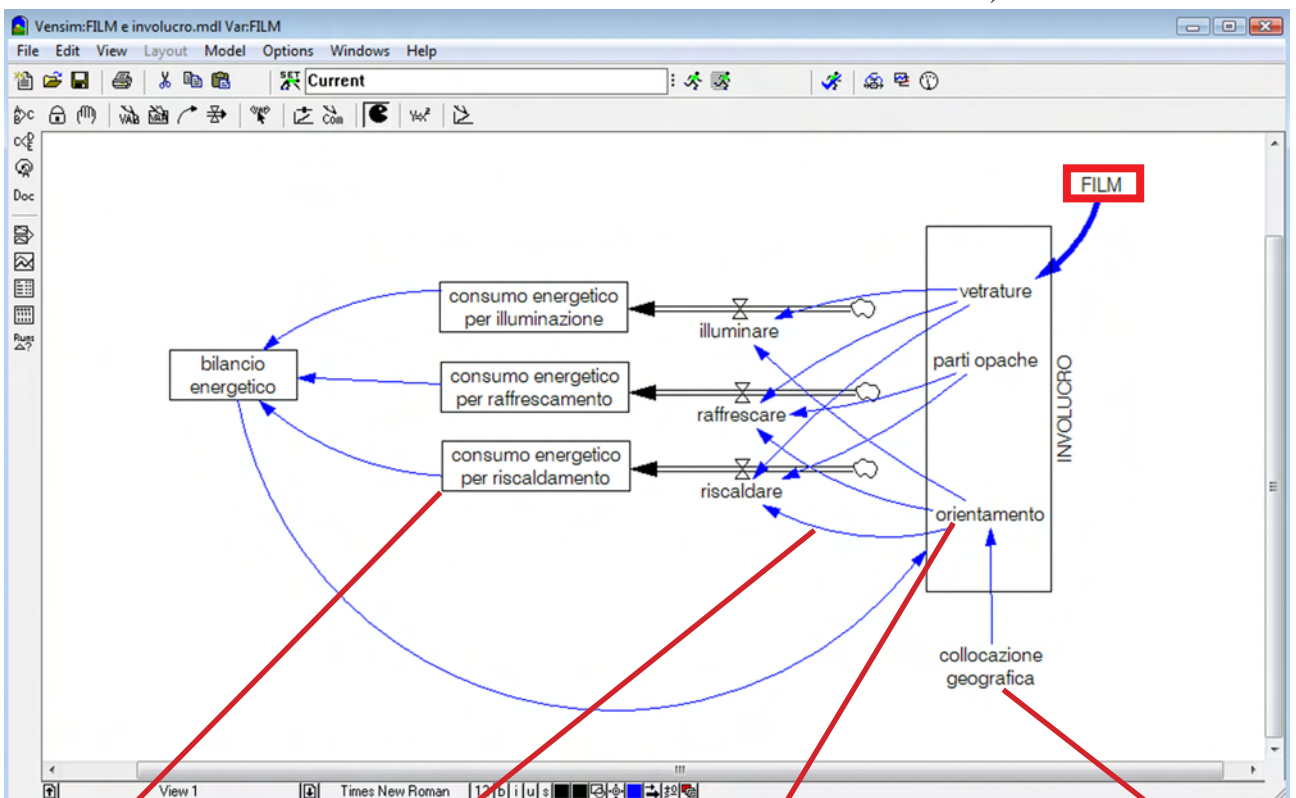
rappresentazione schematica del modello che si vuole realizzare.

In questa fase lo schema è generico, ma si può subito notare come con uno strumento come VENSIM anche un semplice schema di rapporti possa trasformarsi in un sistema funzionante

versione gratuita dal sito del MIT, e sviluppato per le applicazioni di una disciplina detta "dinamica dei sistemi". Tale disciplina accademica fu creata nel 1960 dal Dr Jay W. Forrester del Massachusetts Institute of Technology; nata originariamente per le materie gestionali e l'ingegneria, nel tempo ha dimostrato di essere un utile strumento per l'analisi dei fattori sociali, economici, fisici, chimici, biologici, e di sistemi ecologici, ed oggi può essere impiegata in qualsiasi tipo di modellizzazione.

Il motivo della trasversalità e della diffusione di questa disciplina (e quindi del software che utilizza) è innanzitutto nella sua analogia con il linguaggio naturale, che permette una facile comprensione del modello. Oltre a questo, un'altra grande qualità è la possibilità di inserire dati di diversa qualità, organizzati in molti diversi tipi di funzioni; il tutto è organizzato in una struttura aperta che consente continue aggiunte e perfezionamenti.

Nell'ambito delle dinamiche del sistema, un sistema è definito



accumulazioni flussi relazioni variabili endogene (influenzate dal sistema)

variabili esogene (non influenzate dal sistema)

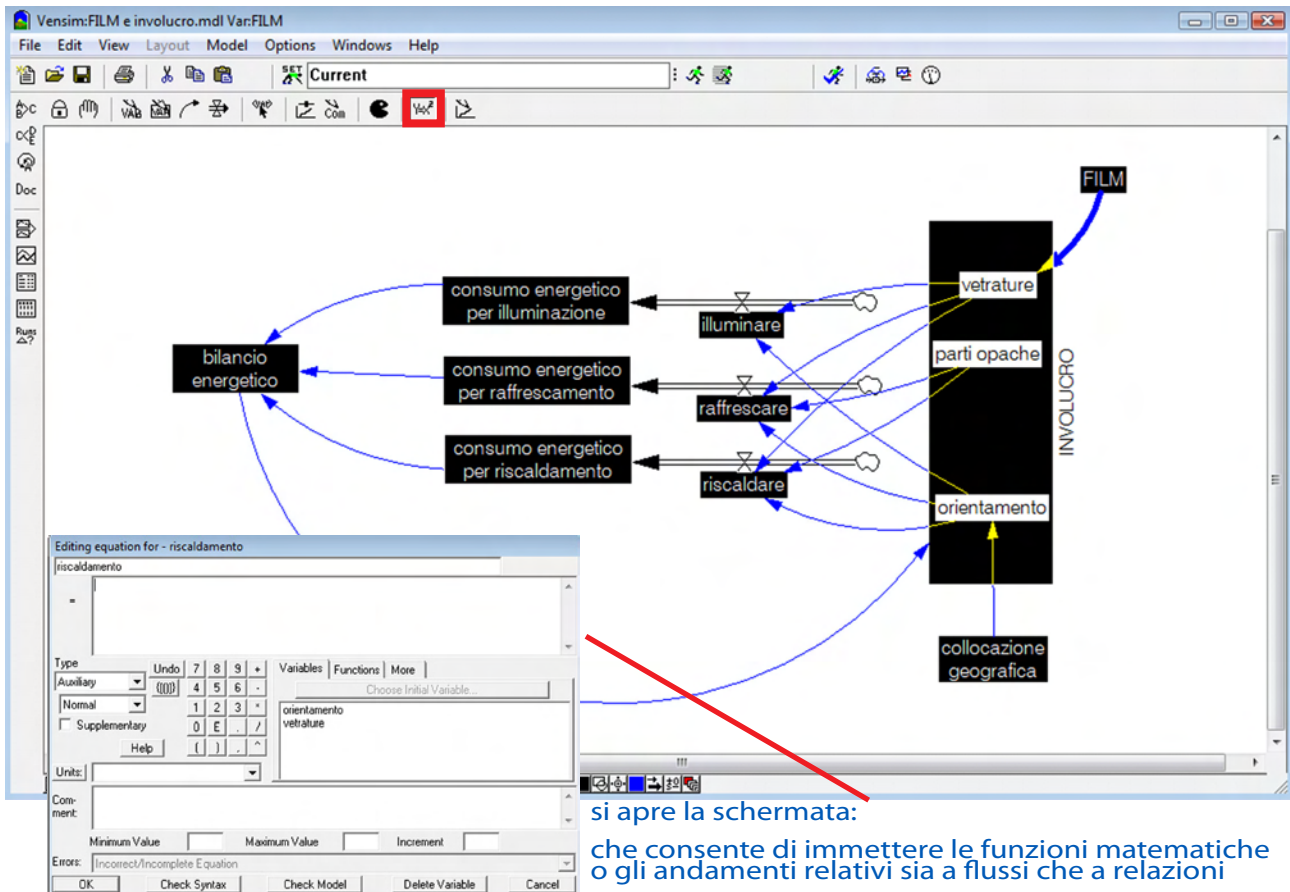
come un insieme di elementi che interagiscono continuamente nel l propositivi, possono supportare le scelte.

tempo fino a formare un unico insieme. I rapporti che ne regolano le parti e le connessioni sono chiamati la struttura del sistema. Elementi base dei sistemi dinamici sono livelli (o accumulazioni) e andamenti (o flussi). I primi rappresentano lo stato di un sistema in un dato momento, i secondi, invece, rappresentano le azioni che fanno modificare il sistema. I flussi aumentano o diminuiscono le accumulazioni nel tempo.

Provando da subito ad utilizzare VENSIM per rappresentare schematicamente i termini del problema, genericamente enunciato nel paragrafo precedente, il primo passaggio consisterà nell'individuare e rappresentare accumulazioni e flussi.

Si vuole comprendere come i film applicati alle parti trasparenti dell'involucro edilizio modifichino le prestazioni energetiche dello

**Figura 8.8:**  
dopo aver rappresentato in modo schematico le grandezze e le relazioni, è possibile associare a ciascuna una funzione matematica o un andamento che li caratterizzi: con il comando



stesso in termini di consumi. Dunque rappresenteremo l'involucro, composto da parti trasparenti ed opache (vedremo poi come definirle ulteriormente), e le interazioni di queste con le azioni dell'illuminare, raffrescare o riscaldare l'ambiente. Tali azioni modificheranno i livelli di consumi (singoli o a bilancio).

I consumi energetici per illuminazione, riscaldamento, raffrescamento, saranno rappresentate come le principali accumulazioni del sistema, mentre i flussi, ovvero le azioni che fanno variare queste accumulazioni sono appunto illuminare, riscaldare, raffrescare un ambiente. Queste grandezze e queste azioni saranno a loro volta determinate strettamente dalla morfologia e dall'orientamento dell'involucro (influenzato a sua volta dalla collocazione geografica), sia per le sue parti opache che trasparenti. Le frecce indicano le dipendenze tra le parti, e naturalmente al variare di una delle relazioni, varia l'assetto dell'intero modello. Quello che si vuol indagare è come i film influenzino il sistema.

Modellizzare il sistema edificio-impianto, ai fini della valutazione del bilancio energetico significa sostanzialmente formulare una descrizione del sistema stesso evidenziandone le proprietà salienti. Fare riferimento ad un modello matematico implica cercare di rappresentare il sistema e la sua evoluzione secondo sistemi di equazioni algebriche. Anche un modello di simulazione è esprimibile in termini di relazioni matematiche, che si inseriscono però in una struttura portante di carattere logico. In questo modo, si possono rappresentare "in forma sistemica" i modelli: rappresentandoli, cioè, come nessi logici e sistemi informativi. Questa operazione di rappresentazione è di grande utilità per un architetto, consentendo di mettere in relazione dati di diversa qualità (come le grandezze in gioco in Architettura), e soprattutto evidenziandone gli elementi, i rapporti, le relazioni e così via. Con questo strumento, quindi, anche uno schema di rapporti si trasforma in un sistema che attraverso opportuni passaggi può diventare funzionante e fornire indicazioni.

Il sistema edificio-impianto può essere definito un sistema dinamico: la sua storia futura dipende dalla sua storia presente e passata. Attraverso Vensim, tutti i sistemi dinamici possono essere rappresentati usando solamente accumulazioni e flussi.

I modelli, rappresentati come sistemi che cambiano nel tempo, sono legati a fenomeni reali e si applicano a casi reali. Per questo il presupposto è che, ad elementi astratti (concetti) corrispondano



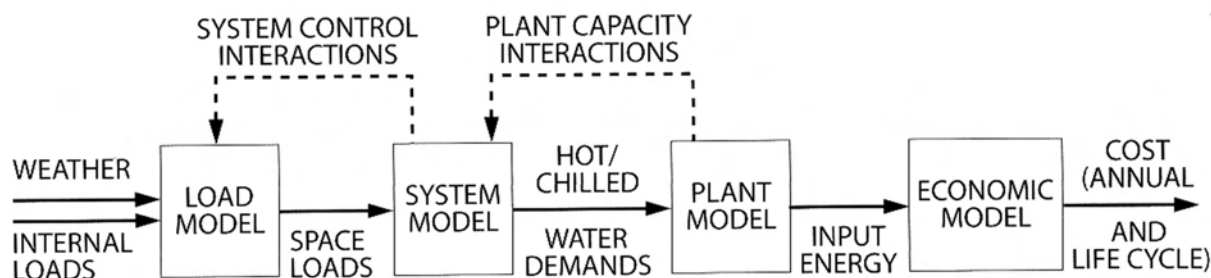


Figura 8.9 :

Un esempio di diagramma di flusso suggerito da ASHRAE per lo sviluppo di un programma di simulazione del comportamento energetico degli edifici.

casi reali (elementi del sistema), espressi secondo le proprietà che ne vogliamo rappresentare. Siamo in presenza di molte diverse proprietà, ed i legami delineati nel modello schematico devono accordare concetti che possono essere definiti con parametri molto diversi. Per questo il primo lavoro da fare è la loro definizione.

Il primo passo da compiere è realizzare una struttura rappresentativa del sistema, semplice e sintetica, ovvero compiere una schematizzazione: definire i confini del sistema coerentemente con il problema posto e definire quali elementi, processi ed effetti del sistema reale sono interni ed esterni al sistema schematizzato. Soltanto i primi verranno poi disaggregati ed organizzati in sottosistemi ed interazioni tra i sottosistemi. Successivamente, i diversi sottosistemi verranno organizzati in una struttura di lavoro o diagramma di flusso.

Tuttavia, per rendere questo schema generico la base di un modello funzionante occorrono altre attenzioni. Per funzionare correttamente un sistema come quello rappresentato deve aver ben distinte le immissioni, le elaborazioni interne (dette tautologiche) e le uscite. Infatti, per funzionare correttamente non è possibile mescolare le cose perché potrebbero portare ad elaborazioni diverse in funzione di come viene usato il sistema. Questo non complica il lavoro. Anzi, osservando con attenzione lo schema -estremamente generico- rappresentato, possiamo notare che esso è scomponibile in più sotto-sistemi, alcuni dei quali corrispondenti a modelli già esistenti (e a disposizione di un architetto), che esprimono le relazioni esistenti tra involucro e comportamento energetico. Si potrà dunque procedere nel lavoro ricercando, fra i tanti, il modello che meglio si adatta al raggiungimento del nostro obiettivo, comprenderne la struttura e le relazioni che ne regolano le parti, ed infine organizzarlo in una struttura che comprenda un sotto-modello relativo utile per simulare il contributo prestazionale dei film per le parti trasparenti del sistema involucro. Naturalmente, procedendo con l'analisi anche tutte le parti relative allo schema qui enunciato verranno meglio specificate, definite, espresse con le unità di misura.

### 8.5 Il criterio energia negli environmental assessment

Tra i metodi di valutazione delle prestazioni ambientali, il più diffuso, se non altro per la tradizione d'uso ormai consolidata, è il BREEAM<sup>102</sup>. La lunga sperimentazione d'uso di questo metodo ha permesso di definire una griglia di indicatori della qualità del

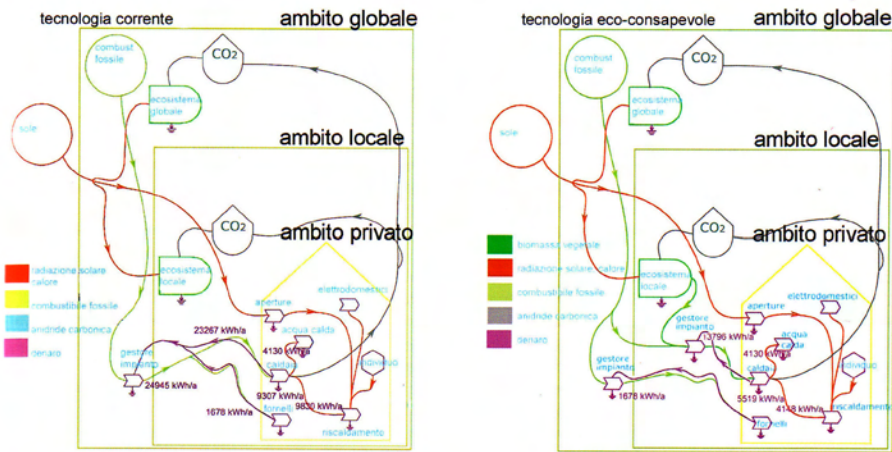


Figura 8.10:

Un esempio di rappresentazione dei flussi attivati per il riscaldamento invernale, in cui si schematizzano le interazioni tra i tra i fattori globali, locali e privati, e si evidenziano le differenze tra tecnologie tradizionali e tecnologie energeticamente consapevoli

comportamento sostenibile di un edificio. Il metodo, inaugurato nel 1990 nella versione destinata agli uffici pubblici, è il risultato della collaborazione tra il BRE (Building Research Establishment), principale centro di ricerca inglese sull'edilizia, e alcuni organismi privati, tra cui l'agenzia di consulenza ambientale Ecd Energy and Environment.

La valutazione si basa su una serie di fattori ambientali strutturati in tre livelli:

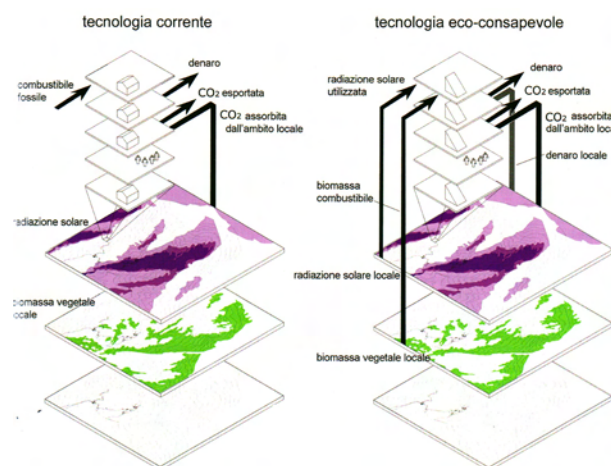
- Fattori globali e uso delle risorse
- Fattori locali
- Fattori indoor

Le categorie di analisi riguardano il sito, il paesaggio, l'efficienza energetica, i materiali da costruzione, l'impiantistica, gli aspetti legislativi. La procedura prevede l'attribuzione di un punteggio 8credit sui diversi fattori, ciascuno dei quali ha un peso. La somma pesata dei singoli punteggi da un punteggio finale, espresso in ragione delle emissioni di CO<sub>2</sub> (inserire figura).

Nella stessa direzione, e negli stessi anni (1993) si è istituita ed organizzata la Green Building Challenge<sup>103</sup>, organizzazione internazionale fondata con gli obiettivi di sviluppare le prestazioni dei green buildings e dei relativi metodi di controllo con il contributo di ricercatori, committenti, progettisti e costruttori a livello internazionale. Oltre a ciò, si poneva anche l'obiettivo di verificare i metodi di valutazione delle prestazioni degli edifici e cercava di stabilire un benchmark internazionale di tali prestazioni nel rispetto delle differenze tecniche e delle caratteristiche locali della produzione edilizia.

Il metodo proposto dalla GBC si articola in fattori, criteri e sub-criteri sulla base dei quali confrontare la prestazione rilevata alla prestazione standard (reference building), quest'ultima definita sulla base di regole nazionali o locali. Sulla base di questa comparazione, è infine possibile attribuire un punteggio che valuti la prestazione in termini di consumo energetico, traducibile in emissioni di CO<sub>2</sub> (inserire figura).

La ragione per cui si fa riferimento all'energia primaria è perché in tal modo si conteggiano con un'unità comune i diversi consumi per illuminazione, riscaldamento e raffrescamento. L'energia primaria è il valore energetico del combustibile alla sorgente. Nel caso di combustibili come il gas o il petrolio usati per il riscaldamento, si tiene conto dell'energia, modesta, spesa per l'estrazione, la



**Figura 8.11:**  
Un' altra rappresentazione dei flussi attivati per il riscaldamento invernale, relativi al caso precedente (confronto tra tradizione e atteggiamento eco-consapevole).  
Questi schemi indicano il sovrapporsi di diverse sfere di influenza e interazioni.

raffinazione e la distribuzione. Vi è una perdita più larga nel processo di distribuzione. Complessivamente l'insieme di queste perdite porta ad un valore di circa 1.5 del rapporto tra l'energia primaria e l'energia utilizzata.

Questi sforzi congiunti hanno portato ad un criterio oggi generalmente accettato dalla comunità scientifica, che vede il criterio energia generalmente accettato nella valutazione delle prestazioni ambientali di un edificio.

Inoltre, l'emanazione della Direttiva Europea 91/2002 sul rendimento energetico in edilizia (nota come Direttiva EU EPBD: European energy Performance of Buildings Directive) e il suo recepimento da parte dei Paesi membri ha costituito un ulteriore impulso allo sviluppo dei modelli per la valutazione del comportamento energetico degli edifici, e di modelli semplificati per la valutazione del sistema edificio-impianto. La problematica della riduzione dei carichi ambientali indotti dal settore edilizio è ampia ed investe tutto il ciclo di produzione dei settori produttivi interni alla filiera edilizia.

Questa ricerca si concentra nell'analisi della componente energia legata all'uso e gestione del prodotto edilizio, cioè l'energia necessaria al mantenimento delle condizioni di comfort e benessere ambientale, soprattutto dal punto di vista del miglioramento nell'uso dell'energia solare passiva, legata ad un clima -quello mediterraneo- che può molto migliorare dal punto di vista dell'impiego di tecniche che riducano il fabbisogno energetico ed il dimensionamento degli impianti, e che allo stesso tempo impieghino al meglio illuminazione e ventilazione naturali.

Negli ultimi anni l'Unione Europea ha finanziato numerosi progetti nel campo dell'illuminazione naturale negli edifici, tra cui programmi di simulazione luminosa degli ambienti interni attraverso fonti sia naturali che artificiali; la realizzazione di una guida pratica per l'integrazione di nuove tecnologie di illuminazione naturale in edifici del settore terziario in Europa; la realizzazione di un atlante del territorio europeo dell'illuminazione naturale con i dati necessari per la progettazione del daylighting con programmi di simulazione; la caratterizzazione delle proprietà luminose dei materiali trasparenti e traslucidi innovativi attraverso prove di laboratorio con strumenti sofisticati e prove in loco; la realizzazione di un programma di calcolo delle proprietà termiche e luminose di componenti finestra e lo studio di nuove tecnologie per le finestre del futuro come materiali cromogenici, materiali isolanti trasparenti, films olografici e griglie riflettenti.

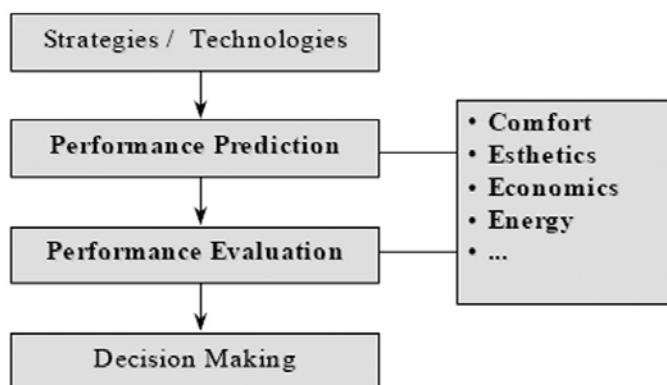


Figura 8.12: Il processo decisionale ed il modello semplificato di previsione nelle fasi di progetto. In STAUFFER Nancy, "Ask the MIT Design Advisor. New Web Tool Helps Designers Evaluate Energy-Saving Options", in *Plan* n. 60, February 2005.

In Italia, ricerche avanzate sul daylighting vengono effettuate presso l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia, dove si lavora prevalentemente sui modelli di simulazione e, in collaborazione con la Stazione Sperimentale del Vetro di Murano (VE), nello studio del comportamento termico e luminoso di sistemi vetrati. L'Università di Firenze studia l'illuminazione naturale con le fibre ottiche e la progettazione di sistemi schermanti, mentre presso il Dipartimento di Energetica dell'Università di Torino, si lavora sulla validazione dei modelli di simulazione, modelli in scala e misure acquisite in campo. Ricerche sul daylighting sono anche in corso presso le Università di Napoli, Padova e Roma I e Roma III e la Conphoebus di Catania. I laboratori dell'ENEA e l'Istituto Elettrico Nazionale Galileo Ferraris di Torino, studiano la caratterizzazione dei materiali trasparenti e misurano le prestazioni delle trasmittanza, della riflettanza, del fattore di guadagno solare e l'effetto cromatico dei vetri.

Ciò costituisce una rete di conoscenze e di riferimenti in cui la ricerca idealmente si inquadra e rappresenta un patrimonio metodologico e culturale di grande importanza per il suo sviluppo; rispetto a questo panorama, tuttavia, l'interesse della ricerca si rivolge ad un uso dell'informazione che investe soprattutto la fase iniziale della progettazione, privilegiando dunque strumenti di indirizzo più che di valutazione o di verifica a posteriori.

Tale ampio spettro di aspetti è infatti oggetto di considerazione in varie metodologie di valutazione di *sostenibilità* dei progetti; si tratta però di strumenti che, per come sono attualmente strutturati, non appaiono risolutivi a supporto del progetto, quanto piuttosto adeguati alla valutazione dei progetti già esistenti, perchè privi dell'agilità d'uso necessaria ad accompagnare l'esplorazione progettuale.

### 8.6 I metodi di valutazione preventiva

Nell'esplorazione progettuale di un'idea si avanza in una direzione anche per poter ritornare indietro e modificare le condizioni.

Occorre invece concentrare l'attenzione sui caratteri delle prime attività progettuali, con l'obiettivo di distinguere le condizioni e i vincoli che determinano il grado di apertura del progetto tecnologico dell'involucro edilizio e le variabili che rappresentano gli elementi di controllo delle soluzioni di progetto.

La distinzione dei vincoli-condizioni delle variabili è strumentale



al controllo delle varianti tecnologiche dell'involucro.

Di solito, gli sforzi per migliorare l'efficienza energetica di un edificio sono lasciati all'ultima fase del processo progettuale, dopo che alcune decisioni fondamentali sono già state prese. Poiché, però, alcune di queste decisioni possono avere un impatto decisivo sul comportamento energetico globale, si rendono necessari strumenti di valutazione preliminare veloci e semplici da usare, anche se sottendono una certa approssimazione di risultato.

La progettazione architettonica è un'attività complessa, che chiama in causa moltissimi parametri decisionali reciprocamente interrelati, e in modi estremamente vari. In questo quadro il progettista, per riuscire a definire soluzioni progettuali vantaggiose, deve riuscire a comprendere i problemi che tratta in maniera complessiva: a rappresentarli cioè, seppure in modo semplificato, nel proprio spazio mentale. Il maggiore elemento di specificità e interesse degli strumenti semplificati di valutazione a supporto del progetto va ben oltre la loro utilità "computazionale" e sta proprio nel fatto che essi favoriscono questa operazione. Oltre che dei modelli di calcolo, essi costituiscono, infatti, importanti, spesso insostituibili mezzi di rappresentazione degli effetti dei processi fisici influenti sulle prestazioni dell'ambiente costruito, a tutto vantaggio della comprensione dei problemi da parte dei progettisti e, in ultima analisi, della qualità dei progetti.

E' anche la modalità attraverso la quale gli strumenti di supporto al progetto ambientalmente consapevole vengono utilizzati nella pratica che influisce molto sulla loro capacità di incidere in modo positivo sui progetti: in continuità con gli schemi di pensiero consueti al progettista, ci si dovrebbe orientare verso modelli che consentano indagini esplorative di tipo trial and error, che consenta, cioè, di valutare le conseguenze prestazionali delle variazioni progettuali in modo agile e snello.

Lo sforzo di implementare modelli semplificati di stima del comportamento energetico degli edifici fin dalle prime fasi della progettazione, sembra particolarmente importante nell'ottica di un processo decisionale di tipo progettuale: processo che *non è lineare, ma impulsivo*<sup>104</sup>, e procede per ripensamenti successivi e valutazioni sulla base delle informazioni di volta in volta disponibili; il controllo del progetto, inoltre, è sempre di tipo multicriterio, poiché il progetto architettonico deve ricomporre in unità un fenomeno complesso che investe molte problematiche. Ci si orienterà quindi a modelli di valutazione preventiva, da utilizzare come strumenti di supporto e valutazione delle scelte. Si ritiene importante la

possibilità di effettuare valutazioni complessive sin dalle prime fasi del progetto, per permettere di effettuare scelte consapevoli. Gli strumenti di simulazione energetica degli edifici sono di solito piuttosto complicati, difficili da imparare, e richiedono un progetto completamente definito e sviluppato in tutte le sue parti, e questa caratteristica li rende poco utili per analisi preliminari di progetto.

Esistono molti software specifici, forniti dalla scienza, in grado di fare analisi estremamente accurate sui singoli film (oltre a quelli estremamente elaborati, utilizzati dai produttori, ai progettisti sono noti software come Radiance, o Leso), tanto da fornire vere e proprie simulazioni virtuali degli effetti ottici, termici, geometrici di tali dispositivi.

Si ritiene però che un dato così fatto non sia utile per un architetto, per una serie di motivi:

- In ogni fase del percorso progettuale, un architetto ha bisogno di strumenti proporzionati al livello di definizione del progetto stesso: nelle prime fasi di progettazione, occorrono dati di massima, per prendere scelte progettuali che vengono poi definite e raffinate man mano che si scende nel dettaglio, fino alla verifica valutativa sul costruito.
- Per avere un risultato preciso, c'è bisogno di una tale quantità di dati di immissione che è propria solo delle fasi esecutive o valutative del costruito, quando, di fatto, il margine di intervento sul progetto è assai limitato. Invece, è nella prima fase progettuale che si prendono alcune decisioni strategiche, ed è in quella che il progettista ha maggior bisogno di strumenti di supporto alla scelta.
- Il tipo di simulazione, specifico e molto approfondito, non facilita la comprensione dell'interazione del prodotto innovativo con l'intero sistema e per questo stesso motivo non è adatto alla fase di scelta strategica del progetto.
- Spesso richiede una specializzazione tecnica finalizzata, sia per l'utilizzo dello strumento di simulazione, sia per la comprensione dei dati di output. Un dato di output come quello fornito dal modello realizzato con questa ricerca, invece, è immediatamente utilizzabile da un architetto "generalista"

### **8.7 I principali metodi semplificati**

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi programmi per

computer che simulano il comportamento sia dell'illuminazione naturale che di quella artificiale. Tra questi i programmi Naturel, Genelux e Serilux, sviluppati nell'ambito dell'UE, e i programmi Radiance, Lumen Micro, Superlite, Daylite, Dalite e TRNSYS sviluppati negli Stati Uniti.

Pur essendo la questione energetica di primario interesse nazionale ed internazionale, e pur proliferando tentativi di classificazione ed analisi "a posteriori" del costruito, non si può non notare la carenza di attenzione alla fase previsionale del progetto, evidenziata dalla carenza di strumenti di previsione del comportamento energetico di un edificio, sin dalla fase progettuale.

*"Ci sono tante strumentazioni informatiche che aiutano la ricerca. L'informatica si sta fossilizzando su quelle quattro cose che già sono molto utilizzate, ma ci sono programmi per fare sistemi che sono utilissimi e che hanno infinite possibilità applicative nel campo dell'edilizia. Sono strumenti con cui si fanno simulazioni con una facilità inimmaginabile"*

105

L'introduzione delle tecnologie informatiche per la valutazione a priori attraverso la tecnica della simulazione, ha avuto uno sviluppo tutto sommato limitato, se paragonato, ad esempio, agli sforzi di implementazione dei programmi di rappresentazione virtuale dei progetti. Eppure, per quanto detto nel paragrafo precedente, si ritiene che sia particolarmente utile intervenire proprio in questa fase del progetto. In particolare, lo scopo di questa parte della ricerca vuole essere quello di validare gli strati funzionalizzati nella loro accezione di componenti in aderenza, per il flusso del controllo luminoso: si impone quindi il tentativo di portarli nel campo delle possibili soluzioni tecnologiche a disposizione di un progettista per prevedere il comportamento energetico di un edificio fin dalle prime fasi progettuali.

Si presenta una sintetica panoramica dei principali modelli disponibili, con pregi e difetti.

### 8.7.1 Il MIT Design Advisor

Sviluppato all'MIT con lo sponsor di Permasteelisa ed il contributo del dipartimento di Building Technology dell'Università di Cambridge, il MIT Design Advisor<sup>106</sup> è uno strumento di simulazione disponibile gratuitamente on-line che consente di valutare il comportamento di sistemi di involucro edilizio anche complessi.

Definendo un set di parametri e condizioni d'uso, un progettista può simulare in tempo reale i fabbisogni energetici (per riscaldamento, raffrescamento, ed illuminazione artificiale) ed i livelli di comfort (illuminazione naturale e temperatura degli ambienti) di un progetto. Tale simulazione consente all'utente di esaminare preventivamente le prestazioni di un sistema di involucro in modo semplice, e confrontando alcuni possibili scenari, differenziati per caratteristiche progettuali: si può subito valutare quanta energia può essere risparmiata modificando l'orientamento, le dimensioni o lo spessore o l'altezza di un edificio, o scegliendo vari tipi di finestre o di isolamento per le parti opache.

Richiedendo solo informazioni generiche, l'utente può rapidamente simulare e comparare alcune opzioni di base prima di procedere nel progetto di dettaglio dell'edificio.

Il software procede per una serie di input: Collocazione geografica, orientamento, numero di piani, dimensione media di una stanza-tipo, dimensioni della finestra, tipo di isolante termico impiegato, tipo di vetro ed eventuale sistema di schermatura solare, tipo di impianti di riscaldamento o di ventilazione, tipo di illuminazione desiderata e livelli di illuminazione desiderati. (nel caso non si conoscano tutti i dettagli, vengono forniti dal software gli standard richiesti da normativa).

La combinazione di input viene salvata come uno "scenario", e, in pochi secondi, è possibile vedere i risultati di vari indici per descrivere il comportamento energetico dell'edificio: gli output sono i grafici dei consumi energetici (mese per mese o annuali) per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione. Un'immagine simula l'illuminazione naturale all'interno della stanza-tipo (per valutare l'incidenza della luce su muri, pavimento o soffitto, nelle varie stagioni, e nei diversi giorni, con o senza elementi oscuranti. Un'altra rappresentazione grafica mostra i livelli di comfort nelle varie parti della stanza-tipo. In un'altra schermata, inoltre, il Design Advisor consente di confrontare in tempo reale i risultati delle simulazioni condotte con le normative ASHRAE Standard 90.1-2001, ed il UK Building Code Part L. Se il risultato non è soddisfacente, è possibile tornare alla pagina iniziale, modificare una o più caratteristiche, e salvare la nuova configurazione come "scenario2", in modo da ottenere un nuovo set di risultati per la seconda ipotesi.

**Vantaggi:**

Accessibilità e semplicità di utilizzo; inoltre, è molto utile e chiaro

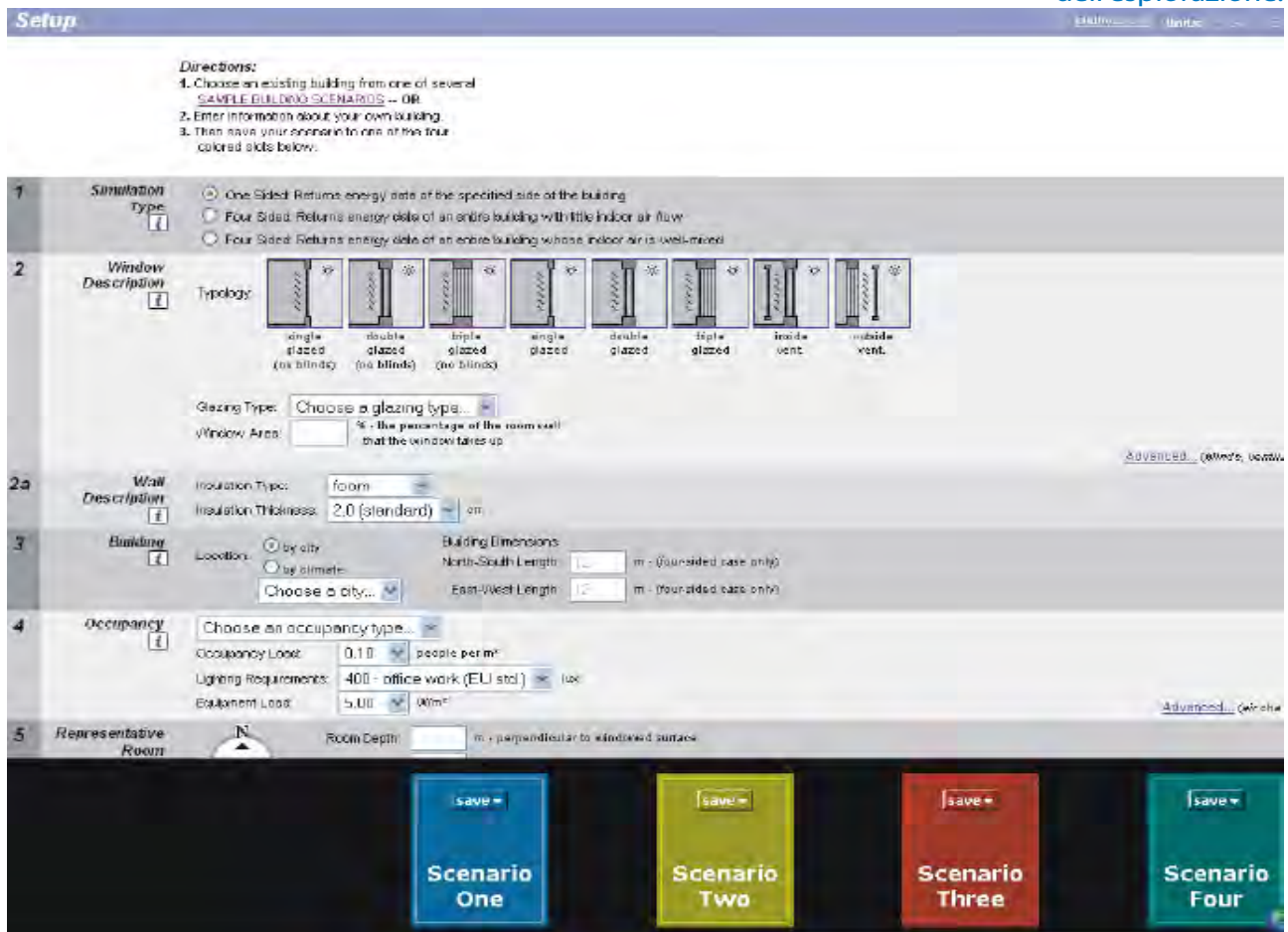


il riscontro con le normative: riscontro che avviene tabulando graficamente il comportamento simulato e quello richiesto, per i singoli aspetti del consumo di energia primaria (riscaldamento, raffrescamento, ed illuminazione artificiale).

Rispetto ai tradizionali modelli di simulazione preventiva, Il Design Advisor offre diverse possibilità di input, come ad esempio la possibilità di valutare le facciate a doppia pelle, o come l'opzione di sistemi di ventilazione ibridi; inoltre, *“il carattere “aperto” del software consente di contattare gli sviluppatori del software per esprimere pareri e suggerimenti”<sup>107</sup>*.

Svantaggi

Figura 8.13:  
Interfaccia principale del MIT Design Advisor. Si possono immettere dati progettuali di diverso tipo, e poi salvare le configurazioni come “scenari” da confrontare alla fine dell'esplorazione.



Il Design Advisor permette all'utente di simulare una singola facciata di un edificio o un edificio intero di Quattro lati, ma, in questo caso, il Design Advisor considera identiche le caratteristiche di tutti e quattro i lati (caso quasi mai presente nella realtà). Il dipartimento di Building Technology del Mit sta sviluppando un sistema per migliorare questo aspetto, ma, allo stato attuale, rappresenta un grosso limite.

Inoltre, non consente la valutazione di geometrie articolate

In alcuni scritti del responsabile di questo progetto, si ha qualche traccia degli algoritmi che strutturano il software, ma non si hanno complete informazioni della struttura del programma, anche se non sfugge la stretta somiglianza con il metodo LT (il cui sviluppatore ha collaborato al Design Advisor).

### 8.7.2 Il Building Design Advisor

Sviluppato dal dipartimento di Building Technology del Lawrence Berkeley National Laboratory, con il contributo dell' U.S. Department of Energy, Il Building Design Advisor (BDA)<sup>108</sup> è un software che supporta l'impiego contemporaneo ed integrato di diversi database e strumenti di simulazione, attraverso un'unica rappresentazione dei componenti e dei sistemi dell'edificio. Il BDA è basato su una teoria unificata di progetto, in base alla quale agisce come gestore dei dati e dei processi, permettendo ai progettisti di utilizzare molteplici tipi di analisi e visualizzazione attraverso il processo di progettazione di un edificio. Il BDA ha un'interfaccia grafica semplice, basato su due elementi principali: il Building Browser ed il Decision Desktop. Attraverso questi due strumenti, è possibile inserire input quali i Building Objects( ad esempio pareti, o spazi vuoti), le relazioni tra le parti (ad esempio fronteggiare, o essere allineato), proprietà che descrivono gli oggetti( ad esempio l'altezza, o la Trasmissanza), le Unità di misura delle varie proprietà(ad esempio piedi, cm, °C, °F), ed è possibile scegliere, come plug-in, i programmi con i quali effettuare le valutazioni delle prestazioni energetiche.

Attraverso uno Schematic Graphic Editor è possibile inserire facilmente un gran numero di caratteristiche geometriche, anche complesse, che, naturalmente, possono essere modificate nelle varie fasi dell'analisi. Il BDA interagisce con programmi complessi di Lighting (il DOE-2, per l'analisi energetica e RADIANCE, per la simulazione dell'illuminazione naturale ed i rendering che la simulano). Si stanno attualmente sviluppando nuove possibilità per

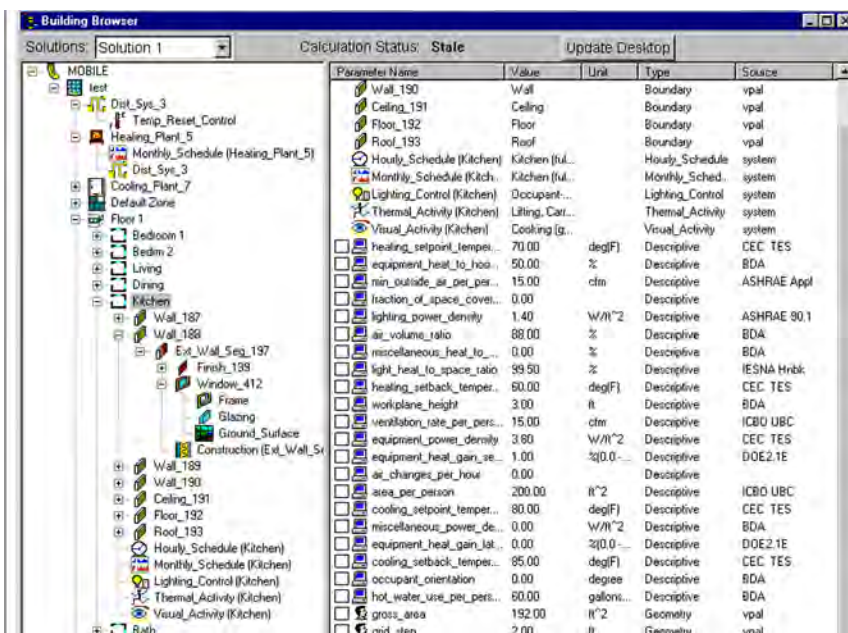


Figura 8.14:

Il BDA è strutturato come un programma-base di tipo *open source*, in cui interagiscono diversi sottomodelli. questa struttura è gestita dal browser

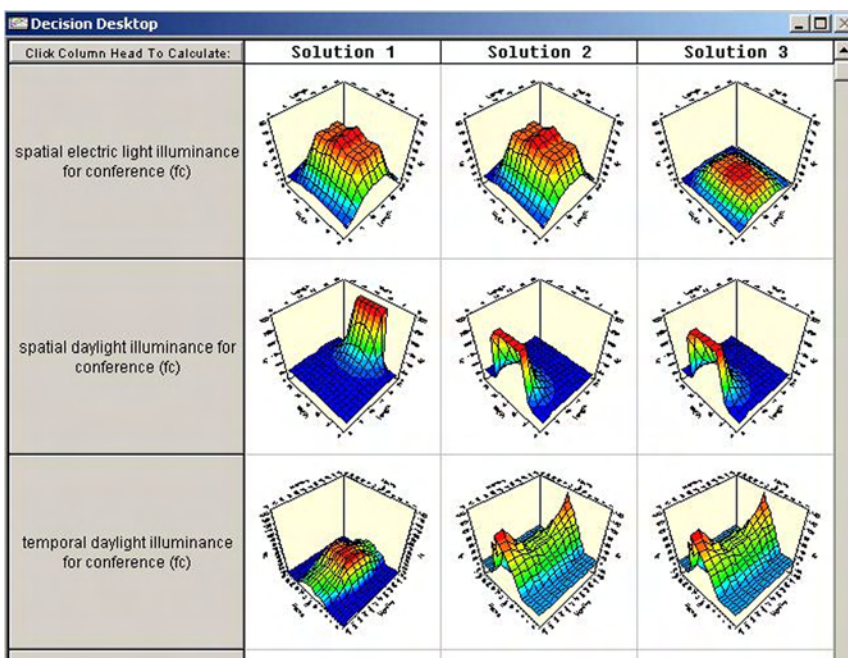


Figura 8.15:

alcuni dei molti possibili output del modello. Come si può vedere, il BDA raggiunge ottimi livelli di analisi e valutazione, ma a prezzo di un utilizzo molto meno snello del modello, richiedendo una grande quantità di dati di immissione e una certa dimistichessa con il software.

integrare programmi di stima dei costi, di importazione di modelli CAD e di integrazione da cataloghi di prodotti elettronici.

Vantaggi:

molto dettagliato nell'accettare con una certa precisione la geometria dell'ambiente che si intende simulare, è molto preciso anche nel fornire le zone di comfort o discomfort all'interno degli stessi ambienti, per consentire una progettazione più accurata dei materiali di rivestimento, o della disposizione di finestre e bucatore

Svantaggi

Non è un software di immediata accessibilità, richiede un certo impegno ed una conoscenza almeno elementare di alcuni dei programmi plug-in che supporta.

A mio vedere, inoltre, la grande precisione di previsione dell'ambiente interno è stata sviluppata a discapito di valutazioni che comprendano l'intorno anche urbano dell'edificio che si intende simulare.

Inoltre, è un software di cui non sono accessibili gli algoritmi né gli strumenti di valutazione e/o correzione dei dati.

### 8.7.3 Il metodo LT

La prima edizione del metodo LT (LT 1.0) risale al 1994, risultato di uno studio condotto a Cambridge e Dublino per conto della Comunità Europea. Dato il successo e la semplicità d'uso, è stato poi migliorato ed approfondito in versioni successive. Le versioni a cui si fa qui riferimento sono la LT 3.0, del 1998, e LT 4, del 2001, ed è in fase di chiusura una nuova versione molto più aggiornata che verrà integrata in un software più ampio, l'IBDS (vedi par. 8.3, figura 8.1). Il metodo LT (Light and Thermal) è uno strumento semplificato di simulazione del comportamento energetico di un edificio, grazie al quale un progettista può prevedere i consumi energetici di un edificio nelle fasi iniziali del progetto. Il metodo fino alla versione qui considerata era disponibile sia in versione manuale che come foglio di calcolo, e dalle versioni successive si è trasformato in un software di semplice utilizzo che ha molto migliorato le sue prestazioni. (per fare una stima grossolana, la versione qui considerata ha sostanzialmente 12 possibili variabili di immissione; il modello attuale ne ha 32). Essendo stato sviluppato molto tempo fa, con caratteristiche di grande snellezza e facilità di





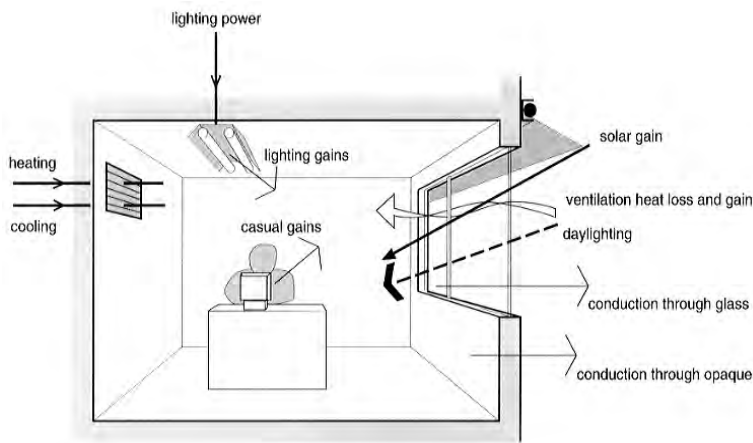


Figura 8.18: Schema dei dati considerati dal modello

sud, Est, Ovest, e valutati anche per la copertura), al variare della percentuale di vetratura.

Il modello matematico che sta alla base del metodo LT tiene conto di circa 30 parametri, la maggior parte dei quali è fissata, al fine di poter valutare le ricadute energetiche al variare dei soli parametri che possono rappresentare delle scelte compiute in una fase molto precoce del progetto architettonico, e che hanno una influenza sensibile nel bilancio energetico.

Tali parametri, che ruotano intorno alla dimensione degli elementi vetrati legati all'involucro, sono:

- le condizioni climatiche
- orientamento e tipo di superfici finestrate
- ostruzione dovuta ad edifici adiacenti
- presenza di elementi schermanti, valutati come fattore di correzione percentuale.

Il metodo differenzia un certo numero di contesti climatici in Europa, secondo un criterio che incrocia dati relativi alla media mensile della temperatura nella stagione calda e fredda, la media mensile della temperatura nella stagione calda e fredda, la media mensile della radiazione globale nelle due stagioni e la lunghezza del giorno medio di dicembre.

Uso del metodo LT

La prima operazione è la scelta del contesto climatico, individuato dal metodo, che risulta più vicino alle condizioni locali; ciò già corrisponde a selezionare la serie di curve tracciate per tali condizioni. Il metodo ruota intorno all'uso di queste curve: ogni metro quadro di superficie interna ha un comportamento energetico descritto dalle curve. Esse sono differenziate per esposizione e danno il consumo di energia unitario al variare della percentuale della superficie vetrata. Ciò richiede di individuare in pianta le superfici che hanno il comportamento energetico descritto dalle curve. In altre parole le superfici che sono influenzate dall'esposizione e dall'apertura dell'involucro. Per questo si scompone la pianta dell'edificio in zone passive e zone non passive. Le zone passive, definite dall'orientamento, beneficiano della luminosità diurna, della ventilazione naturale e dei guadagni solari per il riscaldamento in inverno, mentre i guadagni solari in estate possono provocare problemi di surriscaldamento. Le zone non passive devono servirsi di illuminazione artificiale, di ventilazione meccanica ed in molti

casi, per evitare fenomeni di surriscaldamento dovuti ai guadagni interni, devono ricorrere al condizionamento dell'aria. Nel metodo, le zone passive sono individuate dalla fascia perimetrale dell'edificio che hanno profondità doppia rispetto all'altezza dei locali fino ad un massimo di sei metri. Ciascuna zona passiva interagisce con le condizioni esterne in ragione dell'orientamento prevalente. Dopo aver stabilito le zone passive, si calcola, per ogni fronte dell'edificio in progetto, la percentuale di metratura, indicata come il rapporto tra l'area vetrata ( si considera l'intera bucatatura, essendo già compreso, nelle curve LT, un fattore di correzione per la presenza di infissi) e l'area totale della facciata. Inseriti questi dati nel foglio di calcolo, si può poi procedere ricavando, sulla curva LT corrispondente, il consumo annuo specifico di energia primaria per ogni zona passiva, ed è possibile sia una valutazione sintetica, che fornisce direttamente l'energia totale, sia le singole voci in cui può essere scomposto il fabbisogno energetico totale: ovvero l'illuminazione, il riscaldamento ed il raffrescamento. Nella versione LT 3.0 sono stati introdotti dei fattori correttivi per comprendere la presenza di eventuali elementi schermanti, divise in tre grandi gruppi e stimate come un fattore riduttivo percentuale dell'area vetrata. Il principio è il seguente: schermature di tipo B, con un coefficiente di schermatura del 35% producono lo stesso effetto sull'illuminamento naturale che se l'area vetrata fosse ridotta del 35%.

E' poi possibile valutare un fattore di ostruzione dovuta ad edifici circostanti, da inserire nel foglio di lavoro come un ulteriore fattore riduttivo; raccolti questi dati, è possibile procedere alla stima del consumo energetico medio annuo stimato, sia nelle sue singole voci, sia nella sua valutazione globale.

Vantaggi:

il metodo LT è un metodo di lavoro molto veloce e semplice da utilizzare; è immediatamente visualizzabile, nelle curve LT, l'influenza del parametro della percentuale di metratura; inoltre, seppure in maniera molto sintetica (e cioè, di fatto, procedendo per correzioni percentuali), tiene conto di una soddisfacente molteplicità di aspetti ed implicazioni del progetto: sia per quanto riguarda l'intorno urbano, sia per quanto riguarda l'edificio in sé, ed in modo particolare, l'involucro.

Svantaggi:

Il modello matematico che sottende la preparazione dei diagrammi non è disponibile

La suddivisione in zone climatiche nella versione considerata appare molto schematica (è stata successivamente migliorata)

Il modello non comprende un confronto con gli standard (come fa, invece, il MIT Design Advisor)

Il contributo termico della parte opaca dell'involucro non è quasi considerato (cosa superata nelle versioni successive)

Per quanto riguarda l'oggetto di questa ricerca, inoltre, la suddivisione degli elementi schermanti appare molto grossolana e non tiene conto di un certo numero di considerazioni che verranno di seguito esaminate

### **8.8 Scelta del modello di riferimento**

Dall'analisi effettuata, ritengo che il metodo LT possa essere preso come riferimento per la costruzione di un modello semplificato di supporto alla progettazione per una serie di considerazioni.

Innanzitutto, fornisce dati con la completezza necessaria per orientare un progettista nella fase progettuale: si tratta, certo, di valutazioni estremamente sintetiche ma proprio per questo utili perché forniscono feedback immediati per tutte le variabili progettuali.

Il metodo LT permette di valutare i consumi energetici per l'illuminazione, il riscaldamento e il condizionamento di un edificio, in funzione della sua localizzazione e dell'ambiente, dell'organizzazione planimetrica e concettuale, attraverso i controlli sull'esposizione, conformazione e qualità delle pareti e del tetto. Con un semplice calcolo si conosce quanta energia si consumerà per superficie costruita, nei suoi due aspetti di consumo per l'illuminazione e di consumo per il condizionamento degli ambienti. Tali indici sono molto utili in operazioni di raffronto tra soluzioni alternative, in uno schema ideale di progettazione supportata da modelli, ma non ingolfata da troppi dati di difficile comprensione.

Inoltre, il modello LT è nato per valutare il comportamento passivo di un edificio al variare di alcune variabili progettuali, tra cui la più importante è senza dubbio la percentuale di vetratura per ogni fronte. Così impostato, il modello LT si presta molto meglio degli altri a verificare l'impiego di elementi schermanti in aderenza, quali si vuol considerare gli strati funzionalizzati, poiché, rispetto agli altri modelli semplificati, concentra sul guadagno solare diretto l'aspetto



energetico su cui valutare il comportamento dell'intero edificio, in modo che assumano particolare rilevanza tutti i dispositivi che ne regolano il flusso. Inoltre, la scomposizione dei consumi nelle voci riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, dà un'immagine sintetica di dell'importanza relativa dei tre aspetti.

Il metodo può essere applicato alle tipologie edilizie di uffici, residenze plurifamiliari e strutture leggere per l'industria.

Data, infine, la sua struttura operativa, è possibile con un certo impegno ricostruirne la struttura, considerarlo un open source ed implementarne alcune parti. Caratteristica, questa, piuttosto importante, poichè nei modelli forniti sotto forma di software non è possibile risalire alle interazioni del modello (di solito descritte da script in vari linguaggi di programmazione).

Ultimo aspetto importante: questa versione di LT, pur essendo più vecchia dell'ultima disponibile, è stata totalmente recepita dalle versioni successive, che ne hanno implementato i sotto-modelli mantenendo intatta la struttura logica del modello. Ciò vuol dire che, operando su questa versione, si rimarrà comunque all'interno della logica che ha regolato gli sviluppi successivi. Questo aspetto è emerso con chiarezza durante il confronto con gli autori del modello LT: pur essendo molto evoluto, tutte le considerazioni fatte sono risultate integrabili nella nuova versione del modello.

#### Limiti ed applicabilità

Il metodo LT è uno strumento per un progetto energetico preliminare ed è importante comprenderne i limiti di applicazione:

- Il metodo LT non è un metodo preciso, e dovrebbe essere usato per testare le prestazioni relative ad una serie di opzioni progettuali. In tal senso, la precisione del dato reale è molto meno importante della tendenza mostrata con la comparazione con altri dati risultanti dal modello. Bisogna però tenere molto ben presente questo limite operativo: al passaggio da una fase progettuale strategica, ad una di dettaglio, le previsioni del modello LT non sono più accettabili, ed avranno una soglia di errore molto alta).
- I dati forniti sono stimati peggiorando notevolmente le previsioni. Questo, per rendere evidenti le possibilità esplorative del modello stesso (i dati sono peggiorativi, e forniscono stime piuttosto alte, ma accertato questo, è molto evidente il cambiamento dei risultati per le diverse configurazioni)

- Come metodo manuale, sono richiesti come input solo pochi parametri progettuali. Un numero di parametri molto più grande è già stato dato per assunto, e in alcuni casi rappresenta il caso “a regola d’arte” dal punto di vista della progettazione a basso impatto energetico.
- Il metodo prevede la prestazione potenziale dell’edificio, assumendo che sia gli impianti che gli occupanti funzionino in modo ottimale. Ciò allo scopo di concentrarsi sui parametri progettuali dell’edificio.
- Segue che una comparazione diretta della prestazione energetica calcolata dall’LT con quella rilevata in un edificio reale non è completamente affidabile, a meno che non si sappia che i parametri assunti a priori dal metodo LT corrispondano esattamente alle condizioni reali.
- L’output del metodo è il consumo medio annuale di energia primaria per metro quadrato di superficie. L’energia primaria ha ripercussioni sia sul costo che nell’impatto ambientale. I dati energetici e gli obiettivi energetici sono di solito riferiti alle unità erogate. Questo è da tenere in mente nel confronto con gli output del metodo LT.
- Nell’impiego del metodo LT, emergono alcune configurazioni ottimali. Ad esempio, una forma libera poco profonda, con circa il 35 % di percentuale di vetratura sui fronti e nessun elemento schermante parallelo alla facciata impiegherà generalmente meno energia. Comunque, il metodo è utile per accertarsi di performance di progetti non ottimali in caso di vincoli o obiettivi progettuali particolari.
- Il metodo LT non è stato validato rigorosamente in termini strettamente quantitativi, quando le previsioni sono state confrontate con i dati rilevati dal vero. Ciò è in larga parte dovuto ai fattori sopra menzionati, ovvero alla divergenza tra i parametri assunti (e non modificabili) dal sistema, ed le configurazioni (differenti) della realtà. Comunque, l’uso di uno strumento semplificato ha già conquistato fiducia, per il fatto che non ha portato a progetti che negassero quanto validato in termini di previsione energetica. Tuttavia, i risultati vanno usati nei termini che si è fin qui illustrato.
- Un’analisi con il metodo LT non è sufficiente per assicurare un buon progetto energetico, ma è necessario per formare una parte dello spettro di metodi analitici ed informazioni prescrittive per supportare il progettista nelle varie fasi della progettazione.

Collocazione geografica	Europa del sud
Orientamento	Sud, Est, Ovest, Nord, Orizzontale
Altezza della stanza	3 m
Percentuale di vetratura	0-100%
Tipo di vetro	Doppio (vetrocamera)
Altezza del piano di lavoro	0.9 m
Riflettanza	soffitto 0.7, parete 0.5, pavimento 0.25
Valori U	external wall 0.6, roof 0.6, window 2.85
Soglia per il riscaldamento	19°C
Soglia per il raffrescamento	24°C

Figura 8.19

Potremmo dire che, all'aumentare della complessità del progetto, nelle fasi di progetto di preliminare, definitivo ed esecutivo, si rendono necessari strumenti adeguati all'aumento dei dati necessari. In questo quadro, il metodo LT intende rivolgersi esclusivamente alla fase preliminare di progetto.

### 8.9 I dati del modello LT (parametri non-modificabili del modello)

Nel metodo LT, il consumo energetico viene letto da grafici, poi inseriti nel foglio di lavoro. Questi grafici, le curve LT, sono derivate da un modello matematico implementato sul computer (sviluppato e scritto da Nick Baker, con importanti contributi di David Hoch e Koen Steemers, al Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge). I flussi simulati sono espressi in figura ... Innanzitutto il modello valuta la trasmissione di calore attraverso l'involucro dell'edificio e le perdite (o i guadagni) per ventilazione. Utilizzando le temperature medie mensili, ed una temperatura media interna con un fattore di correzione che tenga conto dell'intermittenza di funzionamento, si può calcolare un carico termico mensile complessivo. Successivamente il modello valuta i guadagni solari e applica ad essi un fattore di utilizzazione; esso tiene conto del fatto che non tutti i guadagni solari contribuiscono a ridurre il riscaldamento ausiliario.

Contemporaneamente si calcolano le ore mensili di luminosità diurna utile in funzione dell'illuminamento orario medio sulla facciata, del fattore di luminosità diurna e dei valori di illuminamento interno di riferimento. Tutto ciò permette di calcolare il consumo mensile di energia elettrica dovuto all'illuminazione artificiale ed il guadagno mensile in energia termica. I guadagni termici dovuti all'illuminazione ed alla radiazione solare, uniti al guadagno casuale dovuto alle persone ed alle apparecchiature, vengono poi sottratti dal carico totale per stabilire il carico netto per il riscaldamento. Quando i guadagni superano la quantità di calore totale, allora il carico netto è nullo. Per soluzioni con aria condizionata occorre valutare i carichi termici per il raffrescamento. Se i guadagni sono sufficienti ad innalzare la temperatura media al di sopra della temperatura di set point per il raffrescamento, allora sorge un carico per raffrescamento. Questo si somma ad una domanda fissa di energia per il funzionamento di pompe e ventilatori.

Da notare che il modello simula un interruttore fotosensibile, cioè che le luci siano accese solo quando il valore di luminosità diurna

Figura 8.19:  
 elenco dei dati non modificabili considerati nella versione considerata.  
 Questi dati sono stati molto migliorati nella versione che si sta attualmente sviluppando a Cambridge.

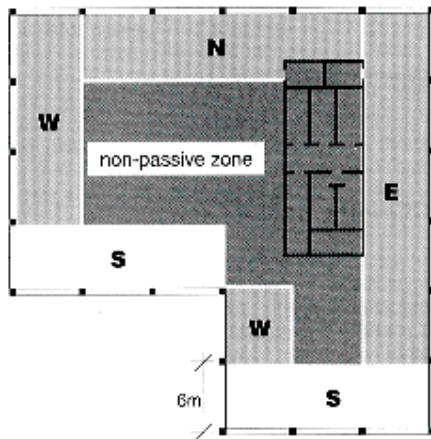


Figura 8.20

Figura 8.20:

le zone passive in una pianta tipo.

Le zone passive, definite in base all'orientamento, beneficiano della luminosità diurna, della ventilazione naturale, dei guadagni solari per il riscaldamento in inverno, mentre i guadagni solari in estate possono provocare problemi di surriscaldamento.

Le zone non passive devono invece servirsi di illuminazione artificiale, di ventilazione meccanica ed in molti casi, per evitare fenomeni di surriscaldamento dovuti ai guadagni interni, devono ricorrere al condizionamento dell'aria..

scende sotto il valore di riferimento. In pratica, ciò avviene solo con l'uso di interruttori fotosensibili. Quindi il modello presuppone in un certo senso una qualità già elevata di progetto, e stima una prestazione tecnica potenziale, piuttosto che l'effettiva prestazione che verrebbe probabilmente riscontrata in un edificio senza automatismi. Il consumo mensile di energia viene calcolato per una cellula, profondità fissa di 6 metri (come la profondità della zona passiva), e di lunghezza unitaria nel senso della facciata, per un'altezza media del locale di 3 metri, e quindi riportato a valori di consumo specifico ( $\text{kWh/m}^2$ ). Si calcola il valore annuo di questo parametro e lo si diagramma in funzione del rapporto di vetratura. Una cellula corrisponde ad una stanza circondata da altre stanze. Questo significa perdite nulle attraverso tutte le superfici eccetto la parete (finestra) esterna, o in caso di lucernari, la copertura. Si tiene poi conto delle efficienze di conversione energetiche per trasformare i dati di energia termica in energia primaria.

### 8.10 Le variabili progettuali nel modello LT (variabili di immissione)

Il modello LT parte dal presupposto di valutare l'interazione di alcuni parametri iniziali di progetto con il consumo energetico globale dell'edificio.

Si parte da una considerazione semplice: il consumo di energia elettrica per l'illuminazione e la circolazione dell'aria rappresenta di solito il maggiore consumo energetico per gli edifici, e questo consumo si concentra nelle zone lontane dal perimetro dell'edificio, che andrebbero pertanto ridotte al minimo. Il metodo LT si occupa della definizione progettuale e della massimizzazione delle zone perimetrali, o zone passive, dell'edificio, e consente di stimare i consumi energetici di diverse soluzioni.

Il metodo LT si basa su prestazioni energetiche ricavate da un modello matematico complesso (i dati del modello), dati come parametri non modificabili, ma il progettista che voglia impiegarlo può agire solo su alcune variabili-chiave, riferite perlopiù alla forma dell'edificio e al disegno e progettazione degli involucri.

Le variabili sono in sintesi riconducibili a:

1. Condizioni climatiche locali (le zone climatiche)
2. Orientamento delle facciate
3. Superficie e tipo di vetratura



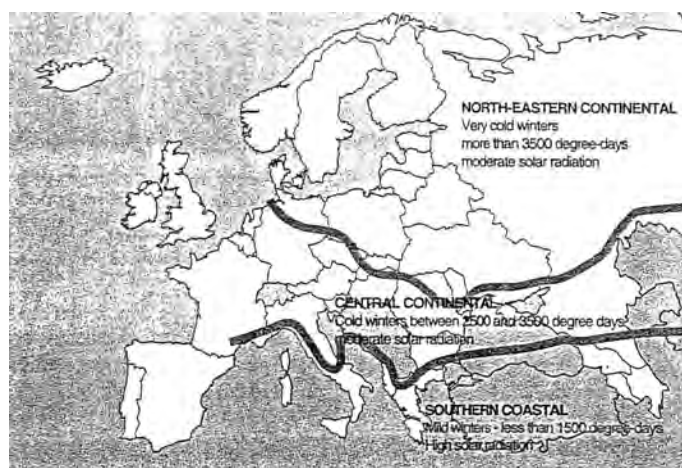


Figura 8.21

4. Fattore di ostruzione urbana
5. Impiego di sistemi di ombreggiamento
6. Guadagni interni

#### 8.10.1 Zone climatiche:

Il modello è costruito in modo che la prima scelta da fare sia rispetto alla zona climatica. Prendendo a riferimento una mappa estremamente semplificata, bisogna individuare dove si colloca l'edificio di interesse.

Le zone climatiche non possono essere definite sulla base di precisi confini geografici. Il metodo LT è influenzato dalla temperatura, dalla radiazione solare e dalla luminanza del cielo. Per aree comprese tra le latitudini 37°N e 47°N, la durata del giorno non varia molto. La radiazione solare varia localmente, ma generalmente entro intervalli del 20%. La temperatura rimane quindi il più significativo parametro climatico.

Due zone principali vengono definite dalle temperature medie mensili:

zona 1 – inferiore ai 6°C in Gennaio, inferiore ai 24°C in Luglio

zona 2 – superiore ai 6°C in Gennaio, superiore ai 24°C in luglio.

A questa seconda fascia corrispondono quasi 2/3 delle località nel Sud-Europa, tuttavia, un grande numero di siti registrano temperature invernali più alte e temperature invernali più basse o viceversa. In linea di massima, ad altezze di più di 750m dal livello del mare, si può far riferimento alla curva corrispondente alla zona più fredda.

Il modello, dunque, assume tra i suoi parametri non-modificabili almeno due set di dati (in una precedente versione, la 1.2, se ne contano 4), corrispondenti alle zone climatiche, tra cui scegliere.

#### 8.10.2 Orientamento delle facciate

La definizione dell'orientamento dell'edificio, e dunque l'esposizione delle sue facciate, definisce un aspetto fondamentale: il suo comportamento passivo. Le zone passive beneficiano della luminosità diurna, della ventilazione naturale e dei guadagni solari per il riscaldamento in inverno, mentre i guadagni solari in estate possono provocare problemi di surriscaldamento. Le zone non

Figura 8.21:

Il metodo LT è influenzato dalla temperatura, dalla radiazione solare e dalla luminanza del cielo: vengono definite due zone principali in base alle temperature medie mensili.

Inoltre, ad altezze di più di 750m dal livello del mare, si può far riferimento alla curva corrispondente alla zona più fredda.

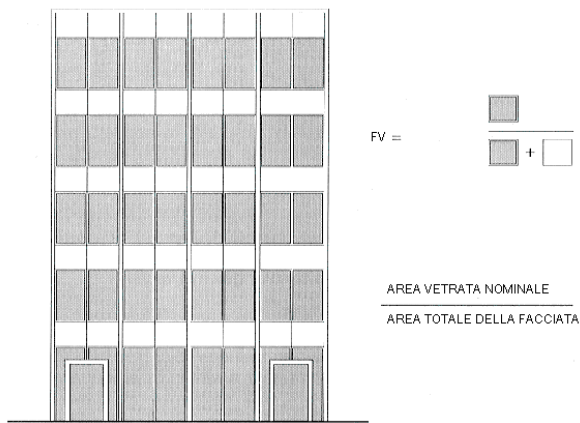


Figura 8.22

**Figura 8.22:**

**Il rapporto di vetratura costituisce di fatto la più importante variabile progettuale di immissione nel modello.**

**E' definito come il rapporto tra la superficie realmente trasparente dell'involucro e l'areta totale della facciata.**

passive devono servirsi di illuminazione artificiale, di ventilazione meccanica ed in molti casi, per evitare fenomeni di surriscaldamento, ricorrere al condizionamento dell'aria. Il primo passo da fare, manualmente, sulla pianta dell'edificio, è di individuare le zone passive e non passive per ogni orientamento.

La profondità della zona passiva deve essere limitata al doppio dell'altezza del soffitto, oppure si può assumere un valore di 6m. tutto l'ultimo piano può essere considerato una zona passiva se illuminato da lucernari in copertura. Si dovranno quindi calcolare in m<sup>2</sup> le aree delle zone per ogni esposizione, e queste andranno poi inserite nel foglio di lavoro.

### 8.10.3 Superficie e tipo di vetratura

La variabile su cui si rivolge l'aspetto principale del controllo del flusso termico-luminoso tra interno ed esterno è la quantità di aperture previste nell'involucro. Tale variabile viene espressa dal modello come rapporto di vetratura, ovvero il rapporto tra la superficie realmente trasparente dell'involucro e l'areta totale della facciata.

Il rapporto di vetratura costituisce di fatto la più importante variabile progettuale di immissione nel modello, perchè è attraverso questo dato che si ricavano i valori corrispondenti ai consumi energetici stimati (a loro volta organizzati nelle curveLT, ovvero tabelle precalcolate in regime dinamico, che vedremo più avanti)

Da notare che nelle curve del modello si tiene conto di una riduzione del 20% dovuta all'ostruzione di flusso di luce diurna dervante dalla presenza di telai ed elementi strutturali. Per questo, il massimo valore di vetratura sul grafico è 90%. Ciò avviene perché, anche quando una facciata è nominalmente tutta di vetro, circa il 10% è ostruito da parti strutturali delimitanti i piani. Tuttavia il 90% di rapporto di vetratura esterna corrisponderebbe al 100% nominale dello stesso rapporto visto dall'interno.

### 8.10.4 Fattore di ostruzione urbana

Le ostruzioni del contesto fisico che non rendono libero l'orizzonte e riducono gli apporti di energia legata all'illuminazione e al riscaldamento così come i carichi termici estivi dell'impianto di condizionamento, vengono valutate a partire dall'angolo di elevazione dell'ostruzione (UHA, Urban Horizon Angle). Questo

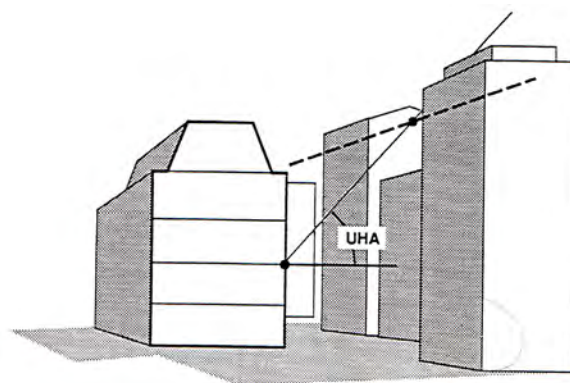


Figura 8.23:

fattore è indicato tracciando un angolo ideale tra il centro della facciata alla sommità dell'edificio adiacente, come indicato in figura.

Per valori di UHA < 15° l'ostruzione può ritenersi trascurabile

Per valori 15° < UHA < 45° è necessario considerare il fattore correttivo

Per UHA > 45° l'ostruzione è molto seria e va necessariamente considerata

I valori di UHA si inseriscono in una tabella, costruita per una specifica zona climatica, che permette di calcolare un fattore correttivo dei consumi riportati nelle curve una volta definito l'angolo di ostruzione e la percentuale di apertura prevista.

Questo fattore, presente nella prima edizione del metodo LT(LT 1.2, del 1994), è sparita nelle ultime due versioni (LT

Figura 8.23:  
Le ostruzioni del contesto fisico che riducono gli apporti di energia legata all'illuminazione e al riscaldamento vengono valutate a partire dall'angolo di elevazione dell'ostruzione (UHA, Urban Horizon Angle).

orientation	UHA deg.	glazing ratio %	correction factors		
			lighting	heating	cooling
north	15 - 45	15.0	1.2	1.0	1.3
		30.0	1.3	1.0	0.9
		45.0	1.4	1.0	0.9
		60.0	1.4	1.0	0.8
	> 45	15.0	1.3	1.0	1.1
		30.0	1.6	1.0	0.8
45.0		2.0	1.0	0.7	
east/west	15 - 45	15.0	1.3	1.0	1.2
		30.0	1.3	1.0	0.9
		45.0	1.3	1.1	0.9
		60.0	1.4	1.1	0.8
	> 45	15.0	1.3	1.1	1.1
		30.0	1.6	1.1	0.8
45.0		2.0	1.1	0.7	
south	15 - 45	15.0	1.3	1.1	1.2
		30.0	1.3	1.2	0.9
		45.0	1.3	1.3	0.8
		60.0	1.3	1.4	0.8
	> 45	15.0	1.3	1.2	1.1
		30.0	1.7	1.3	0.8
45.0		2.0	1.5	0.6	
		60.0	2.1	1.6	0.5

Figura 8.24:  
La tabella indica i fattori correttivi da inserire nel foglio di calcolo. Tali fattori influiranno sul calcolo della previsione dei consumi energetici annui.

Tipo	Trasmissione	Illuminazione	Riscaldamento	Raffrescamento
A <sub>1</sub>	100%	Nessun effetto	Nessun effetto	Si legga dalla curva con ombreggiamento
A <sub>2</sub>	70%	Nessun effetto	Nessun effetto	Si legga dalla curva con ombreggiamento
B	35%	Si leggano sulla curva i valori in corrispondenza del rapporto di vetratura ridotto	Per facciata a sud, si legga curva est/ovest (ombreggiamento leggero) e dalla curva nord (ombreggiamento pesante) Per facciate ad est/ovest, si legga sempre dalla curva nord	Si legga dalla curva con ombreggiamento

Figura 8.25:

**Figura 8.25:**

Effetto dei diversi tipi di schermatura: essi influiscono in diversa misura sui consumi per illuminazione, riscaldamento e raffrescamento.

I fattori di correzione influiscono naturalmente nel calcolo dei consumi energetici previsti.

3.0, del 1998, e LT 4, del 2001), cui si fa riferimento in questa ricerca, per ricomparire infine nella versione attualmente in fase di completamento a Cambridge. Ritenendola invece di grande interesse, soprattutto per l'applicazione in contesti urbani, si terrà in conto nello sviluppo del modello implementato).

Una volta individuato dunque il fattore di ostruzione urbana UHA per ogni fronte, si leggeranno sulla tabella i relativi fattori correttivi, da inserire nel foglio di lavoro e da considerare poi nei calcoli di previsione dei consumi energetici annui.

### 8.10.5 Impiego di sistemi di ombreggiamento

Poiché la percentuale di superficie vetrata per ogni fronte è la principale variabile legata alla trasmissione del flusso luminoso, assumono particolare importanza le schermature poste per regolare tale flusso. Il metodo LT prevede tre tipi di schermature:

**A1** : Schermature mobili che vengono inserite solo in presenza di carichi termici di raffrescamento. Questo tipo di schermature riduce solo i carichi termici di raffrescamento. Ciò si basa sull'assunto che quando il dispositivo di schermatura è dispiegato, il contributo di luce naturale è sufficiente a mantenere livelli di luminosità accettabili (quindi ciò non implica un maggior consumo di energia per l'illuminazione ed il riscaldamento)

**A2** : Schermature fisse concepite in tal modo da non ridurre la disponibilità di luminosità diurna in profondità di pianta e da consentire guadagni termici solari utili in inverno. In questo tipo di schermature la geometria stessa del sistema di schermatura aiuta la redistribuzione della luminosità diurna verso il fondo della stanza, ma respinge una larga frazione di radiazione diretta quando il sole d'estate è alto all'orizzonte. Non si ha un maggiore consumo di energia per l'illuminazione, ma si potrà determinare un lieve aumento di energia per il riscaldamento, dovuto al fatto che in inverno c'è una riduzione dei guadagni solari utili. Dispositivi di questo tipo sono: frangisole a lamelle riflettenti, scaffali di luce e così via.

**B** : Schermature fisse che riducono i guadagni solari in estate, la luminosità diurna ed i guadagni solari in inverno, secondo una frazione uguale e costante. Questo tipo di elementi schermanti incidono molto negativamente sul contributo di luce diurna dato che essa viene ridotta al pari dei guadagni solari.

Il principio con cui vengono introdotti i fattori di schermatura è



il rapporto di vetratura ridotto, che è uguale all'effettivo rapporto di vetratura per il coefficiente di trasmissione. Si può tenere conto di questi fattori correttivi nelle curve LT, ricavando l'energia per l'illuminazione dall'effettivo rapporto di vetratura. Per esempio, se una schermatura fissa di tipo 3 viene applicata ad una facciata con rapporto di vetratura 45%, si legga l'energia per l'illuminazione ricavandola dall'effettivo rapporto di vetratura di  $45\% \times 70\% = 34\%$ . L'aumento di consumo di energia elettrica per l'illuminazione potrà anche superare largamente la riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento. I dispositivi schermanti di tipo B influenzeranno anche la domanda di energia per il riscaldamento, poiché i guadagni termici solari utili vengono ridotti, senza tuttavia diminuire le elevate perdite attraverso le superfici trasparenti. Di ciò si

può tenere conto ricavando l'energia per il riscaldamento per una facciata a sud con schermature di tipo B dalla curva nord (con schermature estese) oppure dalla curva est/ovest (con schermature limitate). Analogamente si può trattare sempre una facciata est/ovest schermata con la curva riferita alla facciata nord. Questo principio è illustrato in tabella:

### 8.10.6 Il foglio di lavoro

The image shows a manual calculation sheet for LT (Lighting Transmission). It includes input fields for project details, climate zone, and building type. There are tables for inputting energy consumption data and a summary table (QUADRO RIASSUNTIVO) that calculates annual primary energy consumption and net CO2 emissions. The sheet also has a comments section and a final calculation field for the ratio of passive zone surface to total surface.

Figura 8.26:

Il foglio di calcolo LT nella versione manuale.

Data la semplicità delle operazioni, si possono prevedere approssimativamente i consumi energetici annui per ogni configurazione progettuale.

Questo metodo è piuttosto agile e può affiancare il progettista fin dalle primissime fasi del progetto, per questo motivo il metodo LT è tanto diffuso, soprattutto nel Regno Unito.

Per arrivare al risultato generale dei consumi, prima di tutto vanno considerati gli aspetti progettuali dell'edificio: poiché ogni modifica edificio avrà differenti immissioni e risultati, si dispone un foglio di calcolo per ogni ipotesi da considerare. Una volta annotati i dati geometrici relativi alla suddivisione della pianta in area passiva e non passiva e articolate le prime in funzione dell'esposizione prevalente, va compilato il foglio di lavoro, che riassume i dati progettuali relativi alle superfici, alla percentuale di superficie vetrata dell'involucro, al tipo di schermature., dopodiché è possibile leggere dalle curve LT i corrispondenti valori relativi ai consumi unitari, per le diverse voci : riscaldamento, illuminazione, ventilazione e raffrescamento, con il relativo indice di ostruzione urbana.

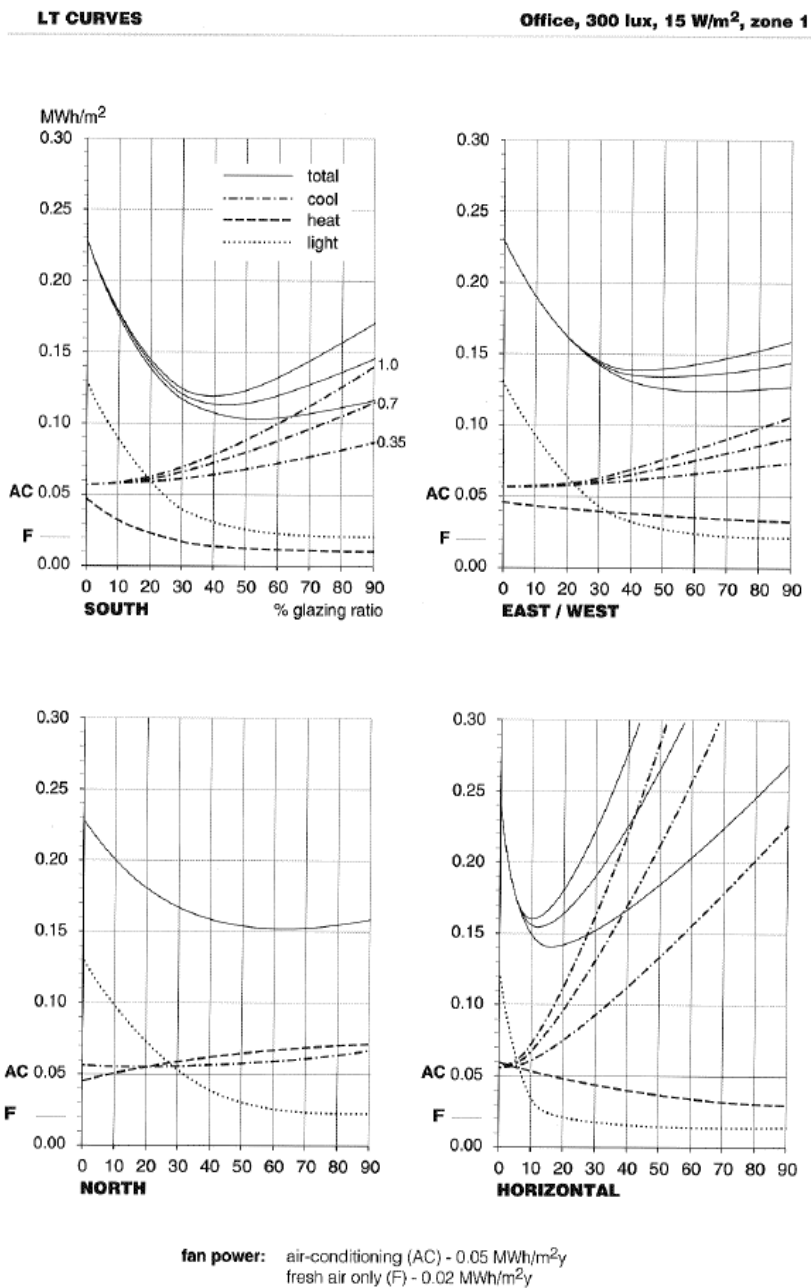
#### 8.10.7 Le curve LT

Le curve LT sono alla base dell'intero modello. E' previsto un set di curve per ogni zona climatica, ed inoltre, ogni set è diviso per tipologie edilizie: residenziale, terziario, commerciale. Ogni tipologia ha a sua volta quattro curve LT: una per ogni fronte (est/ovest, nord, sud, piano orizzontale), in cui sono descritti i consumi annui specifici (per unità di superficie calpestabile) in funzione dell'orientamento delle facciate. I grafici riportano sull'asse delle ascisse il rapporto di vetratura in valore percentuale (come indicato in par. 7.12.3), e sull'asse delle ordinate il consumo specifico annuo di energia primaria, espressa in MWh/m<sup>2</sup>.

Le curve riportate rappresentano l'energia primaria per illuminazione, riscaldamento, per la ventilazione e il raffrescamento e per l'energia totale.

Il modello impiegato per ricavare le curve valuta dunque in regime dinamico sia i flussi di energia associati alla domanda di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione, sia i flussi di energia dovuti alle perdite per trasmissione e per infiltrazioni, ai guadagni solari ed alla luce naturale utile, e tali valutazioni sono raccolte poi in questi grafici pre-calcolati.

Ogni sottoinsieme di curve ha tre curve di raffrescamento corrispondenti ai tre tipi di schermature indicati in par.7.12.5. La curva di raffrescamento tiene conto del possibile consumo di energia per la ventilazione e per il condizionamento. Il totale, senza raffrescamento, può essere utilizzato per indicare l'energia consumata in un edificio senza condizionamento d'aria e con ventilazione naturale. Tuttavia, si deve aggiungere una quota fissa



**Figura 8.27:**  
Le curve LT rappresentano, per ogni zona climatica e per ogni destinazione d'uso, l'energia primaria per illuminazione, riscaldamento, per la ventilazione e il raffrescamento espressi per i diversi fronti.

Leggendo sulle ascisse il rapporto di vetratura per ogni fronte, è possibile ricavare l'indice sintetico dei consumi energetici previsti.

Le curve LT, dunque, possono essere anche utilizzate come supporto al progetto, perchè osservandone i grafici prima di decidere le quantità di vetrate, sono già indicate le percentuali ottimali per la riduzione dei consumi.



Figura 8.28:

Figura 8.28:

La suddivisione in zone climatiche del modello LT nella versione considerata è evidentemente troppo generica.

In Figura 8.28 si mostrano le zone climatiche italiane secondo il DPR 412/93

Figura 8.29:

La suddivisione in zone climatiche nella nuova versione del modello LT in fase di completamento a Cambridge: si può notare come questo limite sia stato superato.

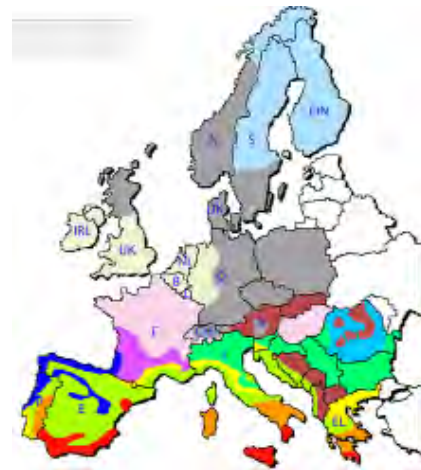


Figura 8.29:

di consumo per la ventilazione meccanica di tutte le zone non passive. Questo valore è presentato in fondo a ciascuno dei fogli contenenti i quattro grafici.

Le curve  $LT$ , dunque, possono essere anche utilizzate come supporto al progetto, perchè osservandone i grafici prima di decidere le quantità di vetrate, sono già indicate le percentuali ottimali per la riduzione dei consumi. Si può anche notare come al crescere di alcuni carichi, altri diminuiscano, e quindi orientarsi verso condizioni di equilibrio.

### 8.11 Cosa può essere migliorato

Sono molti gli aspetti per i quali il metodo  $LT$  potrebbe essere migliorato. Va infatti ricordato che in questi ultimi anni sono entrate in vigore un nutrito numero di leggi in materia di progettazione energetica degli edifici, che impone una serie di considerazioni:

1- Le zone climatiche, stabilite in modo più dettagliato dal DPR 412/93, dovrebbero diventare la base dati di riferimento

Le zone climatiche con una certa approssimazione potrebbero in realtà corrispondere a quanto previsto dal modello: si ricordi infatti che, ogni 750m di altezza dal livello del mare, si passava alla zona climatica successiva: questo potrebbe considerarsi un compromesso accettabile.

2- Le parti opache dell'involucro, sia vetricali che orizzontali, sono considerate tra i dati non modificabili del modello, e sono valutate per un valore di trasmittanza  $U$  pari a 0.6, corrispondente a pacchetti murari insufficienti, se paragonati alla normativa vigente:

Una possibile implementazione del modello potrebbe essere rappresentata dal rendere progettabile anche il pacchetto di chiusure opache dell'edificio da simulare. Di questo aspetto, però, non ci si occuperà nella presente ricerca.

3- Gli elementi schermanti. Poiché il metodo  $LT$  procede valutando l'apporto Termico e Luminoso attraverso gli elementi trasparenti, questi sono da considerarsi come la principale variabile del funzionamento energetico del modello. Per questo motivo il modello  $LT$  è stato scelto rispetto ad altri modelli esistenti, ed è questo l'aspetto che si vuole in particolare implementare. Se il rapporto di vetratura è la principale variabile che regola il flusso energetico tra interno ed esterno, assumono estrema importanza



gli elementi schermanti considerati.

Il modello LT, infatti, che è così sintetico per alcuni aspetti sopra menzionati, distingue ben tre tipi di elemento schermante.

Il metodo LT distingue le schermature in schermature limitate (tipoA) e schermature estese (tipoB).

Nel tipo di schermatura A sono comprese le schermature mobili che vengono inserite solo in presenza di carichi termici di raffrescamento, oppure schermature fisse concepite in modo da non ridurre la disponibilità luminosa diurna in profondità di pianta e da consentire guadagni termici solari utili in inverno.

Nel tipo di schermatura B sono comprese schermature fisse che riducono i guadagni solari in estate, la luminosità diurna ed i guadagni solari in inverno, secondo una frazione uguale e costante.

solo i carichi termici di raffrescamento, mentre esiste una componente di energia solare riflessa verso l'esterno che in regime invernale può portare ad un aumento del fabbisogno di energia per il riscaldamento.

Nella realtà, bisognerebbe fare una distinzione tra il contributo di trasmissione di energia solare, che influenza soprattutto l'aspetto termico del flusso di radiazione solare (ed ha quindi ripercussioni sul fabbisogno energetico di energia primaria per riscaldamento/raffrescamento), e la trasmissione luminosa visibile, che esprime invece l'aspetto luminoso visibile (ed influenza quindi il fabbisogno energetico di energia primaria per illuminazione).

Poiché il modello LT è, come si è visto, particolarmente sensibile alla variabile progettuale della vetratura e delle sue schermature, si dimostra utile al fine di valutare in modo previsionale il contributo prestazionale dei film, considerati come elementi schermanti in aderenza. La ricerca utilizzerà dunque il modello LT come sottomodello di un sistema simulativo che integri i film, considerati come un tipo di elemento schermante che agisce in aderenza ed ha precisi valori di trasmissione di energia solare e di trasmissione di radiazione visibile.

## 8.12 Approfondimento sulla funzione energetica dell'involucro

Appare inevitabile una formulazione chiara del problema.

L'involucro è una separazione sia fisica che simbolica. È la parte

TABELLA 2.1 STRUTTURE OPACHE VERTICALI		Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m <sup>2</sup> K)
Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in W/m <sup>2</sup> K	A		0,85	0,72	0,62
	B		0,64	0,54	0,48
	C		0,57	0,46	0,40
Muri e strutture verticali	D		0,50	0,40	0,36
	E		0,46	0,37	0,34
	F		0,44	0,35	0,33

TABELLA 3.1 STRUTTURE OPACHE ORIZZONTALI DI COPERTURA		Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m <sup>2</sup> K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m <sup>2</sup> K)
Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di copertura espressa in W/m <sup>2</sup> K (esclusa categoria E8)	A		0,80	0,42	0,38
	B		0,60	0,42	0,38
	C		0,55	0,42	0,38
Coperture piane, inclinate e terrazze	D		0,46	0,35	0,32
	E		0,43	0,32	0,30
	F		0,41	0,31	0,29

Figura 8.30:

Figura 8.30:

Valori della trasmittanza per le parti opache d'involucro, secondo il DPR 412/93

Si può notare come i parametri divengano man mano più restrittivi con le fasi di attuazione del decreto.

il modello considerato non recepisce valori così buoni per la trasmittanza ammessa (contribuendo ad esagerare per eccesso la stima dei consumi). Tuttavia, la nuova versione dell'LT consente di progettare la parte opaca variando notevolmente i valori della trasmittanza.

dell'edificio che deve tradurre in costruzione le esigenze abitative elementari di riparo, sicurezza, comfort, estetica. Giocando un ruolo di filtro tra l'ambiente interno e quello esterno, l'involucro affida ad alcune sue parti ben determinate la potenzialità di accettare o respingere il flusso energetico tra esterno ed interno.

In primo luogo, gli elementi dell'involucro sono certamente geometrici, ma trattandosi di un edificio, gli elementi geometrici non hanno significato se non vengono materializzati in elementi che hanno caratteristiche fisiche specifiche e di conseguenza dotati di prestazioni termiche (Benedetti 1994).

I caratteri dell'involucro definibili a livello di progettazione preliminare, ed utili ai fini di una valutazione del bilancio energetico dell'edificio, fanno riferimento alle variabili legate:

- Alle proprietà geometriche: di estensione e di forma
- All'esposizione rispetto ai fattori meteorologici
- Alle proprietà del sistema costruttivo
- Al rapporto tra pieno e vuoto: le aperture
- Ai dispositivi di regolazione dei flussi nella frontiera
- Al comportamento termico.

Il carattere dell'apparato normativo prestazionale sta nello specificare con chiarezza gli obiettivi: cioè, cosa si vuole, in tutto lo sviluppo del progetto: dalla scomposizione delle esigenze fino alla stesura delle specifiche di prestazione. Fin dalle prime fasi progettuali, per definire gli obiettivi si individuano gli aspetti e i livelli qualitativi che si vogliono raggiungere<sup>109</sup>.

Si vuole quindi affrontare la problematica inerente la prima fase di progettazione tecnologica dell'involucro edilizio, nell'ottica di una cosciente razionalizzazione dell'uso dell'energia.

Ai fini dell'analisi dei flussi energetici, l'involucro è articolabile in elementi opachi, che non ammettono il passaggio della componente luminosa, e in aperture: elementi che ne ammettono il passaggio.

### 8.13 Elementi opachi

Rispetto alla valutazione dell'importanza degli elementi opachi, il metodo LT appare molto approssimato, relegando questo fattore ad un parametro assunto a priori dal modello e non modificabile.

Tra i dati del modello compare, per le parti opache di involucro, un valore di trasmittanza  $U$  pari a 0.6. Ciò corrisponde ad un parametro piuttosto restrittivo, mentre la normativa vigente prescrive precisi vincoli alla trasmittanza delle chiusure opache, legata alle zone climatiche italiane (si riportano in figura 8.30 i valori di trasmittanza e le fasi di attuazione del DPR 412/93). Ciò rappresenta evidentemente un limite nel modello considerato, ed un possibile campo di implementazione del modello stesso, che potrebbe aggiungere tra le variabili progettuali di immissione anche una progettazione semplificata

#### 8.14 Aperture

Le schermature sono una parte essenziale del componente chiusura esterna trasparente, poiché è praticamente impossibile raggiungere un sufficiente livello di controllo solare, unicamente attraverso la forma e l'orientamento dell'edificio nel suo insieme o tramite l'utilizzo delle proprietà ottico - solari

dei materiali trasparenti. Si impone l'analisi delle principali considerazioni da effettuare per garantire una corretta scelta tra tre diverse tipologie di schermature, le quali si distinguono tra di loro principalmente per la percentuale di radiazioni filtrate e quindi non trasferite all'interno dell'ambiente abitativo,

La localizzazione e l'orientamento di un edificio in modo da ridurre l'esposizione solare estiva, mentre si valorizza quella invernale, sono obiettivi fondamentali per una progettazione insediativa climaticamente orientata. Tali obiettivi si raggiungono studiando in modo analitico le ipotesi progettuali localizzative e tipologiche in rapporto al contesto ambientale specifico e, in particolare,

alle variabili geo-astronomiche solari locali [1]. Esistono, a tal riguardo, strumenti di calcolo e rappresentazione computerizzati, ma sono rari quelli che uniscono obiettivi di visualizzazione a capacità di calcolo energetico. Una funzione essenziale per il controllo della radiazione solare diretta e diffusa è svolta dai dispositivi schermanti, in altre parole da elementi che ostruiscono gran parte della porzione di cielo vista dallo spazio esterno da raffrescare; in tabella 2 sono raccolti gli obiettivi progettuali e le tecniche di controllo del microclima, per il raffrescamento degli spazi.

##### 8.14.1 Dispositivi di controllo del flusso luminoso non aderenti

Nella scelta del tipo di schermo si devono prendere in considerazione:

- l'area ombreggiata, dipendente dalla forma e dalle dimensioni dello schermo e dalla distanza tra schermo e spazio occupato;
- la qualità dell'ombra, ovvero la trasmittanza solare dello schermo, dipendente dal materiale usato;
- l'effetto termico dello schermo, dipendente anch'esso dal materiale usato, dalla forma e dal colore.

La funzione di controllo della radiazione solare riflessa dal terreno, o dalle superfici verticali circostanti l'ambiente da raffrescare, è svolta dagli schermi a parete, ovvero da elementi, verticali, o leggermente inclinati, con attacco a terra, che impediscono la vista di buona parte delle superfici riflettenti la radiazione solare circostanti l'ambiente stesso. La scelta del tipo di schermo deve tenere conto, principalmente, dell'effetto termico e di quello di riduzione dell'abbagliamento. Il primo dipende dal materiale di cui è costituito lo schermo e dal suo colore; il secondo, dalla forma dello schermo stesso.

Le schermature verticali (a parete o a doghe) sono efficaci con ogni orientamento, quando la direzione dei raggi solari non è contenuta in un piano parallelo a quello dello schermo (singola doga di un brise soleil o parete laterale alla finestra) e forma con esso un angolo di incidenza sufficientemente ampio da impedire la penetrazione dei raggi stessi. Alle medie latitudini, gli schermi verticali a parete (ad esempio, le fiancate di una loggia incassata) sono, dunque, utili negli orientamenti S-SE e S-SW, mentre quelli a doghe (possibilmente ad inclinazione variabile) funzionano bene negli orientamenti SW-NW e SE-NE.

Le schermature esterne sono in linea di massima molto efficaci come strumento di controllo solare, poiché respingono la radiazione solare prima che raggiunga la superficie del vetro, evitando che questo si riscaldi. Tuttavia, le schermature di questo tipo ostruiscono gran parte della porzione di cielo vista dall'interno dell'ambiente raffrescare, ed inoltre non sempre possono essere impiegate in contesti di recupero ambientale (si pensi a contesti in cui i fronti fanno parte di città storiche).

Gli schermi interni, invece, meno efficienti, sono di fatto più facilmente operabili e meno costosi di quelli esterni, e possono anche ritenersi sufficienti, in climi temperati, laddove il controllo solare non è fattore prioritario, come in stanze con area di



finestratura ridotta, in edifici residenziali.

(completare, inserendo tipologie schematiche di elementi schermanti in parallelo e non aderenti)

#### **8.14.2** Dispositivi di controllo del flusso luminoso in aderenza: gli strati funzionalizzati

I film per i componenti trasparenti dell'involucro costituiscono, di fatto, uno dei dispositivi di controllo dell'apporto solare (sia nel suo aspetto termico che in quello luminoso).

Questo, a ben vedere, è stato il primo ambito di applicazione degli strati funzionalizzati ai componenti d'involucro, e probabilmente è questo il campo in cui si sono raggiunti i risultati più evoluti in termini di prestazioni aggiunte dagli strati funzionalizzati al loro supporto. In quest'ottica, gli strati funzionalizzati diventano elementi di decisiva importanza, in quanto dispositivi di controllo del flusso di energia solare (nel suo doppio aspetto di Trasmissione di radiazione solare e di Trasmissione di radiazione visibile).

Si è ritenuto dunque importante affrontare lo sforzo di calare le conoscenze acquisite nella prima parte della ricerca (il panorama degli strati funzionalizzati nella loro accezione più ampia) nel contesto destinato ad accoglierle (l'involucro edilizio ed i suoi componenti), innanzitutto restringendo il campo dei prodotti considerati (gli strati funzionalizzati per supporti trasparenti), ed in secondo luogo individuando il problema nel comportamento energetico dell'involucro stesso, aspetto decisivo per una progettazione che si ponga come obiettivo un impiego razionale delle risorse naturali. A questa restrizione di campo dovrà però corrispondere un aumento di complessità degli strumenti impiegati, poiché di cercherà di individuare le relazioni tra gli elementi e le parti coinvolte, e di dare a queste relazioni l'aspetto di informazioni quantificabili, misurabili, sulla base delle quali effettuare scelte e considerazioni.

Considerando i film come elementi schermanti sottili, che sono in grado di interagire con il comportamento energetico dell'intero involucro, si vuole realizzare uno strumento che permetta di valutarne quantitativamente e preventivamente il contributo all'intero sistema involucro.

Rispetto alle variabili della progettazione tecnologica tra cui un architetto si trova a decidere sin dalle prime fasi del progetto, sarà verificato l'impatto sul risparmio energetico che tali soluzioni

permettono di ottenere in seguito alla loro applicazione.

Queste caratteristiche di permeabilità alla radiazione solare e di isolamento dallo spazio esterno, tipiche dei materiali trasparenti, rendono tali componenti fondamentali sia dal punto di vista energetico (riscaldamento, illuminazione e raffrescamento) che dal punto di vista del comfort (termico, acustico, visivo).

Sistemi di illuminazione naturale senza ombreggiamento:

Tra gli strati funzionalizzati, vi sono una serie di dispositivi per controllare l'illuminazione naturale senza provocare ombreggiamento. Essi sono principalmente destinati a riorientare le zone di luce in un punto lontano da una finestra o lucernario. Essi possono bloccare o meno la luce solare diretta. Questi sistemi possono essere suddivisi in tre categorie:

- Sistemi di diffusione della luce : sono sistemi per reindirizzare luce provenienti da specifiche zone della volta celeste verso l'interno della camera. Va ricordato che in condizioni di cielo coperto, l'area intorno la volta celeste è molto più luminosa della zona nei pressi di all'orizzonte. Per i siti con ostruzioni alla luce esterne (tipico negli ambienti urbani densamente costruiti), la porzione alta della volta celeste può essere l'unica fonte di luce naturale. In queste situazioni, i sistemi di guida della luce diretta possono migliorare l'utilizzazione della luce.
- Sistemi di guida della luce diretta: inviano la luce solare diretta verso l'interno della stanza senza gli effetti secondari di abbagliamento e di surriscaldamento.
- Sistemi di scattering luminoso, o sistemi di diffusione della luce: sono utilizzati in lucernario, o aperture zenitali per distribuire anche la luce naturale. Se questi sistemi sono utilizzati in aperture verticali (finestre) possono comportare grave abbagliamento.

### **8.15 Come valutare l'influenza degli strati funzionalizzati sul sistema involucro**

Della quantità di energia che viene assorbita da una lastra di vetro una parte viene trasmessa verso l'interno, per irraggiamento nell'infrarosso e per convezione, e la restante parte verso l'esterno. Con il termine apporto gratuito o passivo dell'energia solare si intende normalmente il fatto che l'irraggiamento solare permette di ridurre il consumo di energia per il riscaldamento e per

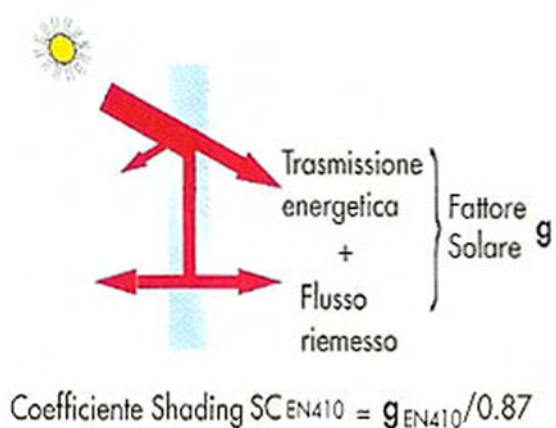


Figura 8.31:



Figura 8.32:

l'illuminazione artificiale degli ambienti.

D'altra parte massimizzare il contributo energetico del sole significa trovare un equilibrio tra requisiti tra loro contrastanti dal punto di vista della loro pratica traduzione in prestazioni tecnologiche:

- garantire un apporto energetico positivo durante il periodo invernale
- ridurre il rischio del surriscaldamento estivo
- garantire un adeguato livello di illuminamento naturale in modo tale da minimizzare il consumo di energia elettrica per illuminazione artificiale
- controllare la componente di trasmissione totale dell'irraggiamento solare senza penalizzare quella della radiazione nel capo del visivo, sebbene quest'ultima contenga circa il 50% della radiazione stessa.

L'apporto solare non ha solo aspetti positivi, come il contenimento dei consumi energetici relativi al riscaldamento e all'uso dell'illuminazione artificiale, ma può generare situazioni di malessere igrotermico aumentando eccessivamente la temperatura interna dell'aria, oppure dando luogo a fenomeni di abbagliamento che modificano le condizioni di benessere ottico-luminoso.

È l'assorbimento della radiazione solare che causa i guadagni termici. Il calore generato nel vetro viene poi redistribuito, in parte verso l'interno, in parte verso l'esterno, per convezione e irraggiamento. In genere, poi, gran parte delle componenti infrarosse a lunghezza d'onda corta e lunga sono assorbite dai vetri normali, creando l'effetto noto come "effetto serra".

Fattori energetici:

In sede di progetto, è possibile controllare gli apporti energetico e luminoso dovuti al sole mediante un opportuno impiego di film da accostare o inserire tra le lastre di vetro. Poiché il modello LT considera già un doppio vetro per le aperture, i film e gli strati funzionalizzati verranno considerati per il loro fattore di Trasmissione energetica, o Trasmissione di energia solare.

Fattori spettrofotometrici:

Un discorso analogo viene fatto per quanto riguarda la trasmissione luminosa: poiché il modello LT considera già implicitamente un vetrocamera ed il relativo fattore di assorbimento, si considererà solo la componente di Trasmissione di radiazione visibile, e di

Figura 8.31:  
Le principali grandezze energetiche nel comportamento di un elemento vetrato.

Figura 8.32:  
Le principali grandezze spettrofotometriche del passaggio di radiazione solare attraverso una lastra di vetro.

trasmissione+Riflessione nel caso di pellicole riflettenti.

L'equilibrio tra la componente di radiazione visibile e quella di guadagno termico, dunque, gioca un ruolo cruciale che può determinare condizioni differenti di benessere termico, o visivo.

Note:

<sup>94</sup> MORABITO Giuseppe, *Scienza e arte per progettare l'innovazione in architettura. Saggio progettuale alla "Leonardo da Vinci"*, Torino, UTET, 2004, pag.17

<sup>95</sup> SHANNON Claude, citato in MORABITO Giuseppe, *Quaderni per il Corso di Sperimentazione di Sistemi e Componenti*, Facoltà di architettura Valle Giulia, anno accademico 2000-01

<sup>96</sup> MORABITO Giuseppe, (2004), op.cit.

<sup>97</sup> AA.VV. *Pensare per modelli, schemi logici e strumenti di calcolo*, Milano, Mondadori, 1980, p.10

<sup>98</sup> AA.VV. (1980), op. cit., p.13

<sup>99</sup> SCUDO Gianni, BRUNETTI Gian Luca, "Progettazione ambientale: strumenti e tecniche", in *Il Progetto Sostenibile*, n. 16, dicembre 2007, pp.4-11

<sup>100</sup> POLLALIS, Spiro, *Computing in the Building Process Beyond Computer Aided Design*, 1998, Disponibile su: <<http://www.gsd.harvard.edu/~pollalis/papers/boss.pdf>>

<sup>101</sup> VENSIM PLE è un software progettato per la costruzione di modelli di dinamiche di sistema. Vensim è prodotto da Ventana Systems, che offre una versione gratuita introduttiva del suo software, Vensim PLE, che può essere scaricato nel World Wide Web (<http://www.vensim.com>.)



<sup>102</sup> Building Research Establishment Environmental Assessment Method

<sup>103</sup> La Green building Challenge è un'associazione internazionale che raggruppa 14 nazioni. La Natural Resources Canada svolge le funzioni di coordinamento e di segretariato, mentre un comitato di partecipanti, che prende il nome di International Framework Committee (IFC) coordina lo sviluppo delle ricerche tecniche tra cui la messa a punto di un modello di valutazione delle qualità ambientali degli edifici.

<sup>104</sup> SIMON Herbert Alexander, *Le scienze dell'artificiale*, Il Mulino, Bologna, 1984, pp.151

<sup>105</sup> MORABITO Giuseppe, intervistato da BACCHETTI Alessandro, in TORRICELLI Maria Chiara, LAURIA Antonio (a cura di), *Innovazione Tecnologica per l'Architettura. Un diario a più voci*, Edizioni ETS, Pisa, 2004

<sup>106</sup> Il MIT Design Advisor è disponibile on-line dal sito: <http://designadvisor.mit.edu/design/>

<sup>107</sup> STAUFFER Nancy, "Ask the MIT Design Advisor. New Web Tool Helps Designers Evaluate Energy-Saving Options", in *PLAN* 60, February 2005

<sup>108</sup> Il Building Design Advisor è un software gratuito scaricabile da: <http://gaia.lbl.gov/BDA/>

<sup>109</sup> Ci si riferisce in particolare alla meta progettazione delle unità tecnologiche, definita dalla norma UNI 10723/98 "Processo edilizio – classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione", come "fase che individua le unità tecnologiche del sistema tecnologico prestazionale e ne programma i requisiti tecnologici e le corrispondenti specificazioni di prestazione tecnologica". Nella norma la fase di meta progettazione delle unità tecnologiche è temporalmente collocata all'inizio del processo decisionale e strettamente relazionata alla fase di progettazione funzionale – spaziale che si colloca subito a monte, e alla fase di metaprogettazione degli elementi tecnici e alla fase di metaprogettazione economica dell'intervento che si collocano a valle e sono ad essa subordinati.



Figura 9.1: esempio di involucro trasparente in cui è determinante il comportamento di trasmissione luminosa e di trasmissione di radiazione visibile delle vetrate. L'intenzione progettuale di una facciata completamente priva di elementi schermanti esterni rende particolarmente importanti le proprietà schermanti del vetro.





### 9.0 Abstract

Si individuano le operazioni da effettuare sul modello iniziale, volte a creare uno strumento “personalizzato” per sperimentare la simulazione degli aspetti di interesse, rispetto all’impiego di film. Ripercorrendo i passaggi del modello simulativo di partenza, dopo averne compreso gli elementi, i dati e le elaborazioni, si individueranno i punti di inserimento, e quindi, fatte le opportune considerazioni sulla compatibilità dei dati, si procederà con l’integrazione di un nuovo sotto-modello, rispettando il metodo con cui gli elementi schermanti vengono inseriti, in modo da rispettare le regole del modello LT iniziale.

Il risultato sarà un modello modificato, che integra un sotto-modello corrispondente alla presenza di film, considerati come elementi schermanti aderenti alla vetrata.

Poiché ogni film ha un comportamento rispetto alla trasmissione di energia solare (effetto di tipo energetico) ed uno rispetto alla trasmissione della radiazione visibile (effetto sulla visibilità interna), l’introduzione di questi dispositivi avrà effetti differenti che si inseriscono in modo separato, influenzando distintamente sui parametri principali, e ricomponibili nel dato sintetico che stima il consumo medio annuo per metro quadrato di superficie. Si potrà effettuare una scelta tra i diversi tipi di soluzione possibili, valutandone la prestazione rispetto all’intero sistema, e comparando differenti configurazioni o differenti soluzioni progettuali. Effettuata la scelta, l’output che ne emergerà sarà la stima del fabbisogno termico per riscaldamento, raffrescamento ed illuminazione.

### 9.1 Esplicitare il metodo LT: architettura del modello

Un modello, dunque, è una costruzione teorica in grado di mettere in relazione i dati con le soluzioni possibili di un problema. Inoltre ogni modello può essere modificato, fino ad una previsione delle caratteristiche funzionali che si consideri ragionevole, ed è anche possibile utilizzare più modelli dello stesso prototipo, ciascuno per esaminare un aspetto di interesse. Anzi, il procedimento di costruzione di un modello ottenuto componendo pezzo per pezzo dei modelli più semplici (determinate proprietà e le loro immediate interazioni) facilita l’analisi dell’oggetto da modellare, permettendo di concentrare l’attenzione sulle sue proprietà fondamentali.

Realizzare un modello del sistema edificio-impianto, ai fini

della previsione del bilancio energetico in fase progettuale equivale dunque a formulare una descrizione del sistema stesso evidenziandone le proprietà salienti (o proprietà emergenti) che si intende analizzare<sup>110</sup>. Un modello di simulazione, dunque, è sostanzialmente esprimibile in termini di relazioni matematiche, che si inseriscono però in una struttura portante di carattere logico. In questo modo, si possono rappresentare “in forma sistemica” i modelli: rappresentandoli, cioè, come nessi logici e sistemi informativi<sup>111</sup>. Questa operazione di rappresentazione è di grande utilità per un architetto, consentendo di mettere in relazione dati di diversa qualità (come le grandezze in gioco in Architettura), e soprattutto evidenziandone gli elementi, i rapporti, le relazioni e così via.

Il sistema edificio-impianto può essere definito un sistema dinamico: la sua storia futura dipende dalla sua storia presente e passata. Le relazioni matematiche del modello che si vuole realizzare saranno dedotte dal modello LT, e quindi si cercherà prima di tutto di rappresentare il sistema e la sua evoluzione secondo sistemi di equazioni algebriche.

I modelli, rappresentati come sistemi che cambiano nel tempo, sono legati a fenomeni reali e si applicano a casi reali. Per questo il presupposto è che, ad elementi astratti (concetti) corrispondano casi reali (elementi del sistema), espressi secondo le proprietà che ne vogliamo rappresentare. Siamo in presenza di molte diverse proprietà, ed i legami delineati nel modello schematico devono accordare concetti che possono essere definiti con parametri molto diversi. Per questo il primo lavoro da fare è la loro definizione.

Il primo passo da compiere, dunque, è realizzare una struttura schematica che rappresenti il sistema, in forma molto semplice e sintetica. Bisogna avere chiari gli ambiti coerentemente con le finalità ed il problema posto e quindi si cercherà di definire quali elementi, processi ed effetti del sistema reale sono interni ed esterni al sistema schematizzato. Soltanto i primi verranno poi disaggregati ed organizzati in sottosistemi ed interazioni tra i sottosistemi. Successivamente, i diversi sottosistemi verranno organizzati in una struttura di lavoro o diagramma di flusso.

Tuttavia, perché rimanga correttamente funzionante, un sistema come quello rappresentato deve aver ben distinte le immissioni, le elaborazioni interne (dette tautologiche) e le uscite. Infatti, non è possibile mescolare le cose o confondere le interazioni tra gli elementi, perché potrebbero portare ad elaborazioni diverse in funzione di come viene usato il sistema.



procedendo con l'analisi anche tutte le parti relative allo schema qui enunciato verranno meglio specificate, definite, espresse con le unità di misura.

Per cercare di comprendere le relazioni esistenti tra gli strati funzionalizzati e le parti trasparenti del sistema involucro, si realizzerà dunque un modello, composto in parte da un modello già esistente (modello LT), ed in parte da un sotto-modello costruito per esaminare l'aspetto specifico dell'influenza dei film sulla trasmissione della radiazione solare, sulla base dei dati precedentemente organizzati.

Il metodo LT nella versione 3.0 è, come abbiamo già detto, un metodo manuale, che consente, con alcuni calcoli, di calcolare un indice sintetico dei consumi energetici principali di un edificio attraverso esposizione, conformazione e vetratura dell'involucro.

Per comprendere il funzionamento e l'organizzazione del modello il primo passo da compiere è uno sforzo di esplicitazione dei suoi elementi: dati di immissione, dati del modello, interazioni e risultati.

Questa fase è fondamentale per comprendere rappresentarne chiaramente gli elementi, organizzarne i rapporti, studiarne le relazioni.

Il primo passaggio dovrà definire quali saranno i dati di ingresso, quali i dati di cui il modello ha bisogno per funzionare, quali i risultati attesi.

### 9.1.1 I dati

Il modello raccoglie dati di diverso tipo. Prima di tutto occorre organizzarli per comprenderne le relazioni e le interazioni.

Rappresentando i diversi passaggi dai dati di immissione (input) ai risultati previsti (output), i dati possono essere raggruppati per "famiglie", corrispondenti a tre grandi gruppi:

- Dati del modello: dati non modificabili, divisi in un gruppo di dati relativi all'edificio (geometria, volume, orientamento, valori di illuminamento medio richiesti), dati relativi a clima e localizzazione (irraggiamento medio mensile, temperature esterne invernali ed estive, lunghezza media del giorno, luminanza e probabilità di cielo sereno)
- dati relativi al progetto, che intervengono come variabili di progetto

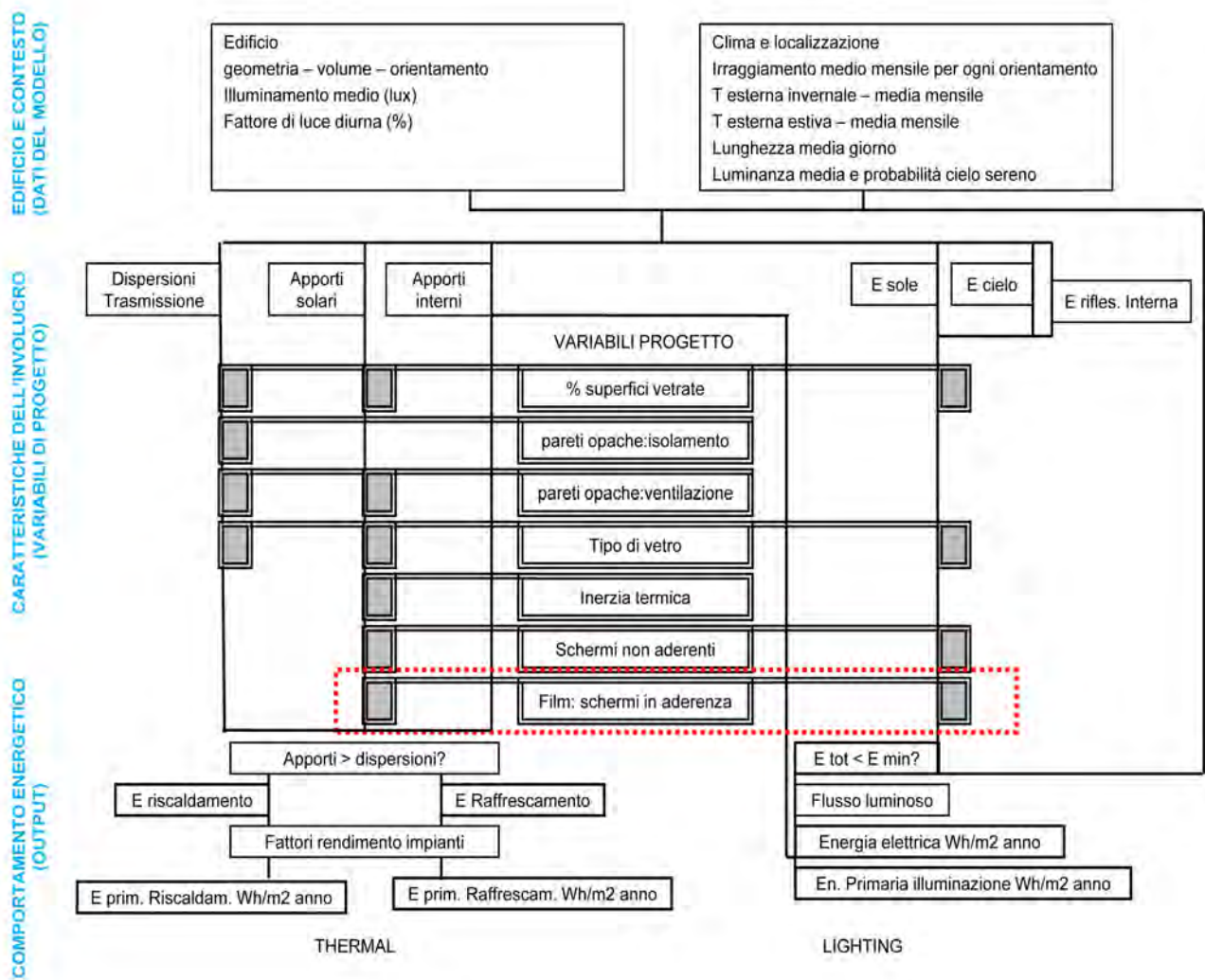


Figura 9.2:

i dati del modello nei diversi passaggi dai dati di immissione (input) ai risultati previsti (output).

Si possono individuare tre tipi principali: i dati del modello, non modificabili, i dati relativi al progetto, i dati di output.

che è possibile correggere e modificare per avere diversi output su cui scegliere: tra questi vi sono la percentuale di vetratura per ogni fronte (espressa in percentuale, ed ottenuta come rapporto tra area vetrata nominale ed area totale della facciata), le caratteristiche delle componenti opache dell'involucro (esprese come valori di Trasmittanza), i tipi di vetro (vetrocamera doppio o triplo, anche se il modello LT inserisce tra i suoi dati non modificabili le caratteristiche di un vetrocamera doppio; tali caratteristiche vengono espressi come trasmittanza), l'inerzia termica, i tipi di schermatura non aderenti (organizzati in tre tipi, a cui corrisponde un patrimonio dati non modificabili nel modello), ed infine i dati che si vogliono aggiungere: i film, considerati come schermature aderenti.

- Output: sulla base dei dati non modificabili e degli input progettuali, si possono ottenere grandezze relative al consumo energetico annuo medio per l'aspetto termico (comprendente l'energia per il riscaldamento e quella per il raffrescamento) o luminoso. Il modello LT consente anche una stima dell'energia impiegata negli impianti di ventilazione forzata per il raffrescamento.

### 9.1.2 Le relazioni

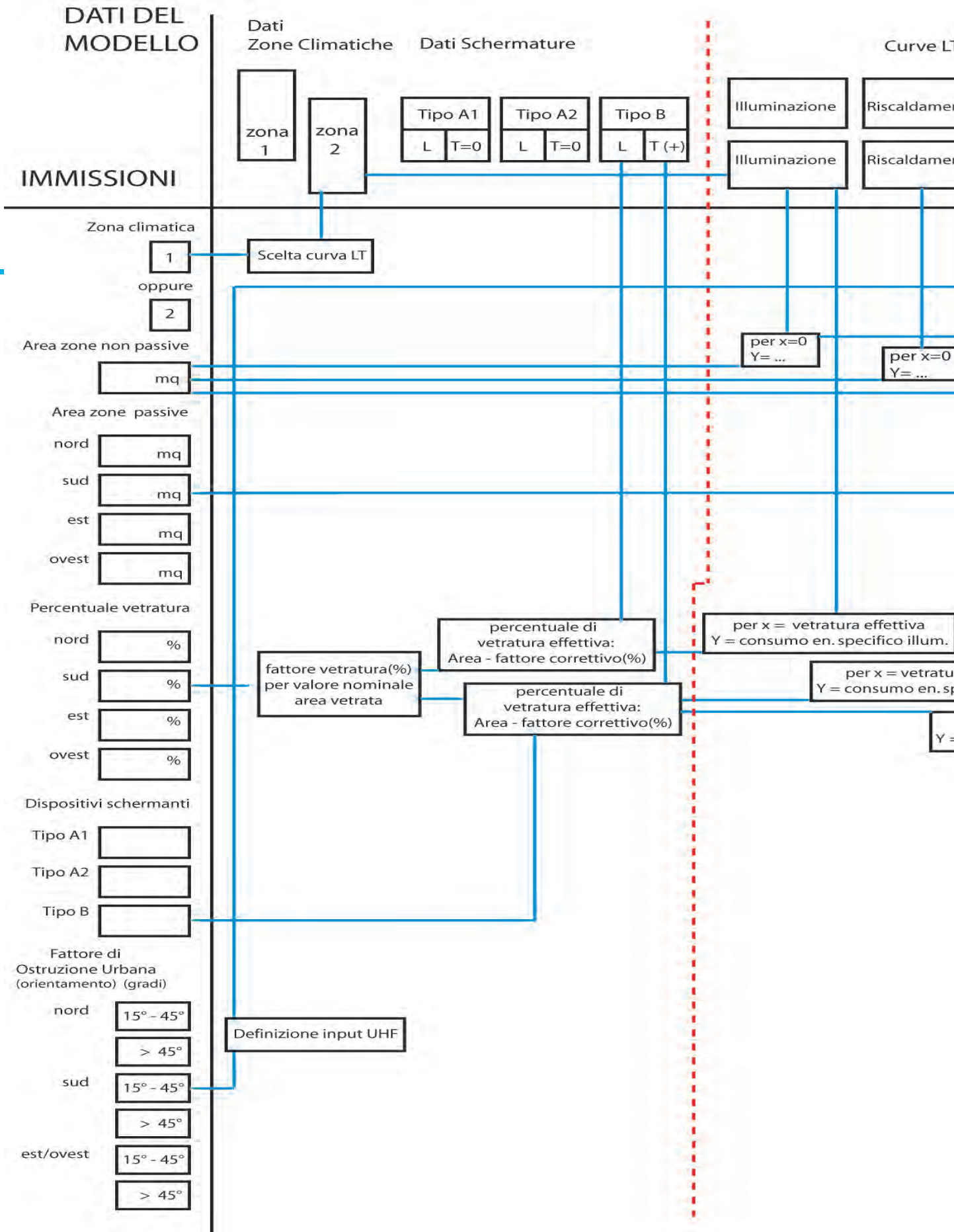
I dati evidenziati potranno poi essere collegati all'interno del modello, seguendo gli stessi passaggi che si compiono nel metodo manuale e rispettandone l'ordine.

Per funzionare correttamente, infatti, un modello deve aver ben distinte le immissioni, le elaborazioni interne e le uscite: questo è un passaggio fondamentale, poiché una organizzazione non corretta delle elaborazioni interne potrebbe portare ad output e soluzioni diverse a seconda di come vengono gestiti e messi in relazione i dati.

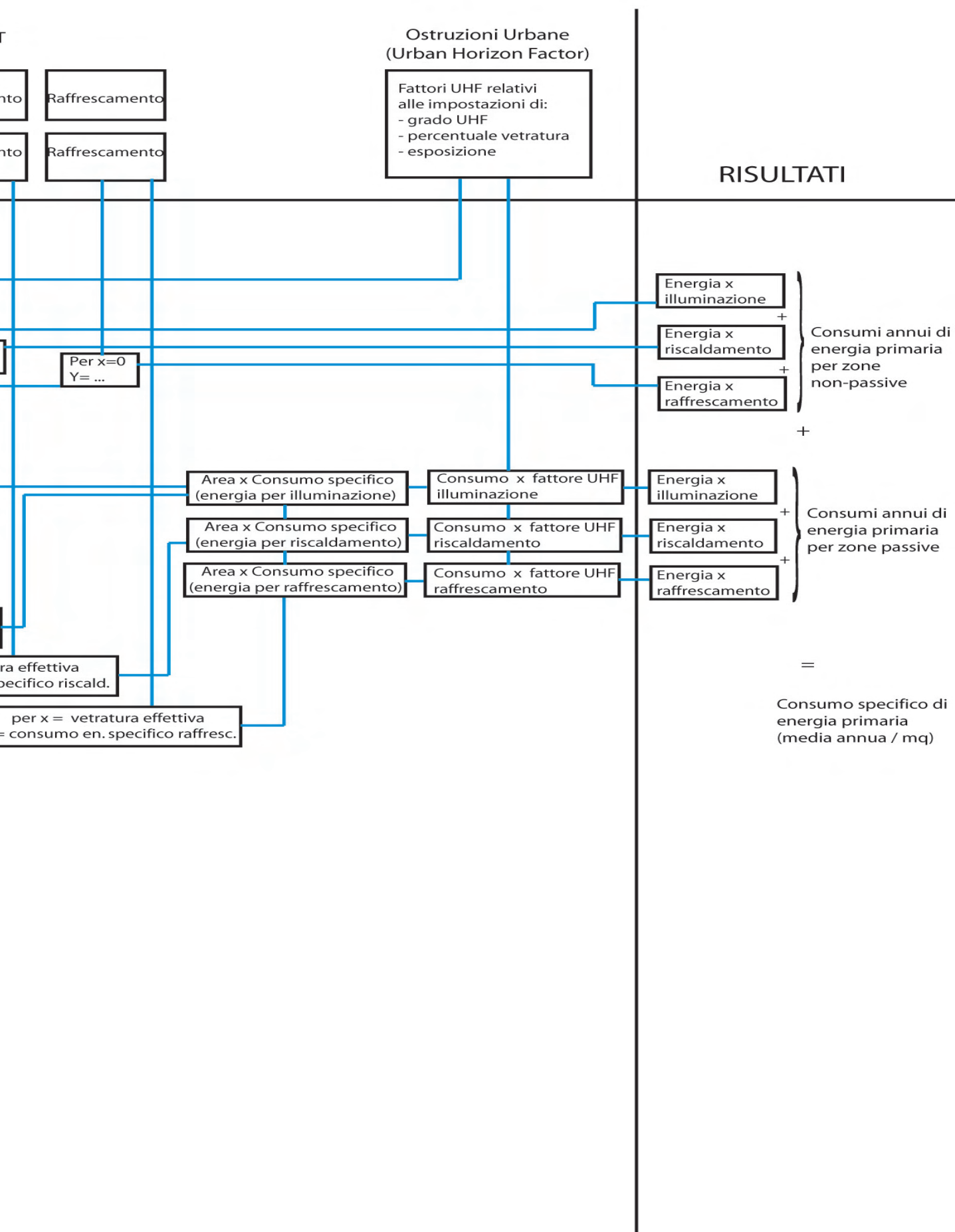
Possiamo notare come questa operazione non porti di fatto a nuove informazioni, ma consenta di individuare e rappresentare in modo chiaro e completo il modello ed il suo funzionamento. Si dovranno distinguere le unità di misura dei dati di immissione, verificare le interazioni compiute dal modello ( e le operazioni matematiche corrispondenti), fino alla verifica dimensionale e operativa dei risultati. Un esempio grafico di questa impostazione può essere il seguente, che in questo caso specifico si riferisce alle sole aree esposte a sud; il procedimento va naturalmente ripetuto per gli altri fronti.

Figura 9.3:

il modello LT schematizzato in forma sistemica. Si può individuare il punto di inserimento dei film sia nei dati di immissione, che nei dati del modello, che nelle interazioni del modello stesso.







Una esplicitazione di questo tipo raggiunge anche un altro risultato importante: definisce la collocazione e le relazioni tra gli elementi, evidenziando i punti in cui si potrà intervenire per modificare il modello iniziale, evidenziati in rosso.

Lo scopo di questa fase della ricerca è infatti quello di definire soluzioni che vedono l'impiego di film alle parti trasparenti dell'involucro (grazie ai dati ricavati nella prima parte della ricerca), e di inserirle nel modello LT attraverso opportune operazioni, e dal modello finale ci attendiamo una risposta che le valuti per l'aspetto termico-luminoso.

Per rispondere a questa esigenza, dunque, non verrà impiegato passivamente uno dei tanti sistemi già fatti, ma ne realizzeremo uno "personalizzato", inserendo un sotto-sistema compatibile.

## 9.2 Il metodo di integrazione al modello LT

Perché sia possibile l'integrazione tra il modello originario ed il sotto-modello da inserire, vanno considerate innanzitutto le proprietà dei due modelli, e le caratteristiche che ciascuno si propone di simulare. Del modello LT abbiamo detto in precedenza (par. 8.9 e seguenti), e brevemente possiamo sintetizzare che si prefigge lo scopo di simulare il comportamento passivo di un edificio attraverso modifiche di orientamento e soprattutto di estensione e distribuzione delle parti trasparenti dell'involucro.

L'aspetto che qui interessa sperimentare è invece l'impiego di strati funzionalizzati per la loro prestazione di controllo del flusso solare, negli elementi trasparenti del sistema involucro.

Il nesso è evidente: il principale dato di immissione per cui il modello LT valuta il comportamento energetico globale è la percentuale di parti trasparenti per ogni fronte di esposizione: è chiaro che se il dato sensibile è l'area vetrata, e le interazioni del modello operano su questa grandezza, qualunque elemento schermante agirà come fattore di correzione, per il quale le interazioni saranno note ed evidenti.

Il sotto-modello considererà film e strati funzionalizzati come elementi schermanti in aderenza: filtri, attraverso cui valutare gli effetti e le ricadute sul comportamento energetico (termico-luminoso) globale. Per seguire lo stesso criterio di simulazione seguito nel modello, verranno inseriti per il loro duplice contributo

alla regolazione del flusso energetico:

- Nel flusso di energia luminosa, andranno inseriti come fattore percentuale correttivo, per la loro caratteristica di Fattore di trasmissione luminosa visibile (o Trasmissione visibile), espressa in percentuale.

- Nel flusso di energia termica, andranno invece inseriti per la loro caratteristica di Fattore di trasmissione di energia solare (trasmissione, o Trasmittanza solare), espresso in percentuale. Si noti bene che il modello LT considera già tra i suoi parametri non modificabili l'impiego di un vetro camera ed i relativi coefficienti di assorbimento. Per questo motivo, gli strati funzionalizzati verranno considerati per il solo coefficiente di trasmissione di energia solare, dando per implicito il coefficiente di assorbimento del vetro-camera. Tale metodo di inserimento è esplicitamente suggerito dal modello.

### 9.2.1 Criteri di inserimento dei dispositivi schermanti non aderenti

Nel metodo LT (versione 3.0), vengono considerati tre tipi di dispositivi schermanti "tradizionali", raggruppati a seconda del fattore di trasmissione luminosa.

Tipo A: fattore di schermatura limitato. Tra questi vengono ulteriormente distinti due gruppi:

A1: Schermature mobili, che vengono inserite solo in presenza di carichi termici di raffrescamento (fattore di trasmissione luminosa =90-100%)

A2: Schermature fisse, ma concepite in modo da non ridurre la disponibilità di luminosità diurna in profondità di pianta e in modo da consentire guadagni termici solari utili in inverno (fattore di trasmissione luminosa =70%)

Tipo B: Fattore di schermatura pesante (fattore di trasmissione luminosa =35%). Rientrano in questa tipologia le schermature

Figura 9.4:

Riepilogando in una tabella gli effetti dei diversi tipi di dispositivi schermanti, si possono individuare diversi fattori correttivi rispetto ai carichi di illuminazione, riscaldamento e raffrescamento.

Tipo di schermatura	Illuminazione	Riscaldamento	Raffrescamento
A1, A2,	Nessun effetto	Nessun effetto	Si legge dalla curva corrispondente
B	Si legge dalla curva il valore corrispondente all'effettivo rapporto di vetratura	Sud: si legge il valore dalla curva est/ovest Est/Ovest: si legge il valore corrispondente alla curva nord	Si legge dalla curva corrispondente

fisse che riducono i guadagni solari in estate, la luminosità diurna ed i guadagni solari in inverno, secondo una frazione uguale e costante.

Rapporto di vetratura ridotto

I dispositivi di schermatura possono incidere assai negativamente sul contributo di luce diurna, poichè essa viene ridotta al pari dei guadagni solari. Ciò vuol dire che schermature con un coefficiente di trasmissione del 35% producono, sull'illuminamento naturale, lo stesso effetto che se l'area vetrata fosse ridotta del 35%. Tale fattore correttivo viene definito rapporto di vetratura ridotto, e corrisponde ad una riduzione percentuale del dato di immissione nel modello.

Rapporto di vetratura ridotto = (effettivo rapporto di vetratura) x (coefficiente di trasmissione)

### 9.2.2 Criteri di inserimento di film e strati funzionalizzati

Per poter introdurre nel modello anche i film, considerati come dispositivi schermanti, verrà seguito un sistema di correzione analogo, in cui gli strati funzionalizzati verranno immessi ciascuno per il proprio coefficiente di trasmissione di energia solare e di trasmissione di energia visibile.

Innanzitutto, bisogna raggruppare i film per il loro coefficiente di trasmissione seguendo gli stessi criteri degli altri dispositivi schermanti. In linea di massima, rispetto ai prodotti raccolti, il contributo dei film può essere assimilato quasi sempre a dispositivi

Figura 9.5:

Anche i film verranno inseriti nel modello seguendo gli stessi criteri correttivi dei dispositivi schermanti considerati.

Tipo	Illuminazione	Riscaldamento	Raffrescamento
film	Si leggerà il valore corrispondente al fattore di vetratura ridotto	Nessun effetto	Si legge dalla curva corrispondente (A1 o A2)

schermanti di tipo A1 o A2.

#### ILLUMINAZIONE

Si leggerà il valore delle curve corrispondente al fattore di vetratura



ridotto

### RISCALDAMENTO

Nessun effetto. Si ipotizza infatti che essi si comportino come dispositivi schermanti fissi ma leggeri (tipo A2)

### RAFFRESCAMENTO

Il consumo specifico verrà letto sulle curve relative ai dispositivi schermanti di tipo A1 o A2, a seconda del fattore di trasmissione luminosa. Se il fattore di trasmissione luminosa è alto, verrà considerata la curva A1; se il fattore di trasmissione luminosa è basso, si considererà la curva A2.

C'è però un problema: mentre gli elementi schermanti considerati dal modello compaiono già nei grafici corrispondenti alle CURVE LT, ciò non è immediatamente possibile per gli strati funzionalizzati.

Poiché dunque il principale strumento operativo del metodo LT sono le curve dei consumi specifici (diagrammi che visualizzano il parametro principale del controllo energetico nelle prime fasi di progettazione tecnologica, rispetto alla percentuale di vetratura della facciata), bisogna accedere alle funzioni che sottendono ai grafici, e poi procedere alle correzioni percentuali secondo i criteri indicati.

Il modello matematico che sottende alla realizzazione di tali curve, come si è detto, si basa sulla simulazione del comportamento di un modulo spaziale di profondità fissa di 6 metri (come la profondità della zona passiva), e di lunghezza unitaria nel senso della facciata, per un'altezza media del locale di 3 metri.

### 9.3 Utilizzare le funzioni derivate dalle curve LT

Per rendere accessibile il metodo a successivi interventi, è stato necessario ricercare le funzioni che descrivono le curve LT, ed è quindi stato necessario procedere a ritroso, innanzitutto tabulando i valori ricavati dalle curve, e poi derivandone la funzione con l'ausilio di alcune funzioni statistiche disponibili in alcuni software specifici.

Poiché il metodo LT nella versione 3.0 è manuale, si sono tabulati i valori dei grafici, per le curve corrispondenti, ad intervalli uguali corrispondenti ad incrementi del 5% del fattore di vetratura (ascisse).

EST-OVEST

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)									
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F
	a1	a2	a1	a2	a1	a2	b			
0	0,088	0,124	0,0315	0,0315	0,0305	0,236	0,236	0,236	0,02	0,01
5	0,064	0,127	0,033	0,032	0,031	0,205	0,2035	0,204	0,02	0,01
10	0,039	0,1275	0,036	0,033	0,032	0,196	0,193	0,193	0,02	0,01
15	0,032	0,122	0,039	0,037	0,034	0,19	0,187	0,186	0,02	0,01
20	0,03	0,118	0,042	0,04	0,035	0,188	0,185	0,18	0,02	0,01
25	0,029	0,115	0,048	0,043	0,038	0,189	0,186	0,178	0,02	0,01
30	0,0285	0,112	0,053	0,048	0,04	0,192	0,187	0,1765	0,02	0,01
35	0,028	0,11	0,06	0,052	0,042	0,196	0,188	0,177	0,02	0,01
40	0,0276	0,109	0,067	0,057	0,044	0,2	0,19	0,178	0,02	0,01
45	0,0272	0,108	0,074	0,062	0,047	0,206	0,192	0,179	0,02	0,01
50	0,0269	0,107	0,08	0,067	0,049	0,21	0,195	0,18	0,02	0,01
55	0,0266	0,106	0,087	0,071	0,051	0,217	0,199	0,181	0,02	0,01
60	0,0264	0,105	0,094	0,076	0,053	0,224	0,203	0,183	0,02	0,01
65	0,0262	0,104	0,102	0,082	0,055	0,23	0,206	0,185	0,02	0,01
70	0,0259	0,1035	0,11	0,087	0,058	0,237	0,212	0,187	0,02	0,01
75	0,0256	0,103	0,118	0,092	0,061	0,244	0,218	0,189	0,02	0,01
80	0,0254	0,1026	0,123	0,097	0,063	0,25	0,223	0,19	0,02	0,01
85	0,0252	0,1023	0,133	0,102	0,066	0,258	0,227	0,193	0,02	0,01
90	0,025	0,102	0,14	0,106	0,069	0,266	0,233	0,195	0,02	0,01

$y = -0,016 \ln(x) + 0,0656$        $y = -0,0102 \ln(x) + 0,1321$   
 0,997417849    1,014848161    1,014848161    1,009513639    1,003065133    1,00147657    0,99939339    1    1

Figura 9.6: tabella che raccoglie i valori letti dalle curve LT

Dato che per ognuna delle due zone climatiche vengono individuati 12 grafici, per un totale di 24 grafici, composto ognuno da otto curve, si affronterà qui il caso di una curva specifica (Zona climatica 1, uso residenziale, curva relativa all'illuminazione), rimandando all'appendice 1 gli approfondimenti metodologici ed i grafici rimanenti.

La prima operazione consiste dunque nel tabulare i valori desunti dalle curve LT corrispondenti: vengono dapprima letti i valori, tabulati su un foglio excel e rappresentati di nuovo come grafico (figura...).

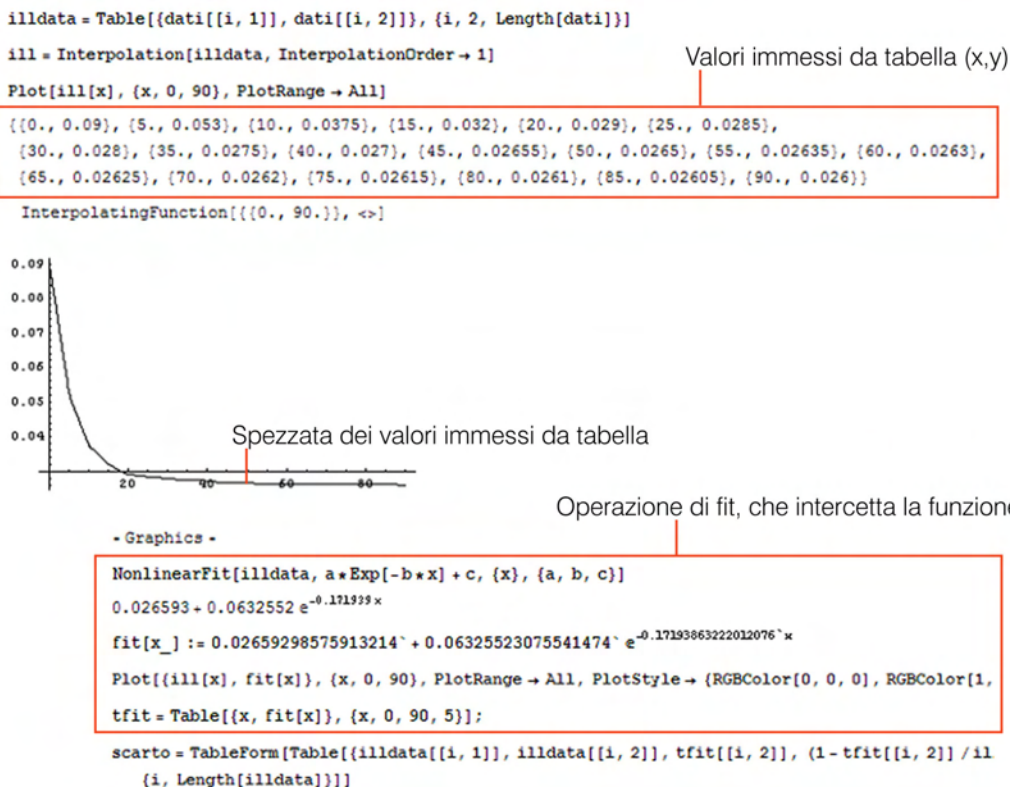


Figura 9.7:

schermata del software Mathematica 6.0.1, impiegato per risalire alle funzioni matematiche delle curve LT.

In alto si possono leggere i valori tabulati; in basso, l'operazione "fit" che permette di intercettare la funzione matematica corrispondente.

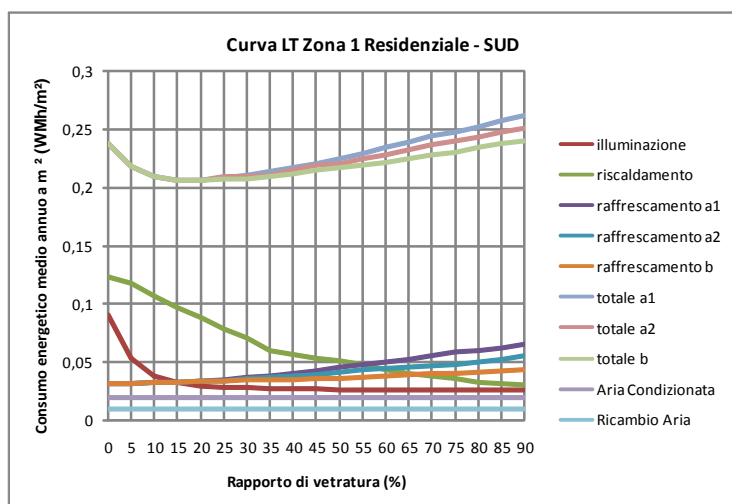


Figura 9.8

Per poter disporre completamente delle operazioni del modello LT, il passaggio necessario è risalire alle funzioni matematiche proprie delle curve LT a partire da una serie di valori. Per questo passaggio è stato impiegato il software Mathematica, versione

Figura 9.8:  
grafico corrispondente alla tabella 9.5, composto di spezzate.

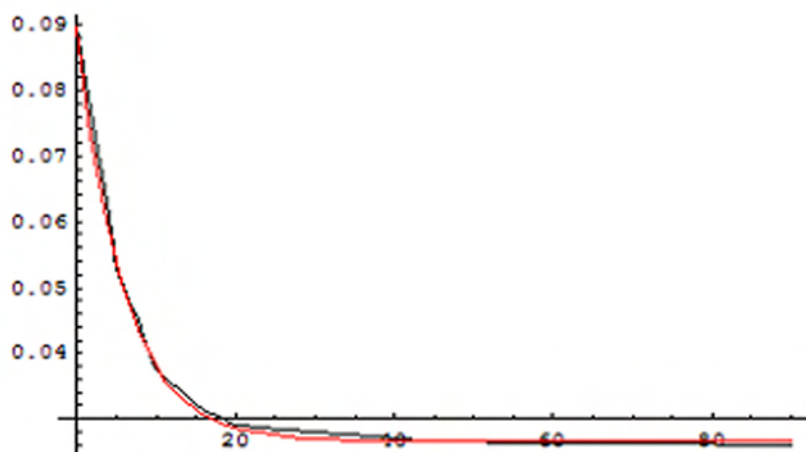


Figura 9.9

Figura 9.9:  
grafico corrispondente alla funzione ricavata con il software mathematica: si vede la differenza tra la spezzata (in nero) corrispondente ai valori letti, e la funzione intercettata (in rosso)

6.0.1. Tale software è di uso comune in matematica e statistica, e consente molte operazioni possibili per individuare una funzione partendo dai valori che essa assume.

Attraverso un'operazione detta "fit", in cui è possibile stabilire il massimo errore accettato, il software costruisce alcune funzioni

Valori immessi da tabella	Scarto percentuale corrispondente
0, 0.09	0.0898482 0.168648 %
5, 0.053	0.0533684 -0.695123 %
10, 0.0375	0.0379268 -1.13816 %
15, 0.032	0.0313905 1.90468 %
20, 0.029	0.0286237 1.29746 %
25, 0.0285	0.0274526 3.67514 %
30, 0.028	0.0269568 3.72554 %
35, 0.0275	0.026747 2.73816 %
40, 0.027	0.0266582 1.266 %
45, 0.02655	0.0266206 -0.265847 %
50, 0.0265	0.0266047 -0.394971 %
55, 0.02635	0.0265979 -0.940912 %
60, 0.0263	0.0265951 -1.12197 %
65, 0.02625	0.0265939 -1.30999 %
70, 0.0262	0.0265934 -1.50138 %
75, 0.02615	0.0265931 -1.69463 %
80, 0.0261	0.0265931 -1.88909 %
85, 0.02605	0.026593 -2.08451 %
90, 0.026	0.026593 -2.28076 %

Figura 9.10:  
grafico che raccoglie, per ogni valore immesso, l'errore rispetto alla funzione intercettata (espressa in percentuale)

Figura 9.10

ipotetiche a partire da operazioni di interpolazione, poi seleziona quella che discosta meno, rispetto ai valori iniziali.

Per fare un esempio concreto, la curva relativa all'illuminazione nelle curve LT appena descritte è stata inserita nel software attraverso i suoi valori tabulati (quelli che si possono leggere tra parentesi graffe); il primo grafico, in nero, è relativo ai valori tabulati, ed è costituito da una spezzata che raccoglie tutti i valori:

Mediante il comando "fit", attraverso alcuni tentativi ed aggiustamenti progressivi, si ottiene una funzione, in questo caso non-lineare: la funzione intercettata è, in questo caso specifico, esponenziale. In seguito a questi passaggi, la curva LT iniziale viene approssimata alla curva corrispondente al grafico di fig.16 (in rosso); di questo grafico è ora nota la funzione matematica.

La funzione così trovata si discosta dai valori tabulati per una percentuale di errore inferiore al 4%, ed il software fornisce anche una stima precisa dell'errore rispetto ad ogni singolo valore introdotto dalla lettura della tabella:

Tornando alla rappresentazione dell'architettura del modello LT, corrispondente alla rappresentazione di un algoritmo semplificato, è quindi possibile associare alle operazioni del modello (rappresentate dai flussi tra gli elementi) funzioni matematiche definite. Ciò ha consentito di ripercorrerne i passaggi e le interazioni inserendo, tra gli elementi schermanti, gli strati funzionalizzati, in modo da ottenere i valori sintetici dei consumi energetici per le diverse configurazioni.

#### 9.4 Architettura del modello modificato

Nell'inserimento di valori relativi ai film e strati funzionalizzati, si seguirà quindi lo stesso tipo di correzione stabilita dal modello LT.

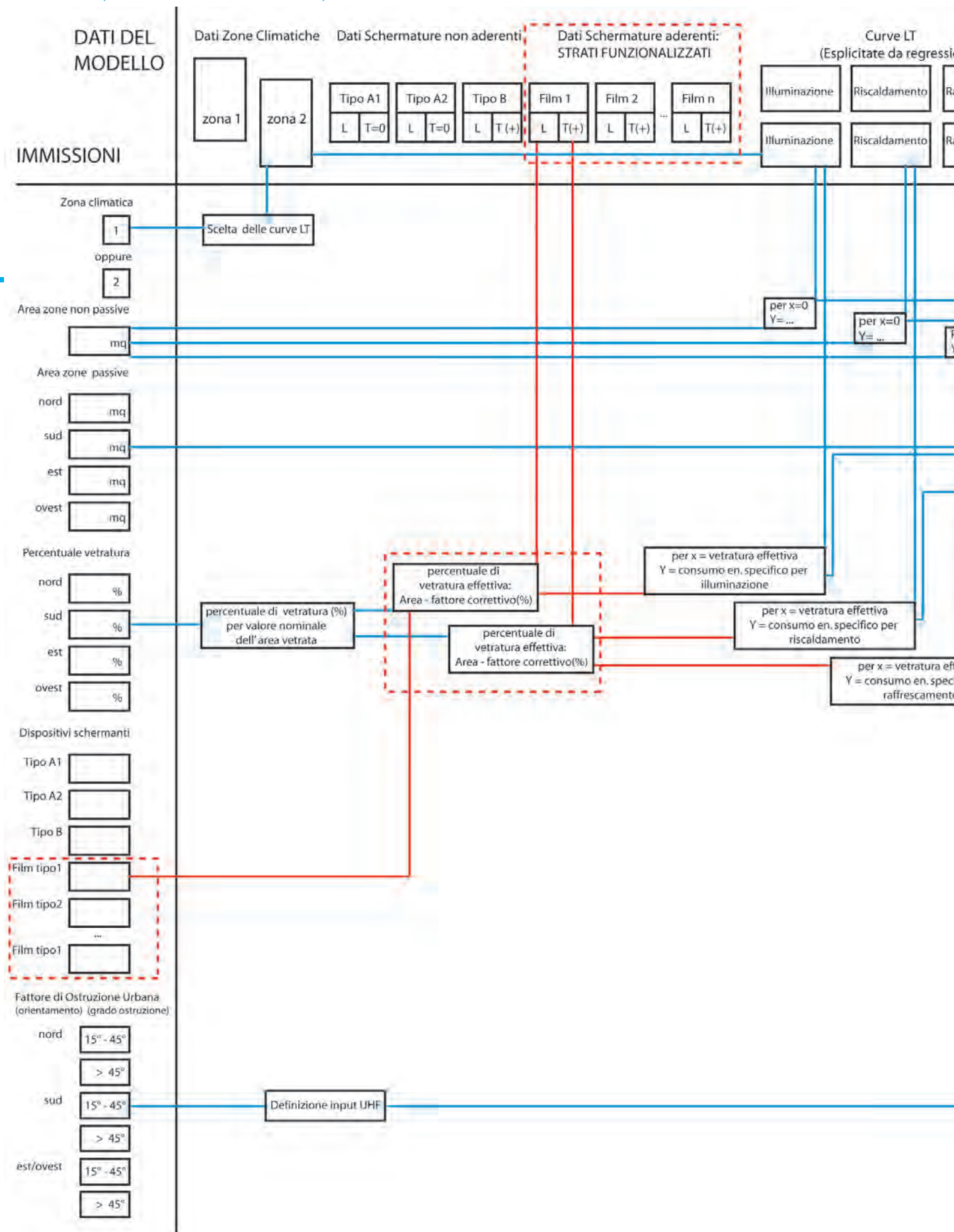
Gli elementi schermanti vengono inseriti come fattori percentuali di riduzione dell'area vetrata nominale effettiva. Per valutare l'effetto degli elementi schermanti, infatti, il modello LT predispose una tabella correttiva che influenza, a seconda del tipo di schermatura, il solo coefficiente di illuminazione, oppure sia quello di illuminazione che di riscaldamento. In figura 18 si riporta uno schema sintetico del modello, nei suoi passaggi principali. L'esempio illustrato di riferisce alle sole aree esposte a sud; il procedimento va naturalmente ripetuto per gli altri fronti.

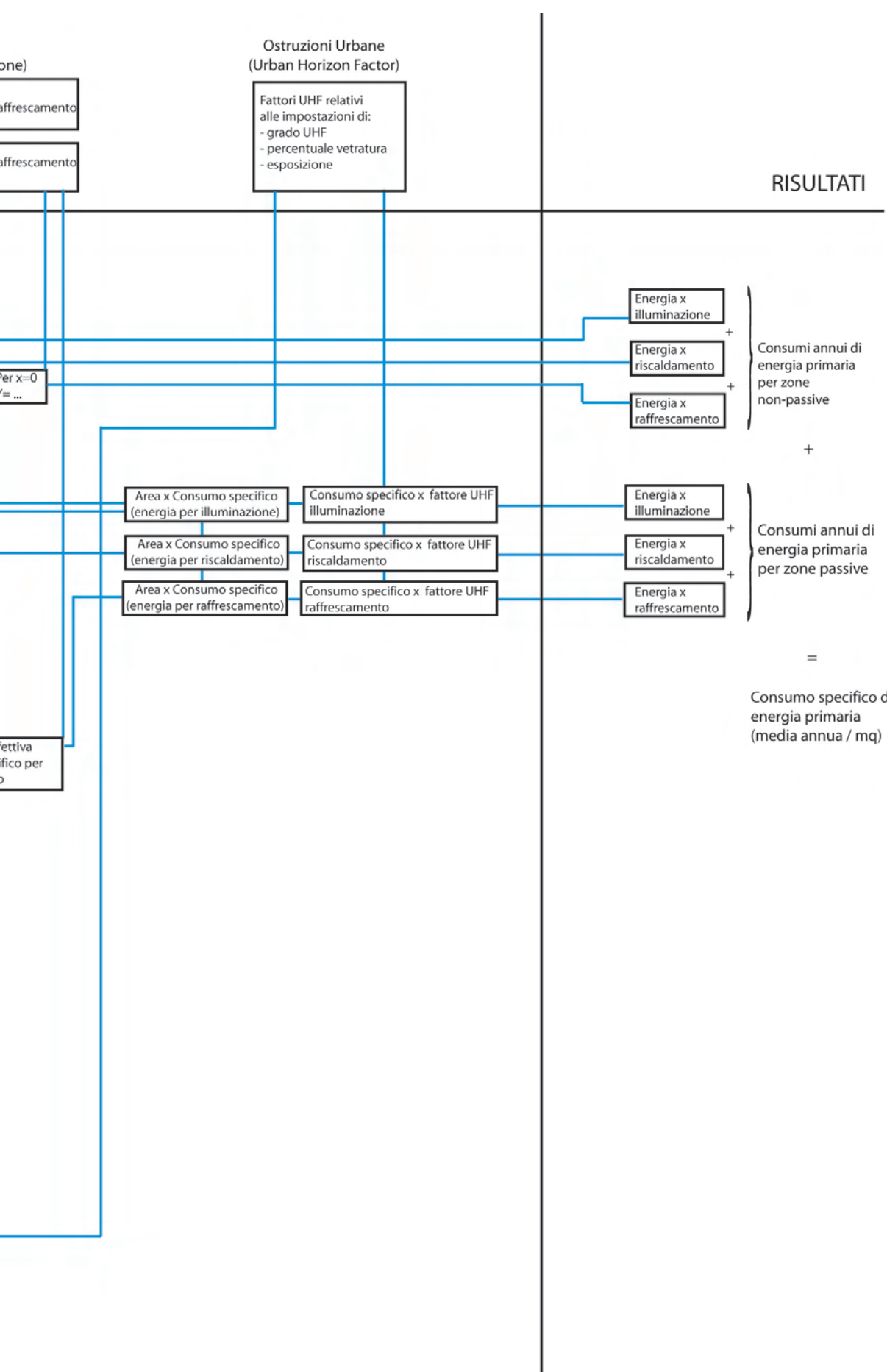




Figura 9.11:

modello modificato schematizzato in forma sistemica. Si può individuare l'inserimento dei film sia nei dati di immissione, che nei dati del modello, che nelle interazioni del modello stesso.





Quello rappresentato in figura è lo schema sintetico del funzionamento del modello modificato. Si può notare, in rosso, l'inserimento di film estrati funzionalizzati sia nei dati di immissione, che tra i dati del modello, che nelle operazioni ed interazioni del modello stesso. Per semplicità di esposizione si è evidenziato il caso della sola area con esposizione sud, in continuità con l'esempio affrontato nei paragrafi precedenti, volto ad illustrare i passaggi con cui si sono individuate le relazioni del modello e con cui si sono poi inseriti i nuovi parametri legati agli strati funzionalizzati. Si noti come ad ogni casella corrispondano valori quantitativi misurabili, e relazioni matematiche tra tali grandezze. Un modello così organizzato, naturalmente esteso a tutte le esposizioni, può già essere impiegato come metodo manuale, come il modello LT iniziale, o essere tradotto in un sistema informatizzato.

### **9.5 Esempi di uso del modello: soluzioni a confronto valutate con il modello**

Per sperimentare il funzionamento del modello realizzato, è possibile fare una prova su alcuni casi specifici.

Prendiamo il caso del progetto di un edificio per uffici. L'edificio ha quattro piani ed è ubicato in una zona periferica su un'area di intervento con un minimo di ostruzioni esterne a nord. La localizzazione, poniamo Bologna, ricade nella zona climatica 1 (rispetto al modello LT), con temperature medie in gennaio e luglio inferiori a 6°C e 24°C rispettivamente.

Disegnando una pianta semplificata, potremo innanzitutto riportare le zone passive, di 6m (il doppio dell'altezza, considerata 3m dal modello). Negli angoli viene data la precedenza alla zona più influenzata dal sole. Il piano superiore è valutato tutto come zona passiva.

Il primo passo, dunque, è computare le superfici.

A questo punto è possibile cominciare ad immettere i valori nel foglio di calcolo LT; inoltre, selezionando il set di grafici corrispondenti al caso di studio, ci riferiremo alle curve LT per



uffici in zona 1.

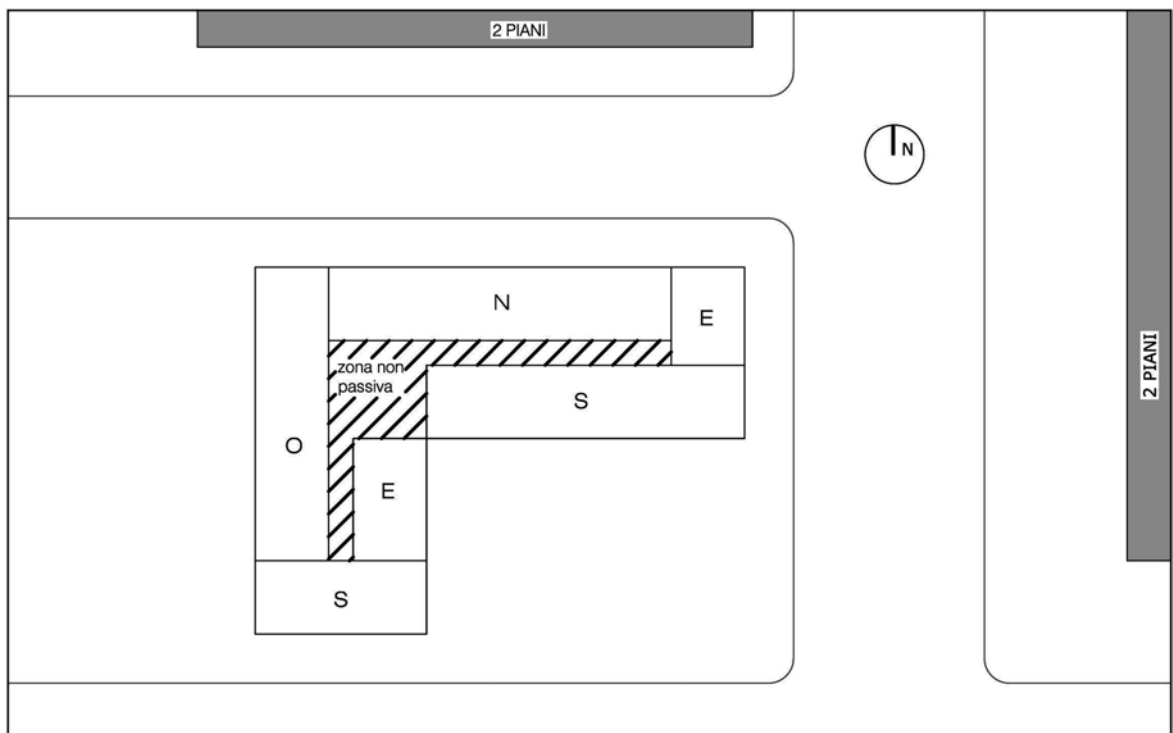
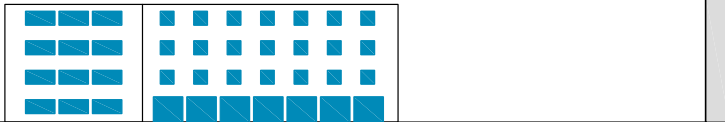
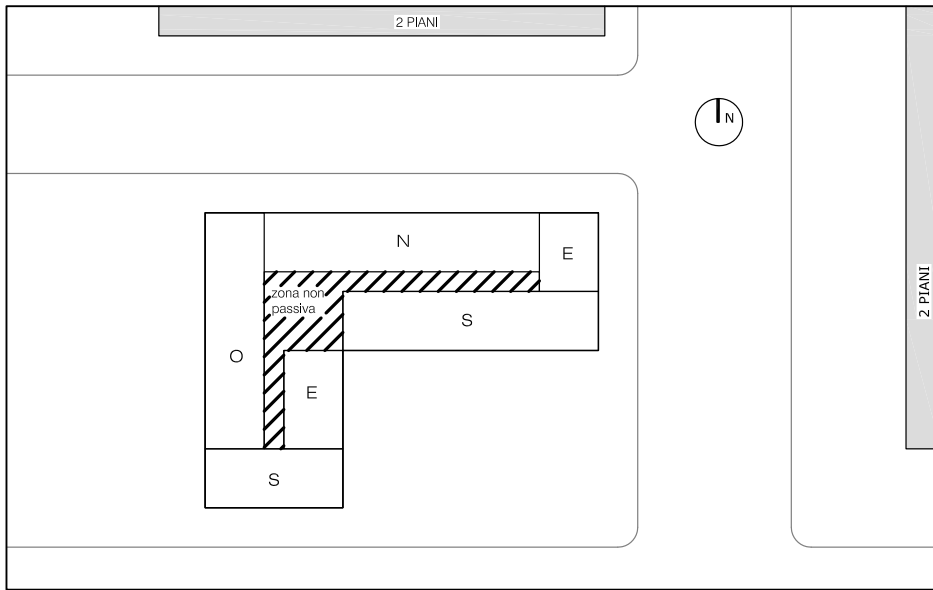
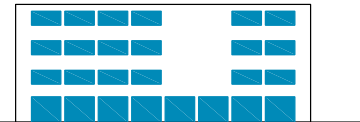


Figura 9.12:  
pianta schematica dell'edificio preso ad esempio. Si possono individuare le zone passive e le zone non passive per ogni esposizione.



LAYOUT PROSPETTO SUD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 139 / 480= 0,28



LAYOUT PROSPETTO OVEST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128 / 360= 0,35



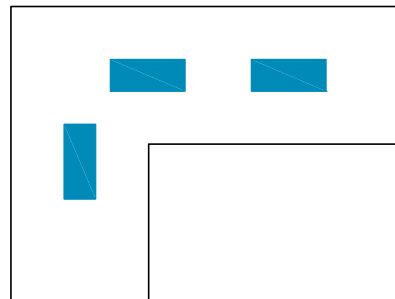
LAYOUT PROSPETTO NORD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 207 / 480 = 0,43



LAYOUT PROSPETTO EST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128/ 360= 0,35



LAYOUT PIANO DI COPERTURA

RRapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 73,5 / 784= 0,09

PIANI	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

TIPO DI SCHERMATURE A<sub>1</sub>:

Schermature mobili che vengono inserite solo in presenza di carichi termici di raffrescamento



Figura 9.13, 9.14: schermature mobili

Calcolo dei dati di progetto

Piani	Zone Passive					Zone non passive
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

INPUT: dati di progetto	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE	Superficie Totale		
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura				
Superficie delle zone m <sup>2</sup>	720	324	432	504	784	372	3136 m <sup>2</sup>		
Rapporto di vetratura delle facciate %	28	35	35	43	9				
<b>TIPO DI SCHERMATURE</b>									
Per Illuminazione: Trasmissione %	A <sub>t</sub>	A <sub>t</sub>	A <sub>t</sub>	A <sub>t</sub>	A <sub>t</sub>				
Raffrescamento: Rapporto vetratura corretto %	28	35	35	43	9				
MWh/m <sup>2</sup> anno									
INPUT: dati del modello	Consumo energetico specifico m <sup>2</sup>	Illuminazione	0,067	0,058	0,058	0,058	0,108	0,021	
		Riscaldamento	0,01	0,019	0,019	0,035	0,023	0,012	
		Ventilazione e Raffrescamento	0,083	0,078	0,078	0,072	0,09	0,02	
Consumo energetico totale	Illuminazione		48,2	18,7	25	29,2	84,6	78	
		Riscaldamento		7,2	6,1	8,2	17,6	18	4,4
		Ventilazione e Raffrescamento		59,7	25,2	33,6	36,2	70,5	7,4
							totale MWh/anno	282	
								61,5	
								232,6	

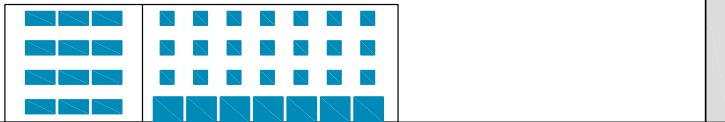
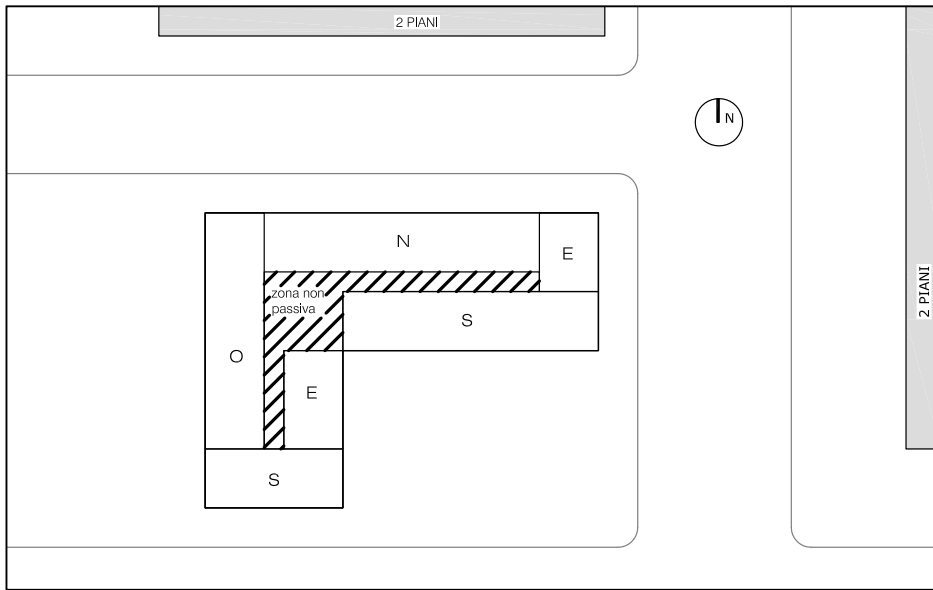
	Consumo netto annuo di energia primaria	
	MWh/m <sup>2</sup> anno	KWh/m <sup>2</sup>
Illuminazione	282	89
Riscaldamento	61	19
Ventilazione e Raffrescamento	232	73
<b>TOTALI</b>	<b>506</b>	<b>181</b>

Superficie zone passive / Superficie totale %	88
---	----

### Considerazioni:

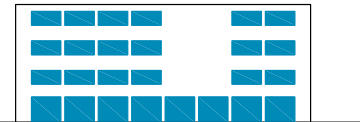
il primo caso valuta la presenza di schermature mobili, che riducono solo i carichi termici di raffrescamento e quindi questo non conduce ad un maggiore consumo di energia per l'illuminazione ed il riscaldamento.

Per comodità di discorso, e per fare emergere ancor di più le differenze tra i risultati di previsione, si considereranno le schermature distribuite in modo uniforme su tutti i fronti. Va però notato il fatto che è possibile con questo modello variare le schermature a seconda dell'esposizione.



LAYOUT PROSPETTO SUD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 139 / 480= 0,28



LAYOUT PROSPETTO OVEST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128 / 360= 0,35



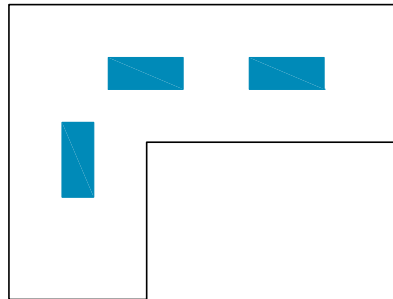
LAYOUT PROSPETTO NORD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 207 / 480 = 0,43



LAYOUT PROSPETTO EST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128/ 360= 0,35



LAYOUT PIANO DI COPERTURA

RRapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 73,5 / 784= 0,09

PIANI	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

TIPO DI SCHERMATURE A<sub>2</sub>:

Schermature fisse concepite in modo da non ridurre la disponibilità di luminosità diurna in profondità di pianta e da consentire una quota di guadagni termici solari utili in inverno

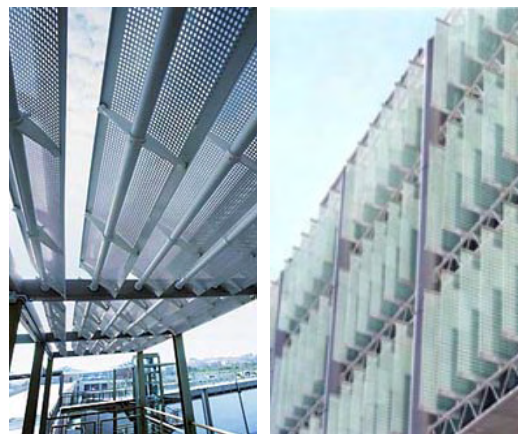


Figura 9.15, 9.16:  
schermature fisse ma leggere



Piani	Zone Passive					Zone non passive
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

		ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE			
		Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura		Superficie Totale		
INPUT: dati di progetto	Superficie delle zone m <sup>2</sup>	720	324	432	504	784	372	3136 m <sup>2</sup>		
	Rapporto di vetratura delle facciate %	28	35	35	43	9				
INPUT: dati del modello	TIPO DI SCHERMATURE	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>				
	Trasmissione %	70	70	70	70	70				
	Rapporto vetratura corretto %	20	24	24	30	6				
INPUT: dati del modello	Consumo energetico specifico m <sup>2</sup>	illuminazione	0,101	0,087	0,087	0,077	0,145	0,21		
		Riscaldamento	0,01	0,018	0,018	0,035	0,023	0,012		
		Ventilazione e Raffrescamento	0,078	0,075	0,075	0,072	0,088	0,02		
INPUT: dati del modello	Consumo energetico totale	illuminazione	72,7	28,1	37,5	38,8	113,6	78	368	
		Riscaldamento	7,2	5,8	7,7	17,6	18	4,4	60	
		Ventilazione e Raffrescamento	56,1	24,3	32,4	36,2	68,9	7,4	223	

	Consumo netto annuo di energia primaria	
	MWh/m <sup>2</sup> anno	KWh/m <sup>2</sup>
illuminazione	368	117
Riscaldamento	61	20
Ventilazione e Raffrescamento	223	71
TOTALI	651	208

Superficie zone passive / Superficie totale %	88
---	----

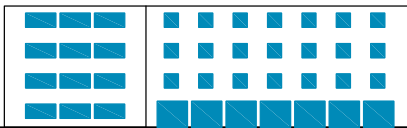
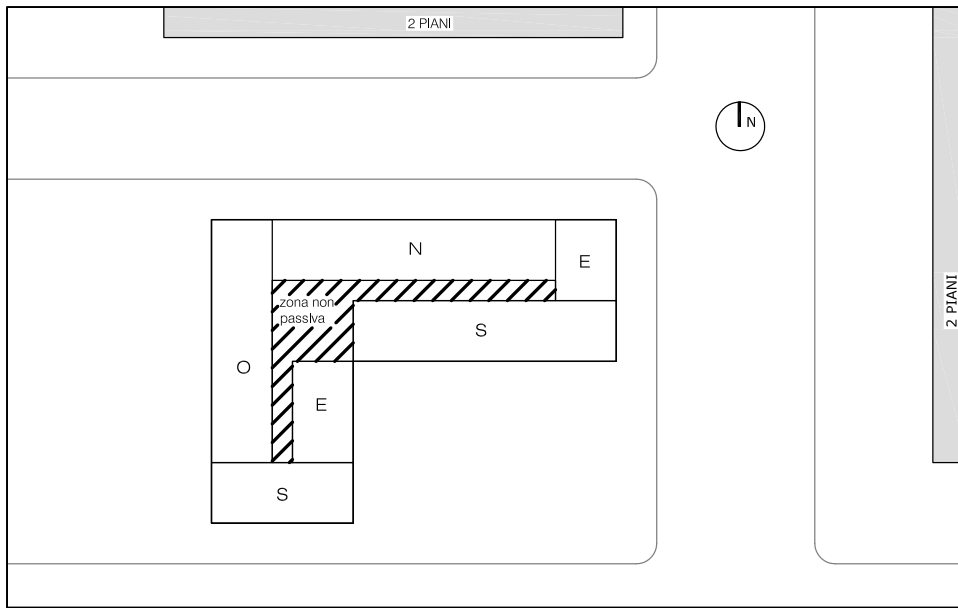
### Considerazioni:

in questo caso si valuta invece la presenza di schermature fisse, ma concepite in modo da non ridurre la disponibilità di luminosità diurna in profondità di pianta e da consentire guadagni termici solari utili in inverno.

Questo tipo di schermatura aiuta la redistribuzione della luminosità diurna verso il fondo della stanza, ma respinge una larga frazione di radiazione diretta quando il sole è alto sull'orizzonte.

Non si avrà quindi un aumento di consumo dell'energia per l'illuminazione, ma si può notare un lieve aumento di energia per il riscaldamento, dovuto alla riduzione dei guadagni solari utili in inverno.

Anche in questo caso, le schermature si considerano omogenee su tutti i fronti e sul lucernaio (caso limite), ma questa scelta è stata effettuata per fare emergere soltanto le differenze di risultati con i diversi dispositivi schermanti, e non ai fini di un'esplorazione progettuale, comunque facilmente realizzabile.



LAYOUT PROSPETTO SUD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 139 / 480= 0,28



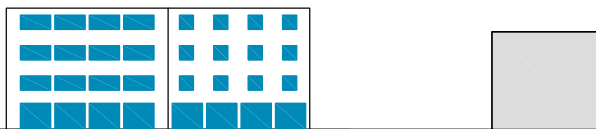
LAYOUT PROSPETTO OVEST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128 / 360= 0,35



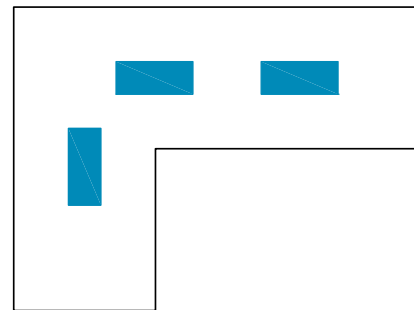
LAYOUT PROSPETTO NORD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 207 / 480 = 0,43



LAYOUT PROSPETTO EST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128/ 360= 0,35



LAYOUT PIANO DI COPERTURA

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 73,5 / 784= 0,09

PIANI	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

TIPO DI SCHERMATURE FILM OLOGRAFICO:

Schermature fisse concepite in modo da non ridurre la disponibilità di luminosità diurna in profondità di pianta e da consentire una quota di guadagni termici solari utili in inverno. Si tratta di pellicole trasparenti diffrangono la luce e la indirizzano in una direzione precisa; quindi non trasmettono la luce diretta. Un'unica pellicola può contenere delle "istruzioni" per quattro angoli d'incidenza diversi.

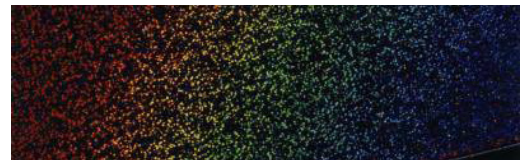


Figura 9.17, 9.18: film olografici

Piani	Zone Passive					Zone non passive
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

		ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE			
		Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura		Superficie Totale		
INPUT: dati di progetto	Superficie delle zone m <sup>2</sup>	720	324	432	504	784	264	3136 m <sup>2</sup>		
	Rapporto di vetratura delle facciate %	28	35	35	43	9				
INPUT: dati del modello	TIPO DI SCHERMATURE	film olografico	film olografico	film olografico	film olografico	film olografico				
	Trasmissione %	50	50	50	50	50				
	Rapporto vetratura corretto %	14	18	18	22	5				
INPUT: dati del modello	Consumo energetico specifico m <sup>2</sup>	illuminazione	0,101	0,087	0,087	0,077	0,145	0,21		
		Riscaldamento	0,01	0,018	0,018	0,035	0,023	0,012		
		Ventilazione e Raffrescamento	0,078	0,075	0,075	0,072	0,088	0,075		
Consumo energetico totale		illuminazione	72,7	28,1	37,5	38,8	113,6	55,4	346	
		Riscaldamento	7,2	5,8	7,7	17,6	18	3,1	59,4	
		Ventilazione e Raffrescamento	56,1	24,3	32,4	36,2	68,9	19,8	237,7	

	Consumo netto annuo di energia primaria	
	MWh/m <sup>2</sup> anno	KWh/m <sup>2</sup>
illuminazione	346	110,3
Riscaldamento	59,4	18,8
Ventilazione e Raffrescamento	237,7	75,7
TOTALI	643	204,8

Superficie zone passive / Superficie totale %	88
---	----

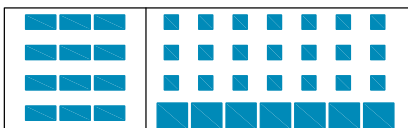
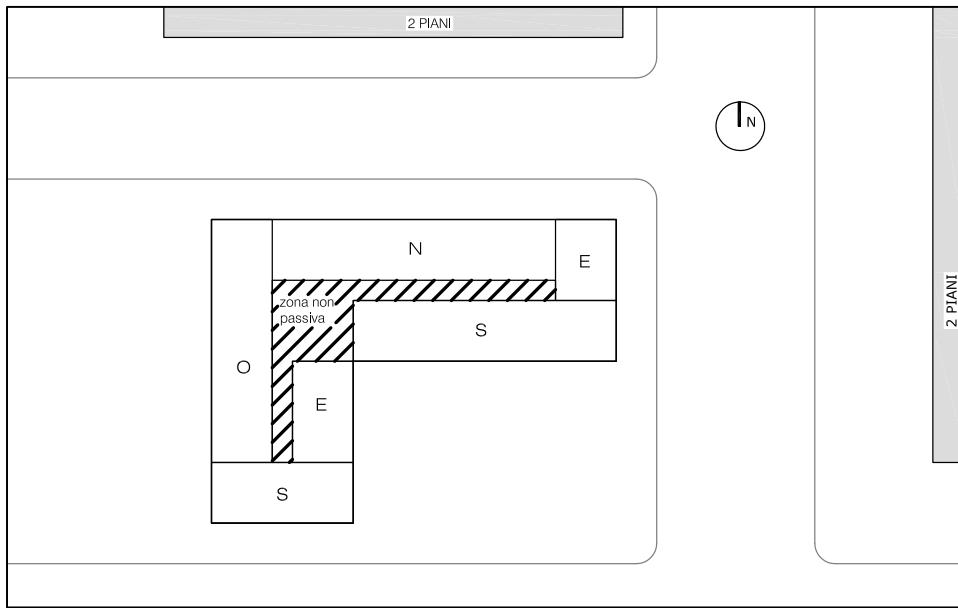
### Considerazioni:

Nel terzo caso si vuole prevedere il contributo di un film olografico, applicato su tutti i fronti (si sa, però, che si ottengono i migliori risultati quando questi film sono soggetti a luce diretta).

Rispetto ai film olografici, c'è da dire che il modello non consente di simulare l'aspetto geometrico del loro impiego (caratteristica invece interessante); per valutazioni più dettagliate si rimanda ad altri programmi di simulazione.

Si può notare come i dati sintetici per illuminazione, riscaldamento e raffrescamento siano facilmente confrontabili, sia per singola esposizione, che per indice totale sintetico.

Si nota anche il valore piuttosto alto dei consumi previsti: si ricorda che il modello LT, in questa versione, non consente di modificare i parametri delle parti opache ed inoltre la stima è fatta per casi non particolarmente virtuosi. Ciò non toglie l'utilità di operazioni tanto veloci e sintetiche.



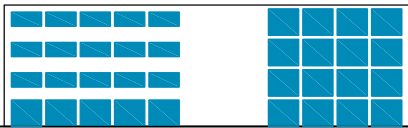
LAYOUT PROSPETTO SUD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 139 / 480= 0,28



LAYOUT PROSPETTO OVEST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128 / 360= 0,35



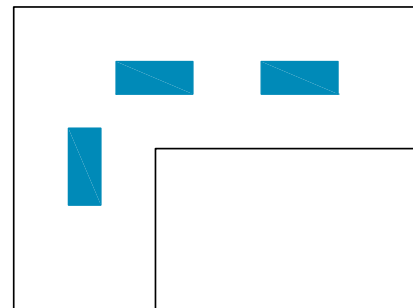
LAYOUT PROSPETTO NORD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 207 / 480 = 0,43



LAYOUT PROSPETTO EST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128/ 360= 0,35



LAYOUT PIANO DI COPERTURA

RRapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 73,5 / 784= 0,09

PIANI	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

TIPO DI SCHERMATURE FILM FOTOVOLTAICO:

Schermature fisse concepite in modo da ridurre parte della disponibilità di luminosità diurna; si tratta di moduli in silicio amorfo disposti in pattern geometrici e stabilizzati tra pellicole in PVB. I film fotovoltaici sono applicabili a vari tipi di serramento, ma bisogna tener presente che essi assorbono calore; pertanto si deve prevedere di evacuare il calore assorbito. Essi, tuttavia, trovano un impiego interessante come elementi schermanti, e sono presenti sul mercato con vari coefficienti di trasmissione della radiazione visibile globale, a seconda del pattern.

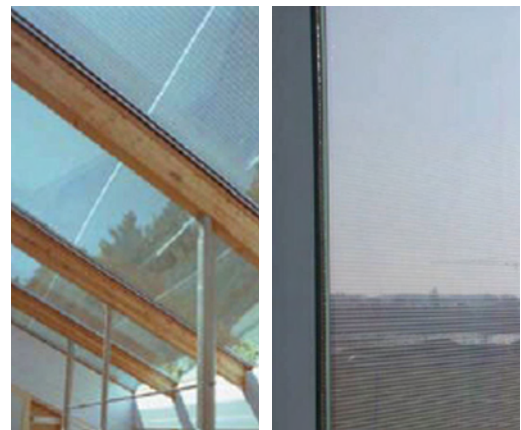


Figura 9.19, 9.20:  
film fotovoltaico



Calcolo dei dati di progetto	Piani	Zone Passive					Zone non passive
		Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
	0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
	x 3	720	324	432	504	-	372
	3	-	-	-	-	784	-
	Totale	720	324	432	504	784	372

INPUT: dati di progetto	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE	Superficie Totale		
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura				
	Superficie delle zone m <sup>2</sup>	720	324	432	504	784	3136 m <sup>2</sup>		
	Rapporto di vetratura delle facciate %	28	35	35	43	9			
	TIPO DI SCHERMATURE	film fotovoltaico	film fotovoltaico	film fotovoltaico	film fotovoltaico	film fotovoltaico			
	Trasmissione %	40	40	40	40	40			
	Rapporto vetratura corretto %	11	17	14	17	3			
		MWh/m <sup>2</sup> anno							
INPUT: dati del modello	Consumo energetico specifico m <sup>2</sup>	Illuminazione	0,146	0,126	0,132	0,132	0,16	0,21	
		Riscaldamento	0,01	0,018	0,018	0,035	0,023	0,012	
		Ventilazione e Raffrescamento	0,078	0,075	0,075	0,072	0,088	0,07	
		totale MWh/anno							
Consumo energetico totale		Illuminazione	105	40,5	57	66,5	125,4	55,4	449,8
		Riscaldamento	7,2	5,8	7,7	17,6	18	3,1	59,4
		Ventilazione e Raffrescamento	56,1	24,3	32,4	36,2	68,9	19,8	237,7

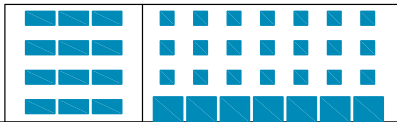
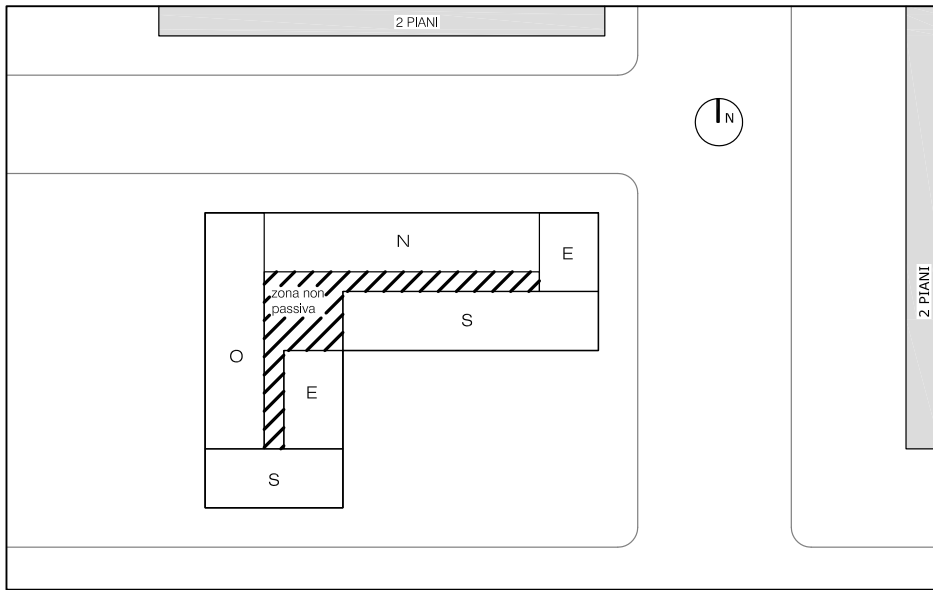
	Consumo netto annuo di energia primaria	
	MWh/m <sup>2</sup> anno	KWh/m <sup>2</sup>
Illuminazione	449	140
Riscaldamento	59,4	18,8
Ventilazione e Raffrescamento	237,7	75,7
TOTALI	740	230

Superficie zone passive / Superficie totale %	88
---	----

### Considerazioni:

In questo caso si simula l'impiego di film fotovoltaici. C'è da specificare che il dato relativo alla Trasmissione di radiazione visibile non è riferito esclusivamente al film in silicio amorfo nella sua parte opaca o semitrasparente, ma considera il valore globale della distribuzione di tale parte nel componente vetrato. A tal riguardo, i produttori mettono a disposizione un range molto ampio di possibili configurazioni, con valori di trasmissione che variano anche sensibilmente.

Il modello non valuta il guadagno energetico prodotto dai dispositivi fotovoltaici, ma questa stima può essere fatta a lato, ed essere sottratta ai consumi totali annui stimati.



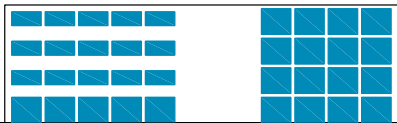
LAYOUT PROSPETTO SUD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 139 / 480= 0,28



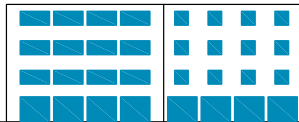
LAYOUT PROSPETTO OVEST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128 / 360= 0,35



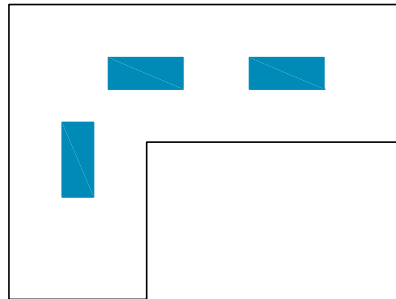
LAYOUT PROSPETTO NORD

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 207 / 480 = 0,43



LAYOUT PROSPETTO EST

Rapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 128/ 360= 0,35



LAYOUT PIANO DI COPERTURA

RRapporto vetratura = Area vetrata/ Area totale = 73,5 / 784= 0,09

PIANI	ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE
	Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
x 3	720	324	432	504	-	372
3	-	-	-	-	784	-
Totale	720	324	432	504	784	372

TIPO DI SCHERMATURE: PELLICOLE LUMISTY

Pellicola trasparente adesiva che, in base ad alcuni angoli d'incidenza, è in grado di modificare la possibilità di visione. In particolare quando ci si trova frontalmente, rispetto alla prima pellicola biangolo, o alla superficie sulla quale è stata applicata, possiamo vedere attraverso come se non ci fosse, ma se ci si sposta lateralmente l'effetto sfocatura crea uno schermo totale. Essendo laminato su una pellicola in PVB, questo film ha anche proprietà di sicurezza anti-rottura e di filtro anti-UV.



Figura 9.21, 9.22:  
film Lumisty

Calcolo dei dati di progetto	Planl	Zone Passive					Zone non passive
		Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura	
	0, 1, 2	240	108	144	168	-	124
	x 3	720	324	432	504	-	372
	3	-	-	-	-	784	-
	Totale	720	324	432	504	784	372

		ZONE PASSIVE					ZONE NON PASSIVE			
		Sud	Est	Ovest	Nord	Copertura		Superficie Totale		
INPUT: dati di progetto	Superficie delle zone m <sup>2</sup>	720	324	432	504	784	264	3136 m <sup>2</sup>		
	Rapporto di vetratura delle facciate %	28	35	35	43	9				
INPUT: dati del modello	TIPO DI SCHERMATURE	film Lumisty	film Lumisty	film Lumisty	film Lumisty	film Lumisty				
	Trasmissione %	90	90	90	90	90				
	Rapporto vetratura corretto %	26	32	32	38	8				
INPUT: dati del modello	Consumo energetico specifico m <sup>2</sup>	illuminazione	0,08	0,065	0,065	0,064	0,116	0,21		
		Riscaldamento	0,01	0,019	0,019	0,035	0,023	0,012		
		Ventilazione e Raffrescamento	0,083	0,078	0,078	0,072	0,09	0,07		
Consumo energetico totale	Consumo energetico totale	illuminazione	57,6	21	28	32,2	90,8	55,4	285	
		Riscaldamento	7,2	6,1	8,2	17,6	18	3,1	59,4	
		Ventilazione e Raffrescamento	59,7	25,2	33,6	36,2	70,5	19,8	237,7	

	Consumo netto annuo di energia primaria	
	MWh/m <sup>2</sup> anno	KWh/m <sup>2</sup>
illuminazione	285	90
Riscaldamento	59,4	18,8
Ventilazione e Raffrescamento	237,7	75,7
TOTALI	580	183

Superficie zone passive / Superficie totale %	
---	--

### Considerazioni:

Nell'ultimo esempio si considera il caso di un film in grado di garantire visibilità verso l'interno e dall'interno solo a determinati angoli di visione rispetto alla superficie.

Questa caratteristica però non filtra la luminosità, che rimane quasi totalmente disponibile.

Si possono confrontare i valori risultanti con le altre configurazioni esaminate e valutare differenze e possibilità.

In particolare, si ribadisce il fatto che, anche se in questi esempi non si sono differenziate le schermature per i fronti e per i lucernai, considerandole volta per volta distribuite in modo omogeneo, questo modello presenta invece un interessante risvolto progettuale, consentendo di esplorare configurazioni in cui, per ogni fronte, c'è il dispositivo schermante più appropriato.

### 9.6 Validazione delle operazioni compiute sul modello con gli autori del metodo LT

Un modello come quello ottenuto è il risultato di un lungo lavoro da parte di molte persone, in cui questa tesi porta appena un piccolo contributo. Fortunatamente i modelli possono essere utilizzati ed anche modificati senza bisogno di studiare la complessa storia del loro sviluppo:

*“Ciò succede abbastanza di frequente, quando i modelli nati per la scienza si rendono disponibili alla tecnologia (...) è tipico dei modelli scientifici il non avere altro scopo, oltre a quello di essere, appunto, dei modelli, sempre disponibili per chiunque ne abbia bisogno”<sup>112</sup>*

L'operazione svolta in questa ricerca consiste nella modifica di un modello disponibile al fine di realizzare uno strumento di previsione ad uso degli architetti, ed è esplicitamente mirata a comprendere e prevedere alcuni effetti dei film individuati, in modo da metterli in relazione con l'intero sistema di cui fanno parte, e da fornire una previsione del loro impatto fin dalle prime fasi progettuali.

Questa operazione di modifica ha coinvolto il modello LT per le sue caratteristiche, e si è svolta in due fasi: dapprima la comprensione ed esplicitazione della struttura e delle parti del modello, poi l'introduzione e la costruzione di una nuova architettura per il modello modificato.

La terza operazione, di verifica e validazione di quanto effettuato, si è svolta a Cambridge, nel Regno Unito, nel dipartimento di ricerca Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Faculty of Architecture, ed ha visto coinvolti direttamente gli autori del modello LT iniziale: i professori Koen Steemers (oggi direttore del dipartimento), ed il prof. Nick Baker, principale responsabile dello sviluppo del modello LT.

In questa fase il modello modificato dall'integrazione dei film è stato verificato e discusso con entrambi i professori sotto molteplici aspetti.

Innanzitutto, è stata affrontata una verifica della validità metodologica di questa operazione sul modello LT, sia da un punto di vista dell'impostazione teorica (film come elementi schermanti in grado di avere ricadute quantificabili), sia da un punto di vista “operativo”, relativo alla manipolazione e interazione dei dati.

Oltre a questo aspetto, sono poi state affrontate discussioni più



ampie sul tema e sull'utilizzo di modelli nella ricerca, che verranno espresse più diffusamente nel prossimo capitolo.

Dal punto di vista dell'impostazione teorica, l'introduzione dei film al modello LT è stata validata costituendo di fatto un'estensione delle operazioni che valutano l'influenza dei dispositivi schermanti. I film possono essere considerati una strategia di controllo del flusso solare fin dalla fase iniziale della progettazione poiché esistono molti possibili casi in cui non è possibile intervenire con altri dispositivi (ad esempio per precise scelte progettuali o per ragioni di contesto - storico o vincolato)<sup>114</sup>.

Dal punto di vista operativo, la modifica del modello iniziale (ottenuta attraverso la costruzione di una diversa struttura delle interazioni), è stata verificata e discussa soprattutto con il prof. Baker, responsabile del gruppo di ricerca che sta sviluppando la nuova versione del modello, e si è svolta attraverso prove e discussioni.

Nell'ambito della versione utilizzata, le impostazioni e l'organizzazione di dati ed interazioni sono state considerate valide, rispettando sia dimensionalmente che dal punto di vista metodologico gli assunti iniziali; inoltre, il modello finale è stato verificato e testato con prove condotte nel Martin Centre.

### **9.7 Continuità con la nuova versione del metodo LT**

Il limite del modello, subito evidente nella versione 3.0, e qui dichiarata esplicitamente (cfr. par. 8.9, 8.10) è quella di impiegare solo una delle caratteristiche di controllo del flusso solare (la trasmissione di radiazione visibile), e di utilizzarla come fattore correttivo sia per l'aspetto di consumo energetico per illuminazione che per riscaldamento.

Il procedimento è dunque esatto, ma il modello impiega meno informazioni di quelle disponibili. È tuttavia in fase di conclusione una implementazione del modello LT, parte di un più ampio programma del governo inglese sui modelli di previsione del comportamento energetico del progetto, che consiste in una nuova versione in formato completamente digitale, e che risolve questo limite.

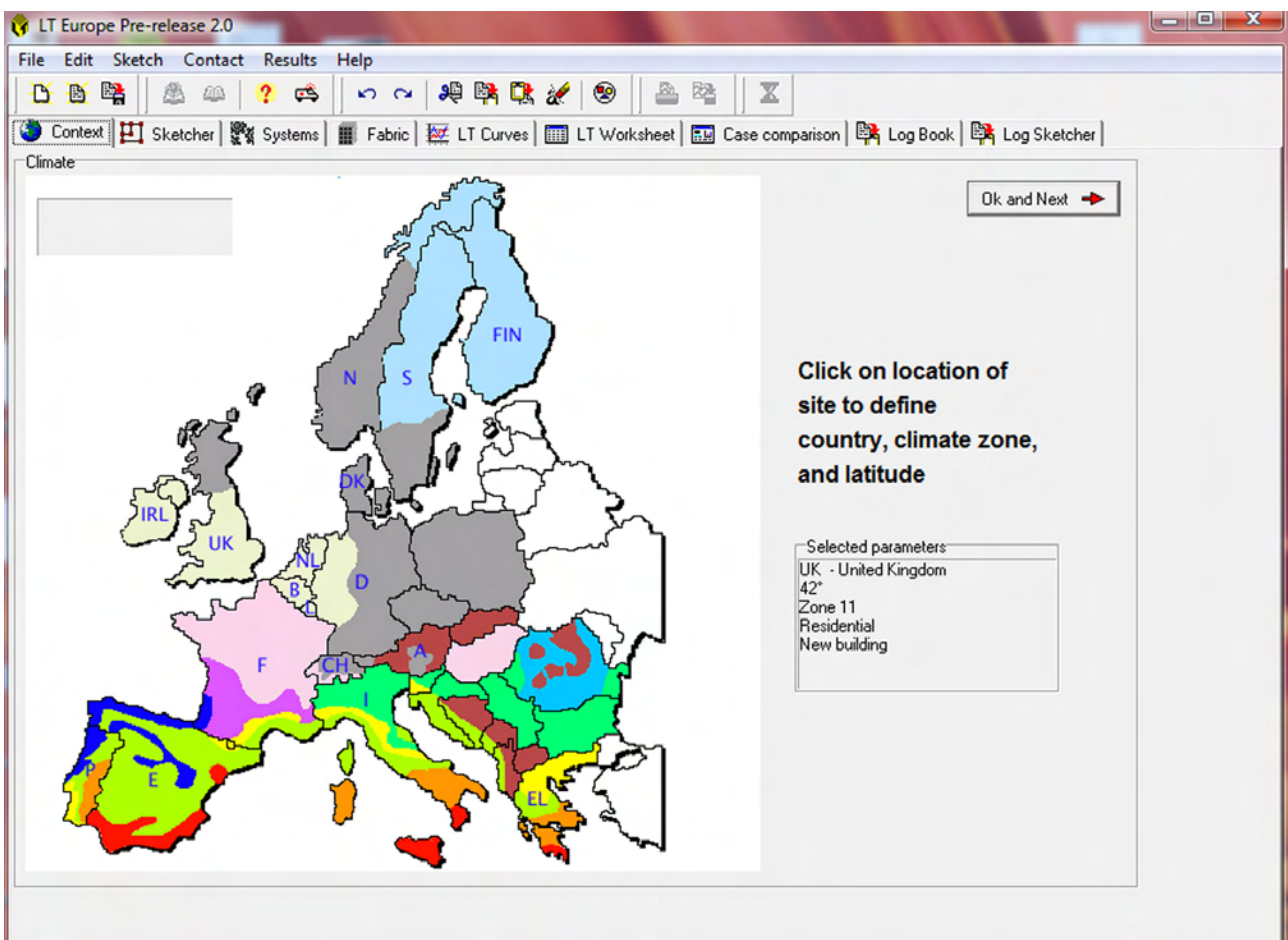
La nuova versione supera e migliora molti dei limiti delle versioni precedenti, introducendo la possibilità di immettere molti altri dati. Le zone climatiche iniziali sono molto meglio articolate, le parti opache sono progettabili, così come le principali caratteristiche degli

impianti, ed è consentita un'interfaccia di disegno automatizzato che rende estremamente veloci ed agevoli le operazioni.

Rispetto alle poche variabili di immissione del modello LT nella versione manuale, la nuova versione consentirà ben 32 variabili progettuali di immissione consentendo di specificare molto meglio le condizioni di progetto e di ottenere dati di output molto più precisi.

Per quanto riguarda lo specifico campo di interesse dei sistemi schermanti, si recepisce tutto quello che le versioni precedenti avevano realizzato, e si compie lo sforzo di permettere l'immissione

Figura 9.23:  
Le zone climatiche nel nuovo modello LT



separata di caratteristiche legate al vetro e caratteristiche legate ai dispositivi schermanti, senza concentrarsi sulla forma o sulla geometria degli stessi, ma impiegando le caratteristiche principali di trasmissione di radiazione visibile e trasmissione di energia solare:

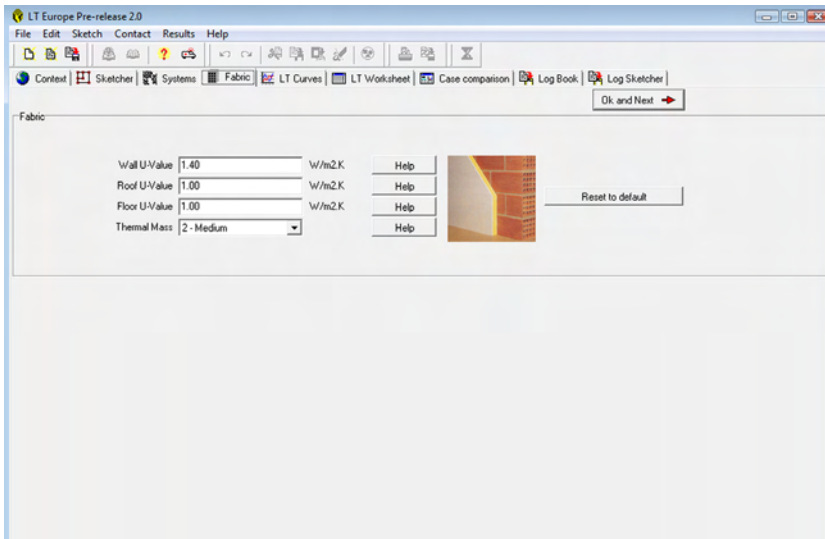


Figura 9.24

Figura 9.24, 9.25:  
Le schermate del nuovo modello LT relative rispettivamente alla progettazione della parte opaca d'involucro e degli impianti.

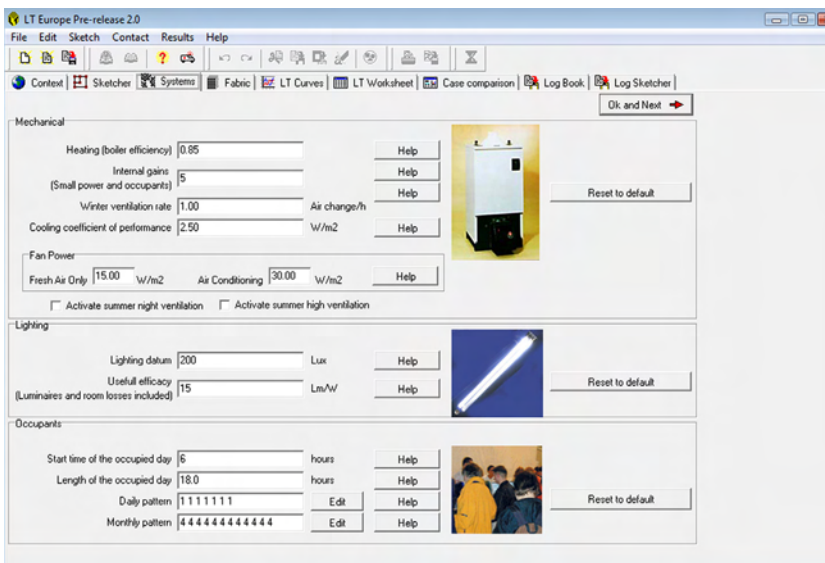


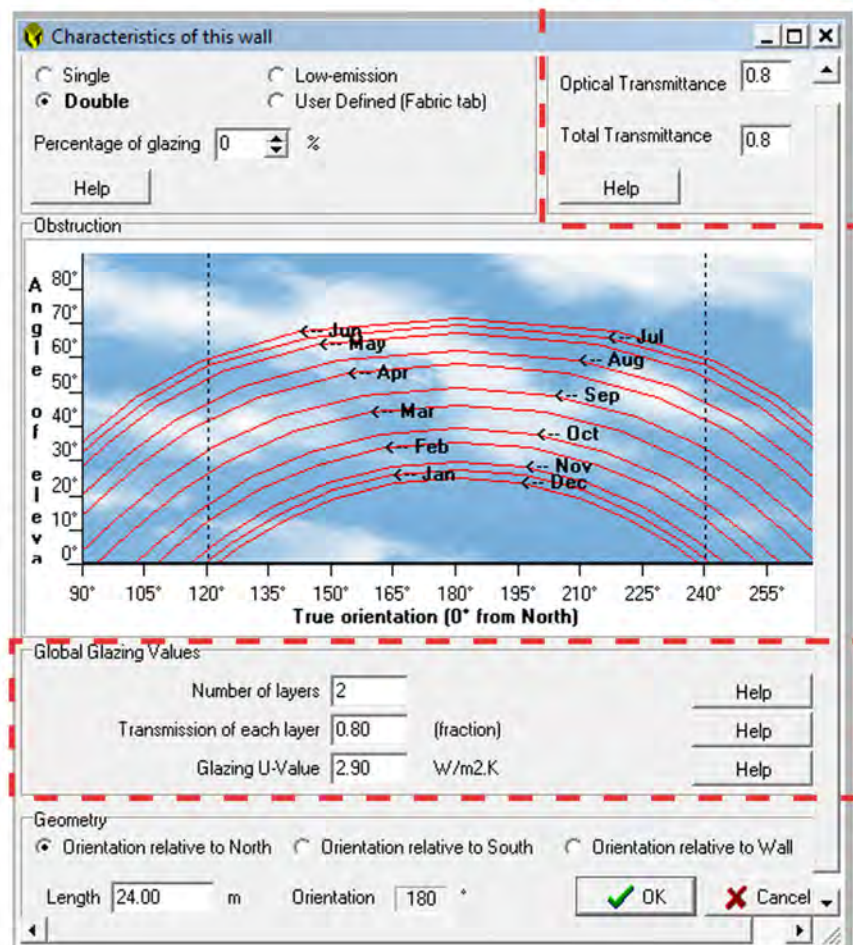
Figura 9.25

le stesse, appunto, che in questa ricerca erano state privilegiate.

Tutto il lavoro svolto sulla base della versione 3.0 è stato verificato al Martin Centre anche per la nuova versione del modello, con l'aiuto (e la pazienza) del prof. Baker, dimostrando l'assoluta compatibilità e congruità di dati ed impostazioni teoriche.

Le caratteristiche energetiche e quelle ottiche hanno immissioni separate, che vengono poi sommate dal software per ricavare i

Caratteristiche ottiche



Caratteristiche energetiche

Figura 9.26:

La schermata che mostra la sostanziale continuità tra il lavoro svolto in questa ricerca e lo sviluppo assunto dal nuovo modello LT:

sono distinte le caratteristiche ottiche e quelle energetiche degli elementi schermanti, ed è possibile inserire separatamente i due valori.

La finestra Help conterrà alcune soluzioni standard, ed alcuni dei film considerati in questa ricerca potranno esservi inseriti.



valori globali.

#### Contributo al modello LT ufficiale

La nuova versione del modello LT consente dunque un livello di indagine e di immissione dei dati molto più raffinata delle versioni precedenti.

L'architettura logica del modello, tuttavia, nel tempo è rimasta la stessa, articolandosi in sotto-modelli più precisi (e meglio definiti dal punto di vista computazionale), e dunque tutte le operazioni fin qui compiute si sono dimostrate completamente integrabili alla nuova versione del modello, attualmente in fase di completamento.

L'intenzione (non ancora realizzata) è quella di inserire nelle finestre Help i valori corrispondenti alle soluzioni più diffuse, in modo da facilitare l'utente nell'immissione.

*“I film sono semplici da modellare (con il modello LT), perchè in genere non hanno bisogno di essere considerati nel loro aspetto geometrico”<sup>115</sup>*

Durante le prove al Martin Centre è stato poi considerato il caso dei film geometricamente selettivi, come ad esempio i film olografici, e si è arrivati alla possibilità di simulare anche il comportamento “geometrico” degli stessi (ben oltre le intenzioni del programma). Questo dimostra il potenziale di implementazione del modello, ed il suo carattere aperto, quasi open source, che non impedisce e anzi auspica continui miglioramenti.

A seguito dell'incontro con il team di ricerca del Martin Centre di Cambridge, la tesi contribuirà fornendo un piccolo set di esempi che potranno essere inseriti nel modello ufficiale. L'inserimento riguarderà soprattutto i film olografici, i film a taglio laser, ed alcuni altri. L'inserimento avverrà con le modalità descritte in par. 9.8 (nella finestra Help del programma, in cui verranno inseriti i valori di una serie di soluzioni).

Note:

<sup>110</sup> CAPUTO Paola, “Strumenti di valutazione del comportamento energetico”, in *Il Progetto Sostenibile*, n.16, dicembre 2007, pp.12-21

<sup>111</sup> MORABITO Giuseppe (2004), op. cit.

<sup>112</sup> AA.VV. (1980), op. cit., p.123.

<sup>113</sup> BAKER Nick, “High performance daylighting- light and shade”, in *Revival, Technical Monograph* n.4, EU project, in [www.revival-eu.net](http://www.revival-eu.net)

<sup>114</sup> dichiarazione fatta dal prof. Nick Baker in occasione del colloquio avuto a Cambridge, Martin Centre, Gennaio 2008.

“films are easier to model, because they don't need to be geometrically considered”



Figura 10.1: pellicole decorative colorate





### 10.0 Abstract

Si affronta una valutazione critica sulla ricerca: nella prima parte si considerano conclusioni di bilancio rispetto agli obiettivi della ricerca, valutandola secondo i requisiti della riconoscibilità, originalità, utilità e falsificabilità. Si indicano i risultati raggiunti, ma anche le riserve ed i limiti metodologici ed applicativi.

Si apre poi una discussione critica, che investe contenuti e metodo della ricerca. Tale discussione riguarderà sia l'impiego dei dispositivi analizzati, considerandone limiti ed opportunità rispetto all'integrazione nell'involucro di architettura, sia l'uso dell'informazione, attraverso letture finalizzate all'uso da parte di un architetto, sia, infine, l'utilità di usare i modelli simulativi come strumenti di previsione ed indicazione nelle prime fasi progettuali. I risultati raggiunti verranno poi collocati in contesti e teorie, individuandone possibili sviluppi.

### 10.1 Risultati

L'obiettivo che ha istruito questa ricerca, nei limiti delle risorse disponibili da un dottorando, è stato quello di sviluppare un approccio all'innovazione di prodotto rappresentata dai film per l'architettura, concentrandosi sull'uso dell'informazione da parte di un architetto.

Il prodotto di questa tesi di ricerca consiste in due tangibili elementi che possono essere usati e controllati in vari modi, tutti legati alle prassi progettuali.

- Database:

Il database permette di ricercare alcuni dei film applicabili alle parti di involucro e disponibili sul mercato mediante alcune chiavi di accesso, corrispondenti a tipologie di dati differenti. Le chiavi di accesso sono quattro: prestazioni, supporto, produttore, caratteristiche. Il database naturalmente non è esaustivo di tutti i dispositivi disponibili, ma vuole essere di riferimento per orientare un progettista nel panorama dei film per l'involucro di architettura.

- Modello

Il modello realizzato individua come principale parametro di immissione la percentuale di superficie vetrata di un edificio, per

ognuno dei suoi fronti, ed i relativi dispositivi schermanti. Immessi questi dati, è possibile ottenere in valori molto approssimati una stima dei consumi energetici legati a illuminazione, riscaldamento e raffrescamento, espressi in consumo medio annuo per mq di superficie (La superficie di vetratura è infatti la variabile determinante per valutare l'apporto di luce naturale ed energia termica solare, ma anche luogo delle maggiori dispersioni termiche: in questo difficile equilibrio, il modello aiuta ad orientarsi). Ciò consente di ottenere dati relativi ad ogni layout di progetto, oppure di confrontare soluzioni tecniche differenti per lo stesso layout.

Il modello costruito porta con sé pregi e difetti della struttura originale del modello madre - il Modello LT- per cui:

- è utile esclusivamente nella fase progettuale iniziale, e pertanto i dati che produce sono approssimati (spesso esagerando i consumi per eccesso)
- è anche estremamente semplice da utilizzare da ogni architetto, richiedendo un livello di definizione progettuale poco approfondito e calcoli molto semplici da effettuare (esiste inoltre un software corrispondente).
- aiuta a supportare le scelte progettuali in una fase strategica, in cui alcuni accorgimenti (esposizione e percentuale di vetrate, ma soprattutto scelte progettuali sugli elementi schermanti) possono risultare determinanti per una corretta impostazione del progetto e per i suoi successivi sviluppi.

## 10.2 Conclusioni (bilancio del lavoro di ricerca)

Data la possibilità di utilizzare direttamente i risultati della ricerca, nell'ambito del progetto di architettura, sembra inutile trovare giustificazioni della validità del lavoro proponendo una serie di applicazioni diverse, che per i vincoli di stesura di questo elaborato, non possono essere esaustivi e conseguentemente convincenti.

Ci sembra allora che un discorso conclusivo sul lavoro si possa ottenere valutando la scientificità del programma di ricerca svolto.

Per far questo proponiamo l'applicazione dei quattro requisiti fondamentali proposti da Umberto Eco nel suo bestseller *Come si fa una tesi di Laurea*.

Il primi due requisiti, la riconoscibilità, legata alla definizione inequivocabile dell'argomento di tesi, limiti del campo d'indagine e l'originalità, contenuto innovativo rispetto allo stato attuale delle

conoscenze, è possibile valutarli nelle prime parti di questo lavoro. I secondi due requisiti, l'utilità, definita al campo d'uso ed al possibile sviluppo di altre ricerche, e la falsificabilità, come controllo della dipendenza dei risultati dai dati d'ingresso, sono da osservare nei prodotti finali della tesi.

- Riconoscibilità

La riconoscibilità del tema di ricerca procede dalle riflessioni sull'uso di prodotti innovativi (film e strati funzionalizzati) per il sistema involucro e le sue parti, ed investe considerazioni che riguardano sia l'informazione utile per il progettista, sia l'uso dell'informazione stessa.

Il tema emerge dal campo primario di ricerca, che riguarda gli involucri edilizi, in un preciso aspetto della loro evoluzione in sistema complesso di strati specializzati (cap.1), e da alcune dinamiche di innovazione tecnologica (push e pull) che hanno sostenuto tale innovazione (cap. 2), ma si specifica nell'operazione critica di contestualizzazione all'uso da parte di un architetto, portando a riflessioni che finalizzano ulteriormente le conoscenze e le sperimentazioni possibili.

La ricerca, dunque, riguarda un tema chiaramente riconoscibile, anche se esteso, e nella terza parte di approfondimento e sperimentazione focalizza ulteriormente risorse informative e strumenti contribuendo a definire in modo chiaro e univoco ambiti, strumenti e metodi di ricerca.

- Originalità

L'originalità della ricerca emerge sotto diversi aspetti:

*Campo d'indagine*

Innanzitutto, dall'analisi dello stato dell'arte, si può affermare che non esistesse una trattazione esplicita dei film e degli strati funzionalizzati che li riconoscesse come elementi autonomi, e fosse mirata ad un impiego in architettura. Le molte trattazioni che attualmente investono parte di questi prodotti (soprattutto quelli per il controllo del flusso solare) sono inserite nel contesto dell'evoluzione dei componenti vetrati, ma non riconoscono, a nostro avviso, con chiarezza la specificità dei componenti a spessore filmico (film sottili e film spessi), né è una prova la complessità di definizione degli stessi nell'ambito dell'architettura (cap. 4).

La ricerca individua in questi elementi veri e propri componenti a spessore sottile, dotati di specifiche caratteristiche produttive e tecniche, e pertanto focalizza l'attenzione sulla disponibilità di conoscenze a loro collegata.

#### *Approccio metodologico*

Un importante aspetto di originalità della ricerca è individuabile in un approccio all'innovazione di prodotto che supera l'approccio specialistico (più proprio di altre discipline) nel tentativo di costruire generalizzazioni e collegamenti tra diversi livelli di descrizione del problema. La metodologia scelta per condurre la ricerca è stata dunque dettata da un approccio sistemico al problema, che ha portato allo sforzo di tessere i rapporti tra i dispositivi analizzati ed il sistema di cui fanno parte, utilizzando in modo progettuale gli strumenti di modellazione esistenti.

#### *Risultati*

Il primo risultato ottenuto è stato quello di costruire un sistema di dati organizzato di film e strati funzionalizzati, non esaustivo ma indicativo del panorama dei prodotti esistenti e soprattutto finalizzato all'uso in architettura. Tale risultato può considerarsi originale non in quanto porta nuovi fatti e dati analitici (forniti da scienziati e produttori), ma perché fornisce dati sintetici, contestualizzati alla costruzione e pertanto utilizzabili.

Il secondo risultato ottenuto è stato uno strumento sperimentale di previsione del contributo prestazionale dei film al sistema involucro, che permette di supportare la fase progettuale iniziale con previsioni e valutazioni sintetiche a carattere indicativo. Questo strumento è nel complesso nuovo ed originale, perché progettato e realizzato esplicitamente per valutare l'impiego dei film, pur utilizzando elementi in gran parte già esistenti.

#### • Utilità

Considerazioni sull'utilità dei risultati ottenuti possono essere effettuate sia rispetto alla organizzazione delle informazioni, sia rispetto al modello sperimentale ottenuto.

#### Utilità del sistema di informazioni

Ludwing Wittgstein nella sua *Logisch-philosophische Abhandlung* sottolinea la profonda differenza esistente tra i "fatti" e i "dati". I primi reali ed unici e i secondi astrazioni variabili per i fini per cui si creano. L'impossibilità di comunicare direttamente con i

“fatti” porta conseguentemente che ogni informazione sui “fatti” si avvale di un sistema di “dati”, costruito apposta per migliorare la comunicazione o per altri fini. Ne consegue che l’informazione, utile per il progettista in tutte le fasi della ricerca, se in mano al produttore, risente degli interessi di quest’ultimo.

Infatti, come si è potuto verificare un continuo aumento del numero e della quantità dell’informazione commerciale sui film applicabili all’involucro edilizio, i relativi dati tecnici sono il più delle volte generici e non omogenei. A questo tipo di dati si contrappone invece la letteratura scientifica che da qualche anno ormai si occupa di validare, testare, misurare le applicazioni più avanzate di alcuni film all’involucro edilizio, fornendo dati estremamente precisi ed analitici, ma proprio per questo poco generalizzabili e quindi poco utilizzabili in fase progettuale.

Da questo punto di vista la ricerca contribuisce con un’organizzazione dell’informazione utile, non perchè specialistica (quindi operante su singoli livelli di descrizione del problema), ma perchè organizzata in un approccio complessivo, più proprio dell’operare dell’architetto.

Utilità del modello ottenuto

L’utilità del modello realizzato emerge dalla semplicità con cui è possibile effettuare previsioni sulle prestazioni energetiche del progetto al variare dei film, impiegati per il controllo del flusso solare. Un utilizzo del modello realizzato in fase progettuale fornisce risultati immediati e facilmente comprensibili. Naturalmente i dati di output sono estremamente approssimati e sintetici, e la loro validità è limitata alla sola fase iniziale della progettazione; in questa fase, però, sono molto utili e indicativi.

- Falsificabilità

In tutte le fasi del suo sviluppo, la ricerca dichiara esplicitamente sia l’approccio metodologico che le fonti di informazione necessarie a compiere operazioni di verifica e falsifica delle ipotesi che presenta.

Questo aspetto è particolarmente importante nei due punti in cui possono essere strutturati i risultati della ricerca:

- nell’organizzazione dei “fatti” in un “sistema di dati”, tale requisito è rispettato specificando fonte dei dati, metodo di selezione e strumento di gestione degli stessi (database). L’efficacia di questo metodo organizzativo si è poi rivelata nelle fasi sperimentali di



questo database, sia nello strumento realizzato nell'ambito di questa ricerca, sia nella integrabilità con il nuovo modello LT, in fase di completamento al Martin Centre di Cambridge.

- nella progettazione e realizzazione di uno strumento per la sperimentazione di tale sistema di dati, sviluppato come un modello semplificato di previsione del comportamento termico-luminoso del sistema involucro.

Lo strumento realizzato si è ottenuto manipolando e modificando un modello simulativo già esistente, e comunemente impiegato per il controllo energetico in fase ideativa. Per questo motivo, la validazione ha necessariamente investito diversi aspetti.

Dal punto di vista metodologico, l'organizzazione del modello simulativo, e le operazioni sui dati di input, sono verificabili in ogni passaggio.

Dal punto di vista operativo, è possibile ripercorrere tutte le fasi dello sviluppo di questo strumento, fino alla sperimentazione su un set di casi di studio. Questa fase, relativa alla validazione operativa del modello proposto, si è svolta a Cambridge, con il supporto degli autori del modello LT iniziale.

Il modello LT considerato in questa ricerca si è nel tempo evoluto attraverso varie fasi (l'ultima è attualmente in fase conclusiva e verrà completata entro un paio di mesi), divenendo molto più preciso sia nelle variabili di immissione che nei dati di output. L'architettura logica del modello è tuttavia rimasta la stessa, consentendo uno sviluppo dei suoi sotto-sistemi perfettamente integrabile. Prova ne è stata il fatto che le riflessioni e le operazioni qui compiute siano state verificate dagli autori (soprattutto il prof. Nick Baker), che hanno validato la compatibilità metodologica ed operativa delle modifiche effettuate.

A seguito dell'incontro con il team di ricerca del Martin Centre di Cambridge, la tesi contribuirà fornendo un piccolo set di esempi che potranno essere inseriti nel modello ufficiale. L'inserimento riguarderà soprattutto i film olografici, i film a taglio laser, ed alcuni altri. L'inserimento avverrà con le modalità descritte in par. 9.8 (nella finestra Help del programma, in cui verranno inseriti i valori relativi ad una serie di soluzioni).

## 10.2 Limiti e riserve

I limiti del presente lavoro sono dichiarati in ciascuna delle fasi di

approfondimento della ricerca.

- *Ambiguità di classificazione*

Innanzitutto, i limiti di campo riguardano gli elementi analizzati: si è avuto modo di riflettere sulla difficoltà di classificare ed individuare in modo univoco tali prodotti (par.4.1, 4.2), e ciò è in parte dovuto alla continua sperimentazione in atto; altro limite è il campo di applicazione, individuato dal sistema involucro e dai suoi componenti. Sistema certo complesso, ma che permette di individuare un set di problemi (indicati dalla normativa esigenziale-prestazionale), rispetto cui confrontarsi.

- *Arbitrarietà nell'organizzazione dei dati*

Non sfugge il fatto che anche la scelta dell'organizzazione delle informazioni costituisce già di per sé una scelta necessariamente arbitraria tra le molte possibili, restringendo il campo del reale a quello che si decide di considerare, e riducendo le possibilità di indagine nella misura dei limiti dello strumento deputato a gestire le informazioni (cap. 6).

- *Limitazione del campo d'indagine*

Ulteriore restrizione del campo di indagine si affronta poi alla fine della seconda parte della ricerca (cap.7), individuando le due maggiori caratteristiche di interesse nelle potenzialità visuali ed estetiche e nel controllo del flusso solare per le parti trasparenti del sistema involucro. Tra questi due aspetti, la ricerca effettua una limitazione di campo alla sola prestazione di controllo del flusso solare. Data la complessità del sistema, che è anche sede privilegiata degli scambi e dei flussi di luce e calore tra esterno ed interno, bisogna poter effettuare alcune previsioni rispetto alle scelte progettuali, per cercare di comprenderne fin dalle prime fasi le ricadute sull'intero progetto. Per far ciò, si sono considerati esclusivamente gli strati funzionalizzati su supporto trasparente, e si è proceduto nella costruzione di uno strumento di valutazione e di supporto alla scelta progettuale.

- *Carattere approssimato dello strumento realizzato*

Tale strumento ha una struttura dichiaratamente approssimata, ed è in grado di fornire valori sintetici rispetto agli aspetti considerati, da utilizzare come indicazioni di massima e certo non come dati valutativi; tuttavia, proprio per questo loro aspetto, possono essere di aiuto all'architetto fin dalle prime fasi progettuali, supportandolo con dati quantitativi nella sua attività di selezione e valutazione delle alternative tecnologiche possibili per alcuni elementi dell'involucro

edilizio, nella fase iniziale, strategica, del progetto. Tale modello, dunque, fin dalla dichiarazione dei suoi intenti intende essere un supporto all'architetto esclusivamente nella fase iniziale delle scelte progettuali, attraverso la simulazione del comportamento energetico di un edificio. Il suo impiego porta a risultati sintetici confrontabili per le varie ipotesi e passa attraverso alcune variabili di progetto, tra cui, soprattutto, la percentuale di area trasparente per ogni facciata ed i sistemi schermanti impiegati. Tra questi, la tesi aggiunge, appunto, i film funzionalizzati.

### 10.3 Discussione

I limiti considerati hanno trovato origine in aspetti legati all'operare dell'architetto ma anche nella difficoltà di interfaccia tra il settore delle costruzioni ed i settori qui coinvolti: da un lato la ricerca e sviluppo guidata dalla chimica, dall'altra la sperimentazione portata avanti da alcuni produttori.

- *Ambiguità di classificazione*

*“uno dei problemi principali causati dal sovraccarico informativo è che l'informazione non sottoposta a controllo né a organizzazione, cessa di essere una risorsa e diventa invece il nemico principale di chi opera”<sup>115</sup>*

Avviene un fenomeno analogo per quanto riguarda i film, aggravato dai limiti legati alla terminologia impiegata e alle ambiguità legate a traduzioni più o meno libere rispetto a lingue o ambiti estranei.

Si può dire in questo caso che la realtà preceda la conoscenza, nel senso che criteri di classificazione e metodi applicativi legati all'introduzione dei film nei componenti di involucro mancano di un'operazione critica organica da parte degli architetti (eccettuato l'approccio di alcune *archi-star*, che hanno, del resto, accesso ad un rapporto privilegiato con i produttori). Tornando alle parole di Rahim citate nell'introduzione di questa ricerca, sembra invece importante lo sforzo di riportare le innovazioni nel loro ambito di conoscenza:

*“Innovazione è uno sviluppo che tutti trovano comodo e significativo. Per essere innovativi, gli architetti – e gli stessi lavori di architettura – devono diventare più rispondenti ai loro utenti e all'ambiente. In altre parole, essi devono incorporare controllo tramite feedback dai loro contesti fisici e culturali piuttosto che affidarsi solamente a processi di sviluppo convenzionalmente analitici o interni ... dal progetto alla costruzione”<sup>116</sup>.*

- *Arbitrarietà nell'organizzazione dei dati*

I computer e il web hanno reso possibile la raccolta e l'analisi di quantità di dati talmente enormi, che i limiti maggiori per le tecnologie informatiche e soprattutto per i loro utenti sono oggi rilevabili nelle difficoltà di trovare ed utilizzare i dati che cercano da tra quelli disponibili.

Rispetto ai più diffusi strumenti di informazione tecnica e librerie di materiali, la ricerca ha considerato necessario compiere alcune riflessioni sul tipo di informazione utile per il progettista, individuando innanzitutto la necessità di un'operazione di traduzione dei dati in termini utili all'applicazione in Architettura. Questa necessità è anche maggiore per i film, in quanto prodotti spesso sperimentali, che non possono contare su un bagaglio di esperienze sedimentate legato al loro impiego. Se è vero, dunque, che i singoli dati sono già disponibili nelle specifiche tecniche dei prodotti (e rispetto ad essi non vi è aumento di conoscenza) si ritiene di aver implementato l'informazione esistente mediante una serie di operazioni critiche sui dati stessi, finalizzandoli cioè all'integrazione nella costruzione. Si sono dunque analizzati e resi omogenei (e quindi confrontabili) i dati relativi ad un set sufficientemente ampio di esempi, e soprattutto questi dati sono stati messi in relazione con il frame esigenziale-prestazionale del sistema involucro in modo da poterne concretamente contestualizzare e prevedere ricadute di impiego.

Nell'organizzazione dei dati, la raccolta non è esaustiva: dato che l'innovazione di prodotto segue logiche di mercato e di sperimentazione produttiva che sfornano continuamente *"attrezzi potenzialmente innovativi"*<sup>17</sup>, un tale insieme non sarebbe neppure pensabile in termini di completezza. Si ritiene comunque di aver fornito un panorama sufficientemente ampio per orientare il progettista.

- *Limitazione del campo d'indagine*

Nella fase di sperimentazione simulativa la ricerca ha limitato il suo campo d'indagine alla sola prestazione del controllo del flusso solare, trascurando le ricadute dell'impiego dei film sul miglioramento dell'aspetto del sistema involucro. Tale considerazione è stata dettata dalla complessità del sistema, ma costituisce nello stesso tempo sia una limitazione del campo d'indagine che la prefigurazione di

possibili ricerche future nell'ambito dello studio dell'integrabilità dei film ai componenti d'involucro. Questa ricerca, dunque, non se ne è occupata, ma ne auspica sviluppi futuri.

#### *Carattere approssimato dello strumento realizzato*

Tutti i modelli possono essere molto migliorati e raffinati, sotto diversi punti di vista ma questo di solito va a scapito della rapidità e della comprensibilità d'uso. Nel nostro caso però il modello realizzato mantiene una struttura estremamente semplice e veloce da utilizzare.

Durante lo sviluppo di questa ricerca, è stato costante il pensiero che non sia sufficiente dotarsi di dati per portare ad un aumento di conoscenza: lo sforzo culturale richiesto è quello di saper tessere relazioni tra le parti, comprenderne l'interazione. In questo quadro, un modello serve a suggerire, più che a prevedere, e le deduzioni che se ne traggono hanno uno scopo indicativo, e possono servire nella sola fase iniziale del progetto, assistendo scelte strategiche sul controllo solare. Una simulazione e progettazione dettagliata dovrà poi avvalersi di strumenti analitici per valutare quantitativamente la prestazione.

Si potrebbero poi sollevare molte questioni alle quali il modello non dà una risposta: ma questa incapacità non ne compromette la validità: significa soltanto che bisogna implementarne alcune parti, magari in modo più raffinato. Un modello si rivela, in prospettiva, assai utile, sebbene non possa risolvere molti quesiti con la precisione desiderata. Esso deve essere usato con consapevolezza, tenendo in conto i suoi limiti, ma se arricchito con precisazioni e miglioramenti ulteriori può migliorare le sue prestazioni.

La ricerca, dunque, porta un contributo nell'analisi e nella definizione dei possibili effetti indotti dall'impiego di elementi schermanti in aderenza, come è possibile considerare i film funzionalizzati per le parti trasparenti. Il controllo dell'apporto solare attraverso l'impiego di film funzionalizzati è una strategia che si ritiene importante, sia nella previsione progettuale, sia nel caso di una stima di massima per interventi da effettuare sul patrimonio edilizio edificato, soprattutto nei casi in cui non è possibile intervenire con elementi schermanti in parallelo. Il modello consente una valutazione orientativa del comportamento energetico di un edificio, considerando i film funzionalizzati uno strumento importante nel controllo e nella progettazione energetica.



A noi sembra che tutto questo apra a vari filoni di ricerca che debbono essere di pertinenza di chi progetta e non possono essere lasciati in mano di specialismi, che per le loro visioni particolari, non comprendono le necessità di che è chiamato, con la sua progettazione, ad accordare infinite esigenze

Note:

<sup>115</sup> J.Naisbitt, *Megatrends*, Milano: Sperling & Kupfer, 1987, cit. in RAIMONDI Alberto, *Sistemi informativi per l'architettura: analisi e proposta di un sistema per la richiesta di dati su reti telematiche sui prodotti per le costruzioni*, tutor Prof. Giuseppe Morabito, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, IX Ciclo, Dipartimento di Innovazione Tecnologica nell'Architettura e Cultura dell'Ambiente (ITACA), Università degli Studi di Roma "La Sapienza"-Facoltà di Architettura, 1997.

<sup>116</sup> RAHIM Ali, *Catalytic Formations: Architecture and Digital Design*, New York, Taylor & Francis, 2006, cit. in CELENTO David, "Innovate or Perish. New Technologies and Architecture's Future", in *Harvard Design Magazine*, n. 26, Spring/Summer 2007

"Innovation is a development that people find useful or meaningful. To be innovative, architects — and works of architecture themselves — must become more responsive to their users and environments. In other words, they must incorporate feedback from their physical and cultural contexts rather than relying solely on conventional analytical or internal processes of development . . . from design to construction". Trad. Valeria Zacchei

<sup>117</sup> SINOPOLI Nicola, "L'invenzione di nuovi materiali per l'architettura. Un'alleanza strategica tra fisica e chimica", in *Rassegna* n. 80, Settembre 2005, p. 105

Vengono qui raccolte le schede relative ai prodotti individuati e classificati nel database:

- Micronal, Cambio fase, Comfort termico
- GlassXcrystal, Cambio fase, Comfort termico
- Kaplon, Conduttivo elettrico, Comfort Termico
- Mica paper, Isolante termico, Comfot Termico
- Magic Panel, Film radiante, Comfort termico
- 1/A, Film radiante, Comfort termico
- Uni-solar, Fotovoltaico, Guadagno energetico
- ASI Glass, Fotovoltaico, Guadagno energetico
- Power film solar, Fotovoltaico, Guadagno energetico
- PF44, Film fotovoltaico, Guadagno energetico
- Smart Wrap, Involucro sperimentale, Comfort termico
- T-Opal, Termotropico, Comfort termico
- HP N 50/100, Pellicola riflettente, Controllo del flusso solare
- Cool in, Pellicola anti-UV, Controllo del flusso solare
- Corning Glass, Fotocromico, Controllo del flusso solare
- Pleotint, Termocromico, Controllo del flusso solare
- EControl, Elettrocromico, Controllo del flusso solare
- Mirona, Specchio Switchable, Controllo del flusso solare
- Priva-lite, Cristalli liquidi, Controllo del flusso solare
- Hachtel, SPD, Controllo del flusso solare
- Spectralitem, Olografico, Controllo del flusso solare
- OLF, Pellicola prismatica, Controllo del flusso solare
- Serraglaze, Laser cut film, Controllo del flusso solare
- Bioclean, Autopulente, Manutenibilità
- Radiant color film, Dicroico, Aspetto
- Lumisty, Ottico-selettivo, Aspetto

- Drylox, OLED, Aspetto
- Color, Decorativo, Aspetto
- Power Kontakt, Conduttivo elettrico, Aspetto

**Prestazione Principale**

Comfort Termico

**Prestazioni Secondarie****Prestazioni aggiuntive**

Comportamento adattivo ai cambiamenti di temperatura

**Caratteristiche visive**

opaco, non riflettente, chiaro allo stato originario (è possibile colorarlo con additivi)

**Caratteristiche tattili**

appena ruvido, rigido, è possibile texturizzarlo

**Caratteristiche**

Sfere polimeriche microscopiche (dal diametro di 2-20 $\mu$ m), contenenti paraffina, con il raffreddamento o il riscaldamento dell'ambiente, il nucleo delle sfere rispettivamente si scioglie o solidifica. In questo modo, viene regolata la temperatura ambientale. Quando la temperatura sale, i materiali a cambio di fase assorbono il calore e quando scende, lo riemettono. Durante il cambio di fase, la temperatura rimane costante. Questo calore immagazzinato durante il cambio di fase è detto calore latente. Questo è un processo reversibile che avviene nella fase di fusione della paraffina, e si innesca automaticamente appena si eccede la temperatura di fusione. I materiali a cambio di fase, disponibili in polvere secca o in forma liquida, possono dunque assorbire energia, immagazzinarla e rilasciarla di nuovo in una fase successiva. I vantaggi sono il piccolo spessore e lo scarso peso necessari per fornire un'elevata capacità di immagazzinare calore. Inoltre, possono essere sviluppati in qualsiasi forma. Lo svantaggio è la scarsa resistenza al fuoco, che viene nella pratica ovviata dalla compresenza di materiali stabilizzanti al fuoco (gesso e intonaci, appunto).

**Dati Tecnici**

	Micronal PCM 23	Micronal PCM 26
Peso per unità di superficie	11.5 kg +/- 0.5 kg/m <sup>2</sup>	11.5 kg +/- 0.5 kg/m <sup>2</sup>
Spessore	1.250 mm	1.250 mm
Temperatura di innesco	23°C	26°C
Capacità di accumulo di calore latente $\Delta H$ nella fase di fusione	$\approx 330$ KJ/m <sup>2</sup>	$\approx 330$ KJ/m <sup>2</sup>
Calore Specifico	$\approx 1.20$ KJ/kgK	$\approx 1.20$ KJ/kgK
Conducibilità termica $\lambda$	approx. 0.18 W/(mk)	

**Supporto** muratura di qualsiasi tipo, gesso, intonaco, portaintonaco, calcestruzzo cellulare.**Trasmissione di Energia Solare** \_**Trasmissione di Radiazione Visibile** \_**Durata prevista** più di trent'anni (verificati cicli continui al Fraunhofer Ise di Friburgo)**Possibili impieghi** Materia prima per la composizione di materiali da finitura (intonaci, gessi, pannelli di rivestimento, partizioni leggere, controsoffittature), Si contano già numerose applicazioni.**Nome commerciale** Micronal® PCM**Produttore** BASF**Fonte** www.micronal.de

## Prestazione Principale

Comfort Termico

## Prestazioni Secondarie

Controllo e selezione di aspetti spettrofotometrici

## Prestazioni aggiuntive

Comportamento adattivo ai cambiamenti di temperatura

## Caratteristiche visive

chiaro, traslucido, poco riflettente, colore bianco

## Caratteristiche tattili

liscio, rigido



## Caratteristiche

Sistema di facciata pluristrato in vetro contenente pannelli in materiali a cambiamento di fase. Il materiale in questione è costituito da sali idrati anorganici, meno infiammabili della paraffina. Il sistema stratificato è composto da quattro strati di vetro di sicurezza con film bassoemissivo, e comprende al suo interno pannelli in pCM, una camera d'aria con gas nobile ed un sistema di frangisole con una conformazione tale che i raggi solari estivi, con un'inclinazione maggiore di 40°, vengono totalmente rifratti senza arrivare a scaldare il materiale a cambio di fase, mentre i raggi solari invernali, con inclinazione minore di 35°, penetrano all'interno del sistema di facciata colpendo il materiale a cambio di fase, che, dopo lo sfasamento temporale legato al materiale, lo restituisce all'ambiente interno.

## Dati Tecnici

	GlassXcrystal
Dimensioni	Altezza max 2800mm, larghezza max 1500mm, superficie max 4,2m <sup>2</sup>
Peso per unità di superficie	90 kg/m <sup>2</sup>
Spessore complessivo	78 mm di cui 20mm a cambiamento di fase
Temperatura di cambiamento di fase	26 -28°C
Trasmittanza U	0.5 W/m <sup>2</sup> K. A
Capacità termica specifica	≈1185 Wh/m <sup>2</sup>
Conducibilità termica λ	approx. 0.48 W/m <sup>2</sup> k

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** Fattore g:  
Irraggiamento verticale diretto 48%  
Irraggiamento diffuso 29%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** Per materiali a cambio di fase cristallini, in inverno < 1 %  
Per materiali a cambio di fase liquidi, in inverno ~ 4 %

**Durata prevista** \_

**Possibili impieghi** involucro edilizio

**Nome commerciale** GlassXcrystal

**Produttore** GlassX

**Fonte** www.glassx.ch



**Prestazione Principale**

Comfort Termico

**Prestazioni Secondarie**

Conduktività elettrica  
 Protezione da cariche elettrostatiche  
 Protezione da agenti chimici

**Prestazioni aggiuntive****Caratteristiche visive**

opaco, non riflettente, di colore nero o grigio chiaro

**Caratteristiche tattili**

liscio, morbido, flessibile

**Caratteristiche**

Film di materiale conduttivo in volume composto da 3 strati, può essere rivestito su uno o entrambi i lati da uno strato di Teflon® FEP che migliora le caratteristiche di resistenza chimica e permette al film di essere termosaldato. Il film conduttivo viene utilizzato nel rivestimento di cavi e conduttori per alte temperature, e trova impiego dove è necessario smaltire facilmente calore.

Questo film è indicato per tutte le applicazioni ove è necessaria un'elevata conducibilità termica. E' anche la base su cui si sono realizzati circuiti flessibili a basso spessore, o elementi touch-screen (nella sua forma più semplice, uno switch capacitivo è costituito da due superfici conduttive)

Il touch screen è costituito da una lastra di vetro in cui è laminato un film conduttivo. Nei quattro angoli viene applicato un campo elettrico a bassa tensione. Toccando il sensore si genera una caduta di tensione nel punto di contatto. Il flusso di corrente che si genera da ciascun angolo è proporzionale alla distanza del punto di contatto, permettendo in questo modo di calcolare l'esatta posizione del tocco.

**Dati Tecnici**

Saldabile a caldo, riciclabile, di colore nero senza stampigliature

MISURE BOBINA

Larghezza: 300 - 400 - 600 - 1200 mm

Lunghezza: 100 mt

Valore di Resistenza Superficiale  $R_s = 10^{-4} - 10^{-5}$  ohm

	120 FN 616	150 FN 019	250 FN 029
Densità g/cc o g/ml	1.53	1.67	1.57
Permeabilità al vapore acquoso g/(m <sup>2</sup> ·24h)	17.5	9.6	0.16
Fattore di dissipamento	0.0015	0.0013	0.0013

**Supporto** vari materiali, su cui è fissabile a caldo**Trasmissione di Energia Solare** \_**Trasmissione di Radiazione Visibile** \_**Durata prevista** \_

**Possibili impieghi** Attualmente impiegato in presenza di circuiti elettrici o dispositivi di cui è necessario dissipare il calore, o nell'industria automobilistica, per preservare la funzionalità di sensori per dispositivi di sicurezza, all'interno di pannelli o film fotovoltaici.

**Nome commerciale** Kapton® FN**Produttore** Dupont**Fonte** [http://www2.dupont.com/Kapton/en\\_US/index.html](http://www2.dupont.com/Kapton/en_US/index.html)

## Prestazione Principale

Isolamento termico

## Prestazioni Secondarie

Proprietà ottiche di schermatura  
Aspetto

## Prestazioni aggiuntive

### Caratteristiche visive

traslucido, poco riflettente, lucido, texture a fibre libere disordinate, colore grigio-argento

### Caratteristiche tattili

liscio, in fogli è duro, in rotoli è flessibile



## Caratteristiche

La Mica, un minerale della famiglia dei phyllosilicati, è caratterizzata dalla sua struttura laminare, da brillantezza metallica e resistenza alle alte temperature. Tagliando la mica lungo le sue lamine naturali si producono fogli sottili, uniformi, a spessore filmico, che sono flessibili e traslucidi. La Carta di Mica è un materiale artificiale ricomposto, realizzato con fogli di mica e resine leganti (shellac, silicone, etc.) prodotto in rotoli. La Carta di Mica conserva le proprietà di isolamento termico ed elettrico della mica, ma risulta più omogenea ed uniforme.

Ampiamente impiegata dapprima dall'industria per le sue capacità di isolamento elettrico, la Carta di Mica fornisce anche isolamento termico nei forni ed ha applicazioni nell'industria ottica. Inoltre, ha dimostrato la sua affidabilità anche come isolante convenzionale.

Per le sue interessanti qualità ottiche (di fibra metallica dispersa in un elemento trasparente), è spesso usata per realizzare schermature traslucide, per lampade o partizioni.

## Dati Tecnici

Calore specifico	0.25
Conducibilità termica (W/M°C)	0.2
Spessori (inch)	0.005 – 0.010 – 0.015 – 0.020
Coefficiente di dilatazione termica parallela al foglio (cm/cm/°C)	$10 \times 10^{-6}$
Coefficiente di dilatazione termica ortogonale al foglio (cm/cm/°C)	$60 \times 10^{-6}$

**Supporto** L'ampia gamma di leganti rende possibili vari supporti: vetro, film in poliestere,

**Trasmissione di Energia Solare** \_

**Trasmissione di Radiazione Visibile** \_

**Durata prevista** 30 anni

**Possibili impieghi** Per le sue interessanti qualità può essere usata per isolare termicamente o per realizzare schermature traslucide, per lampade o partizioni.

**Nome commerciale** Mica Paper

**Produttore** Mica manufacturing

**Fonte** www.grmica.com

**Prestazione Principale**

Comfort termico

**Prestazioni Secondarie**

Film conduttivo elettrico

**Prestazioni aggiuntive****Caratteristiche visive**

chiaro, trasparente, non riflettente, non texturizzato, di colore neutro

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

Il pannello Magic-Panel è un film sottile, composto da materiali nobili incrociati e fissati su un supporto portante.

L'assemblaggio sottovuoto tecnico permette un grado di protezione molto elevato sia elettrico che meccanico.

Tutti i pannelli subiscono un trattamento di collaudo rigidissimo che testa tutte le caratteristiche dei materiali usati. Ideato per riscaldare e sanificare il bagno e arredarlo al tempo stesso, in sostituzione ai tradizionali termosifoni, riscalda in maniera uniforme gli ambienti e gli oggetti, emettendo una luce infrarossa (non visibile) a bassa temperatura. Nel riscaldamento a luce infrarossa per prima cosa vengono scaldati gli oggetti fissi (pareti, soffitti, mobili). Gli oggetti così riscaldati trasmettono il calore in maniera uniforme all'ambiente circostante mantenendo l'umidità relativa costante in tutto l'ambiente. Deumidifica, non brucia ossigeno. Rispetta tutte le normative Europee in materia di sicurezza

Frontale in granito retro in cristallo, pellicola radiante con emissione di infrarosso a bassa temperatura su tutta la superficie; centralina per controllo della temperatura, pannello posteriore deviazione flusso aria.

**Dati Tecnici**

potenza	area	altezza	larghezza	spessore
250 W	15 mq	1400 mm	400 mm	60 mm

**Supporto** pietra, cristallo

**Trasmissione di Energia Solare** -

**Trasmissione di Radiazione Visibile** -

**Durata prevista**

**Possibili impieghi** rivestimenti

**Nome commerciale** Magic Panel modello 5

**Produttore** magic panel

**Fonte** www.magic-panel.com



### Prestazione Principale

comfort termico

### Prestazioni Secondarie

conducibilità elettrica

### Prestazioni aggiuntive

#### Caratteristiche visive

chiaro, trasparente, non riflettente, non texturizzato, di colore neutro

#### Caratteristiche tattili

liscio, flessibile



### Caratteristiche

Vetro termico.

Lastra di vetro laminato con una pellicola riscaldante annegata nel PVB. Del tipo "plug&play", si attacca a una presa di corrente e si riscalda. Il foglio riscaldante è inserito tra i due vetri per proteggerlo da ossidazioni dovute ad ambienti umidi quali bagni, saune, cucine, ecc.

### Dati Tecnici

MOD.	Potenza	Area	Altezza	Larghezza	Spessore
1/A	450 w	50 m <sup>2</sup>	625 mm	625 mm	50 mm
1/E	200 w	200 m <sup>2</sup>	625 mm	625 mm	28 mm
1/F	550 w	4 m <sup>2</sup>	625 mm	625 mm	50 mm
1/H	1200 w	15 m <sup>2</sup>	625 mm	625 mm	50 mm

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** 70% (per stratificato da 15 mm)

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 80%

**Durata prevista** 15-20 anni

**Possibili impieghi** pareti fredde, interni

**Nome commerciale** 1/A

**Produttore** Produttore: Saint Gobain

**Fonte** [www.saint-gobain.com/](http://www.saint-gobain.com/)

**Prestazione Principale**

Guadagno energetico solare

**Prestazioni Secondarie**

Elevata resistenza termica

**Prestazioni aggiuntive****Caratteristiche visive**

Opaco, mediamente riflettente, lucido, texture geometrica a fasce o quadri, di colore blu

**Caratteristiche tattili**

liscio, morbido, flessibile

**Caratteristiche**

La trasformazione diretta dell'energia solare in energia elettrica avviene tramite un triplo strato di silicio amorfo depositato, in spessori micrometrici, su una sottile lamina flessibile di acciaio inossidabile. La tripla funzione permette di aumentare l'efficienza di conversione e la stabilità delle prestazioni nel tempo, anche con bassi livelli di radiazione solare incidente. Questa tecnologia, derivata dalla precedente (a-Silicio Amorfo tradizionale), permette un maggior rendimento di funzionamento, il quale in alcuni casi arriva al 12% (triple junction). In pratica vengono aggiunte ulteriori giunzioni, trattate in maniera differente, le quali hanno risposte diverse allo spettro della luce, aumentando quindi la banda di funzionamento nello spettro solare. Ad esempio: un modulo fotovoltaico costruito con questo tipo di tecnologia, paragonata al silicio cristallino C-Si, anche se di minor efficienza, a parità di potenza riesce a produrre in base annua un 20% in più di energia perché ha una migliore risposta alla radiazione solare diffusa. Ciò consente anche di ridurre il peso e il degrado della conversione all'aumentare della temperatura operativa rispetto all'utilizzo di celle in silicio cristallino. La flessibilità dei pannelli ne permette l'utilizzo anche su coperture curve ( $R_{min} = 12\text{ m}$ ). La pendenza delle falde deve stare nel range compreso tra 5 e 60° anche se l'efficienza massima si colloca a pendenze intorno ai 30°.

**Dati Tecnici**

	PVL-31	PVL-68	PVL-136
Potenza nominale (W)	31	68	136
Peso(Kg/cm <sup>2</sup> )	13.12	13.12	13.12
Lunghezza (mm)	1500	3000	6000
Larghezza utile (mm)	460	460	460
Tensione d'esercizio (V)	7.5	16.5	33
Corrente d'esercizio (A)	4.13	4.13	4.13

**Supporto** foglio di acciaio flessibile**Trasmissione di Energia Solare** \_**Trasmissione di Radiazione Visibile** \_**Durata prevista** Dopo 20 anni di funzionamento, la potenza nominale garantita è l'80% di quella installata**Possibili impieghi** Componenti opachi, meglio se in copertura; la lamina ha montaggio completamente a secco e reversibile.**Nome commerciale** Uni-solar**Produttore** Unimetal**Fonte** www.unimetal.com



## Prestazione Principale

Guadagno energetico solare

## Prestazioni Secondarie

Controllo del fattore solare

Ombreggiamento

Produzione di energia elettrica da energia solare

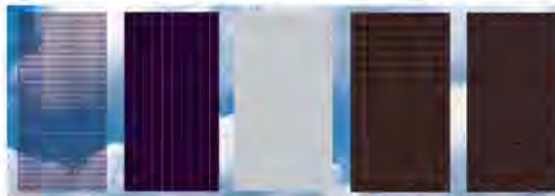
## Prestazioni aggiuntive

### Caratteristiche visive

traslucido, non riflettente, texture geometriche di vari tipi, di colore blu o grigio

### Caratteristiche tattili

liscio, duro, rigido



## Caratteristiche

Il film fotovoltaico ASI a celle sottili di silicio amorfo è costituito da strati depositati su un supporto di PVB con tecnologie sputtering, disposti secondo vari possibili pattern, e da uno strato semiconduttivo, protetto da un altro strato in PVB. Il materiale semiconduttore consiste per il 99% di silicio ottenuto da polveri di quarzo, ed è completamente privo di metalli pesanti come il cadmio. Applicato in spessori estremamente sottili (<math><1 \mu\text{m}</math>) su vetro, il film fotovoltaico impiega solo un grammo di materiale per metroquadrato di superficie.

Vi sono diverse possibili configurazioni a seconda delle condizioni di impiego richieste: possono essere impiegati orizzontalmente o verticalmente, con i più comuni infissi standardizzati. Poichè è possibile accoppiare liberamente altre lastre di vetro, si possono raggiungere molti differenti requisiti statici o termici, cambiando tipo e spessore delle lastre. Disponibili da catalogo molti formati standard, è possibile realizzarli su disegno, fino a dimensioni massime di 1.2 m x 2.4 m. L'integrazione delle chiusure e schermature dell'edificio coi sistemi fotovoltaici è sempre più raffinata. La rigida sovrapposizione tra pannello fotovoltaico e involucro viene superata grazie al miglioramento delle tecnologie di facciata ma anche allo svincolamento dal classico modulo a celle quadrate.

## Dati Tecnici

Valori per elemento di dim.1027 x 627 mm	ASI con vetro singolo (6-6)	ASI con vetro camera (6-16-8)
Trasmittanza termica U (W/m <sup>2</sup> K)	5	1.2
Potenza iniziale nominale (Wp)	31	31
Massimo voltaggio del sistema (V)	600	600
Cablaggio di collegamento alla rete elettrica	retrostante	laterale

**Supporto** Vetro, materiali plastici

**Trmissione di Energia Solare** ASI con vetro singolo (6-6) 27%  
ASI con vetro camera (6-16-8) 10%

**Trmissione di Radiazione Visibile** ASI con vetro singolo (6-6) 10%  
ASI con vetro camera (6-16-8) 10%

**Durata prevista** 20 anni

**Possibili impieghi** Coperture vetrate, sistemi di facciata trasparente o opaca, Pensiline, brise-soleil, pannelli solari da copertura

**Nome commerciale** ASI® Glass

**Produttore** SCHOTT Solar GmbH

**Fonte** [www.schott.com/solar](http://www.schott.com/solar)

### Prestazione Principale

Guadagno energetico solare

### Prestazioni Secondarie

Controllo del fattore solare

Ombreggiamento

Produzione di energia elettrica da energia solare

### Prestazioni aggiuntive

#### Caratteristiche visive

trasparente, poco riflettente, lucido, texture a fasce, colore rossiccio o marrone

#### Caratteristiche tattili

liscio, flessibile



### Caratteristiche

Film sottile fotovoltaico, applicabile su supporti rigidi o flessibili (vetro o silicone), introduce un sistema innovativo brevettato grazie al quale mantiene un'elevata trasparenza. Questi film producono la metà dell'elettricità di un tradizionale pannello fotovoltaico, ma è anche vero che il loro costo di produzione è 1/4 rispetto agli stessi. Inoltre, anche se i pannelli a film sottile sono normalmente meno efficienti nel convertire la luce solare in elettricità rispetto ai pannelli cristallini o policristallini funzionano più a lungo ogni giorno e durante tutto l'anno. Inoltre mantengono la loro efficienza a temperature più alte molto meglio che i pannelli tradizionali.

Un tipo di film sottile, il Silicio amorfo, può essere applicato su vetro di supporto in modo da mantenere un livello di trasparenza che permette di usare anche il normale vetro per le finestre. Questo "vetro fotovoltaico" appare come un vetro colorato, normalmente usato nell'architettura commerciale, e genera elettricità (anche se ad un livello di efficienza minore del vetro fotovoltaico opaco poiché permette il passaggio di una parte della luce solare). Si trova in commercio già inserito tra due lastre di vetro. Il prodotto qui indicato è infatti inserito tra due lastre, di 8 e 5 mm di spessore.

### Dati Tecnici

Coefficiente di ombreggiamento	Verticale	0.27
	Orizzontale	0.29
Coefficiente di scambio termico	Verticale	6.0W/m <sup>2</sup> K
	Orizzontale	4.8W/m <sup>2</sup> K
Raggi UV	Respinti	98%
Dimensioni	950 x 980 mm	
Efficienza	6%	

**Supporto** Vetro

**Trasmissione di Energia Solare** trasmessa 10%  
riflessa 20%  
assorbita 70%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** trasmessa 10,6%  
riflessa 9,7%

**Durata prevista** 25 anni

**Possibili impieghi** Componenti trasparenti e traslucidi piani, curvi o a doppia curvatura

**Nome commerciale** Codice prodotto: 088040100 • Sigla prodotto: PF/44/AT

**Produttore** Conchiglia energia solare

**Fonte** [www.conchiglia.com](http://www.conchiglia.com)



### Prestazione Principale

Guadagno energetico solare

### Prestazioni Secondarie

Ombreggiamento  
Produzione di energia elettrica da energia solare

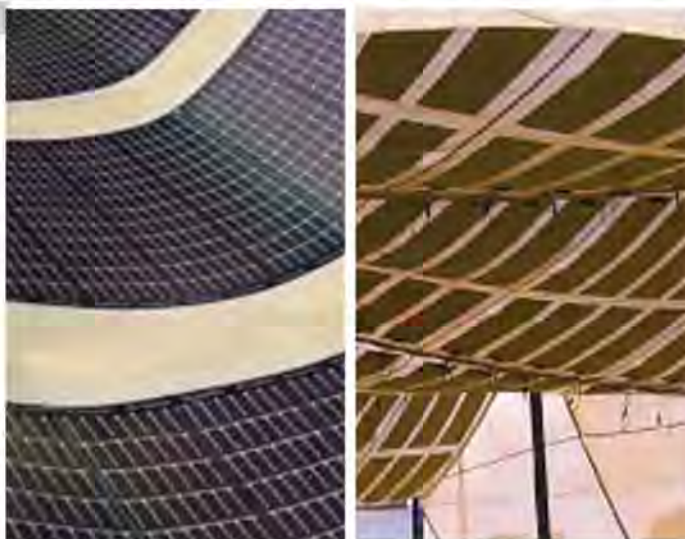
### Prestazioni aggiuntive

#### Caratteristiche visive

opaco, non riflettente, texture a moduli rettangolari, di colore blu-grigio

#### Caratteristiche tattili

liscio, flessibile



### Caratteristiche

I moduli fotovoltaici sfruttano la tecnologia del silicio amorfo applicato su un substrato resistente a base polimerica, di circa 0.05mm di spessore, utilizzando una tecnica produttiva analoga alla stampa. I moduli finiti vengono poi incorporati in un certo numero di materiali adatti per i diversi impieghi e per essere esposti agli agenti atmosferici. Sviluppato inizialmente per usi militari, poi impiegato largamente nelle coperture di impianti industriali, il film fotovoltaico flessibile sviluppato da Iowa Thin Films viene fabbricato in vari colori, ed accoppiato con diversi tipi di tessuti e membrane. Pieghevole, flessibile, opaco all'aspetto, consente un guadagno che va all'incirca da 200 Watt fino a 2 Kilowatt, e può essere utilizzato come una tenda normale tenda per ombreggiamento. Può essere impiegato per ricaricare batterie, per fornire energia per illuminazione o ventilazione artificiali, o per alimentare radio, telefoni satellitari, computer portatili. Può essere usato in zone remote ed isolate, ed è facile da trasportare, arrotolato. In questo modo, le tende fotovoltaiche possono essere utilizzate da sole o in serie, ed anche sopra alle tende già esistenti, per scopi militari, o di emergenza. Può raggiungere curvature fino a 5cm di diametro, può essere calpestato, addirittura forato, non contiene sostanze corrosive.

### Dati Tecnici

Dimensioni massime del film dispiegato (m)	12,20 x 6.70 x 3.60
Spessore (mm)	0.05
Peso (kg)	1000
Coefficiente di ombreggiamento	80%

**Supporto** kevlar, epte,

#### Trasmissione di Energia Solare

#### Trasmissione di Radiazione Visibile

**Durata prevista** La durata garantita è la stessa del tessuto o membrana cui si applica: dai 20 ai 35 anni

**Possibili impieghi** Tende da esterni, per usi militari, accampamenti per emergenze ricettive o sanitarie, turismo.

**Nome commerciale** PowerFilm Solar

**Produttore** Iowa Thin Film Technologies,

**Fonte** [www.powerfilmsolar.com](http://www.powerfilmsolar.com)

**Prestazione Principale**

Comfort termico

**Prestazioni Secondarie**

Controllo del flusso luminoso

Ombreggiamento

Produzione di energia elettrica da energia solare

**Prestazioni aggiuntive**

Colore cangiante (può modificare il colore con impulsi elettrici)

Interattività (display integrati)

**Caratteristiche visive**

semitrasparente, non riflettente, texturizzato su disegno, può modificare il suo colore

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

Sviluppato da Dupont e dagli architetti di Philadelphia Kieran Timberlake Associated, il prototipo SmartWrap è stato esposto al Cooper-Hewitt, National Design Museum. Per mostrare le possibilità tecniche legate a film ed elementi di spessore sottile, SmartWrap mostra un sistema di facciata integrato che può essere realizzato con tecnologie di produzione di massa. SmartWrap è una pellicola avanzata, composta da film funzionalizzati che vuole sostituire i sistema costruttivi tradizionali. Nel complesso, ha la funzione di riparare dagli agenti atmosferici (substrato in poliestere), proteggere da vento e pioggia (film PET, a sua volta substrato per altri film), controllare gli aspetti climatici (microsfere di materiale a cambio di fase, disperse in resina e poi estruse in un film sottile) luminosi e di comunicare informazioni (film OLED, alimentati dalle celle fotovoltaiche in film), oltre a generare energia elettrica (piccole batterie in film, celle fotovoltaiche in silicio amorfo ed inchiostro conduttivo). Per realizzare questo nuovo prodotto, sono stati impiegati altri prodotti precedentemente sviluppati da Dupont: il film in poliestere Melinex® PET, che costituisce il substrato principale e che provvede al riparo da vento e pioggia, DuPont™ Olight® displays, che impiega la tecnologia LED per fornire illuminazione e pannelli informativi, e le tecnologie di circuiti stampati per collegare i film fotovoltaici integrati.

**Dati Tecnici**

**Supporto** nessuno, vetro, materiali plastici trasparenti

**Trasmissione di Energia Solare** 60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 70%

**Durata prevista** 10 anni

**Possibili impieghi**

**Nome commerciale** SmartWrap

**Produttore** Dupont

**Fonte** <http://www2.dupont.com>, [http://www.kierantimberlake.com/articles/dupont\\_03\\_1.html#](http://www.kierantimberlake.com/articles/dupont_03_1.html#)



## Prestazione Principale

Comfort termico

## Prestazioni Secondarie

controllo del flusso solare

## Prestazioni aggiuntive

Comportamento adattivo

## Caratteristiche visive

chiaro, da trasparente a traslucido, non riflettente, non texturizzato, di colore neutro o bianco se attivato

## Caratteristiche tattili

liscio



## Caratteristiche

I materiali termotropici, con l'innalzamento della temperatura, sono caratterizzati dalla variazione nelle caratteristiche di trasmissione rispetto all'intero range radiativo dello spettro solare; al raggiungimento della soglia critica, essi assumono una colorazione bianco-lattea dovuta a fenomeni di assorbimento energetico e di scattering luminoso.

I principali materiali termocromici impiegati sono il Cloud Gel ed il Tald; essi vengono impiegati sempre all'interno di due lastre di vetro. Le temperature di innesco possono essere regolate sia mediante l'uso di alcuni additivi, sia a seconda della posizione assunta all'interno del serramento, e variano: dai 25 ai 30°C per il Cloud Gel, dai 9 ai 90°C per il Tald. Hanno la tendenza all'ingiallimento del materiale polimerico esposto all'azione della radiazione UV; risolubile tramite l'uso di stabilizzatori chimici.

A tal fine, questa schedatura è indicativa di uno dei valori assunti nel range possibile.

I materiali termotropici che hanno avuto uno sviluppo commerciale sono: "Cloud Gel", della Suntek, è stato il primo; "TALD" (Fraunhofer Institute for Building Physics), ed un prodotto in fase di sviluppo alla Affinity Intelligent Window (AIW), Japan, alla Interpane ed infine T-OPAL, Fa. Okalux, Deutschland.

## Dati Tecnici

DISPOSITIVO TERMOTROPICO	$t_{v1}$ [%]	$t_v$ [%]	$g$ [%]	$U$ [ $W/m^2 \cdot C$ ]
Laminato Termotropico (vetro float 4mm; 1,2mm Hydrogel; vetro Float 4mm)	88 - 21	66 - 14	—	—
Unità isolante Termotropica (Laminato termotropico; 16mm Argon, vetro low-E 4mm)	74 - 18	41 - 10	51 - 14	1,27

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** 50 - 66% nello stato trasparente  
10 - 20% nello stato attivato

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 80% - 90% nello stato trasparente  
intorno al 20% nello stato opaco

**Durata prevista** numero di cicli: 4000-6000 (5 cicli al giorno) anni (la vita: massimo 2-4 anni)

**Possibili impieghi** Involucro edilizio, il film termotropico può essere ritagliato in varie forme e diventare un dispositivo parzialmente schermante, che nello stato oscurato ha l'aspetto di una serigrafia

**Nome commerciale** T-OPAL®

**Produttore** Okalux

**Fonte** [http://www.ibp.fraunhofer.de/gips/baustoff/index\\_topal\\_e.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/gips/baustoff/index_topal_e.html)



**Prestazione Principale**

Controllo del guadagno solare

**Prestazioni Secondarie**Sicurezza  
Antigraffio**Prestazioni aggiuntive****Caratteristiche visive**

chiaro, trasparente, riflettente, lucido, non texturizzato, colore neutro

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

Film antisolare combinato (doppio effetto antisolare e sicurezza), di colore neutro acciaio chiaro, leggermente riflettente, è perfettamente trasparente e l'interno rimane visibile riduce il guadagno solare permettendo una buona riduzione della temperatura. Da buoni risultati dove è richiesto un buon controllo solare inteso come riduzione del calore, abbinato ad una alta trasmissione di luce visibile, e per la messa a norma di vetrate in luoghi pubblici.

Trasforma un vetro semplice in un vetro di sicurezza a norma delle Normative Europee EN12600. Anche se un forte impatto lo spacca, il vetro viene tenuto insieme dalla pellicola, che offre una maggiore protezione da frammenti di vetro. Si può applicare a posteriori, nella parte interna della vetratura con adesivo acrilico sensibile alla pressione. Classe di reazione al fuoco 1, spessore 100 micron,

**Dati Tecnici**

Trasmittanza U (W/m <sup>2</sup> K)	1,15
Fattore solare g	0,77
Emissività ε	0,88
Assorbimento energetico (%)	35
Riflessione energetica esterna (%)	8
Assorbimento luminoso (%)	39
Riflessione luminosa esterna (%)	7

**Supporto** Vetro**Trasmissione di Energia Solare** 57 %**Trasmissione di Radiazione Visibile** 54 %**Durata prevista** 10 anni**Possibili impieghi****Nome commerciale** HP N 50/100 MIC SF**Produttore** suncontrol**Fonte** www.suncontrol.it

### Prestazione Principale

Controllo del guadagno solare

### Prestazioni Secondarie

Manutenibilità

Resistenza antigraffio

### Prestazioni aggiuntive

#### Caratteristiche visive

chiaro, trasparente, opaco, non texturizzato, colore neutro

#### Caratteristiche tattili

liscio, morbido, flessibile, liscio



### Caratteristiche

Pellicola in poliestere a controllo solare, di colore neutro chiarissimo, non riflettente, riduce l'irraggiamento solare permettendo una buona riduzione della temperatura con conseguente risparmio energetico, riducendo il fenomeno della decolorazione e dell'alterazione degli oggetti esposti. Da buoni risultati dove è richiesto un buon controllo solare inteso come riduzione del calore, abbinato ad una alta trasmissione di luce visibile senza alterare l'estetica e la trasparenza del vetro esistente. Si può applicare a posteriori, nella parte interna della vetratura con adesivo acrilico sensibile alla pressione.

### Dati Tecnici

Trasmittanza U (W/m <sup>2</sup> K)	1.07
Fattore solare g	0.66
Emissività ε	0.83
Assorbimento energetico (%)	47
Riflessione energetica esterna (%)	12
Assorbimento luminoso (%)	33
Riflessione luminosa esterna (%)	12

**Supporto** Vetro

**Trasmissione di Energia Solare** 41 %

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 55%

**Durata prevista** 10 anni

**Possibili impieghi** Nei casi in cui non si desideri un effetto riflettente

**Nome commerciale** cool in

**Produttore** suncontrol

**Fonte** [www.suncontrol.it](http://www.suncontrol.it)

**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie**

Aspetto

**Prestazioni aggiuntive**

Comportamento adattivo "passivo"

**Caratteristiche visive**

varia da chiaro-trasparente a colorato

**Caratteristiche tattili**

liscio

**Caratteristiche**

cambiano le proprietà ottiche al variare dell'intensità della luce, da trasparente-trasmittente ad assorbente  
tempi di risposta: qualche minuto (richiede più tempo il passaggio dallo stato opaco a quello trasparente)

I dispositivi Fotocromici sono autoregolanti, hanno una buona durabilità nei cicli colorato/trasparente, hanno una buona resistenza agli attacchi chimici. Tuttavia presentano una drastica riduzione della trasmissione luminosa nello stato oscurato, e nei mesi invernali, quando sarebbe auspicabile godere dei guadagni solari, hanno lo stesso comportamento di riflessione della radiazione energetica che è utile nel periodo estivo. Poiché cambiando stato diventano assorbenti, causano problemi di stress termico. Un grosso limite è rappresentato dal fatto che sono prodotti in superfici ancora troppo piccole per l'uso in edilizia, e ad un costo tuttora molto elevato.

I film fotocromici, dunque, riducono la luminosità ma non controllano i guadagni solari termici in modo efficace.

Attualmente sono prodotti dispositivi delle dimensioni massime di 1mq.

**Dati Tecnici**

prototipo realizzato: film fotocromico laminato tra due lastre di vetro,  
dimensioni 1 m<sup>2</sup>, spessore totale 1,5 mm,

**Supporto** vetro, materiali sintetici.

**Trasmissione di Energia Solare** da trasparente-trasmittente 85%  
ad assorbente 50%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 80 - 90% nello stato trasparente  
10 - 15 % nello stato oscurato

**Durata prevista** 5 anni

**Possibili impieghi** utilizzabili per piccole aperture, lucernai, automobili o simili.

**Nome commerciale**

**Produttore** Corning Glass

**Fonte** [www.corning.com](http://www.corning.com)



### Prestazione Principale

Controllo del flusso luminoso

### Prestazioni Secondarie

Aspetto

### Prestazioni aggiuntive

Comportamento adattivo "passivo"

### Caratteristiche visive

varia da chiaro-trasparente a colorato

### Caratteristiche tattili

liscio



### Caratteristiche

I film Termocromici riducono il loro fattore di trasmissione visibile attraverso una reazione chimica termicamente indotta.

Inserito tra due lastre di vetro in un'unità per chiusure verticali, il film si attiva ad una temperatura esterna di circa 30°C.

Questi film possono essere accostati in parallelo con altri tipi di film e pellicole, realizzando unità multifunzionali, in grado di schermare i raggi UV, di diventare un'unità termicamente isolante, e di auto-pulirsi con un film fotocatalitico.

Questi dispositivi si attivano solo con irraggiamento solare diretto e non in condizioni di luce diffusa.

Il prodotto è attualmente in fase di sviluppo industriale ma il produttore garantisce che sarà commercializzato dal 1 gennaio 2009.

### Dati Tecnici

#### Supporto

**Trasmissione di Energia Solare** in fase di definizione. Il produttore ha integrato film termocromici in unità isolate, ma non ha divulgato i relativi dati.

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 10% nello stato oscurato  
55% nello stato trasparente

**Durata prevista** in fase di definizione

**Possibili impieghi** Lucernai e involucri edilizi

**Nome commerciale** Sunlight Responsive Thermochromic ("SRT™")

**Produttore** Pleotint

**Fonte** <http://www.pleotint.com/>



**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie**

Aspetto

**Prestazioni aggiuntive**

Comportamento adattivo attivato elettricamente

**Caratteristiche visive**

Stato attivato: trasparente, stato disattivato: colorato (blu, grigio, porpora etc.)

**Caratteristiche tattili**

Liscio

**Caratteristiche**

I film Elettrocromici sono dispositivi a spessore sottile composti da 5 strati: due conduttori trasparenti, un'elettrolita o conduttore di ioni, un controlettrodo o strato di accumulo, uno strato elettrocromico (ossido di tungsteno o nichel).

Al passaggio di una corrente elettrica si verifica un cambiamento delle proprietà ottiche in modo persistente e reversibile, sia nel range del visibile che dell'infrarosso. Il processo di transizione cromatica è continuo e reversibile, ed inoltre è sufficiente una piccola differenza di potenziale per attivare e disattivare questa operazione.

Nello stato attivato: il film si presenta trasparente, nello stato disattivato: assorbente o riflettente e speculare.

Hanno un'ampia possibilità di modulazione della trasmissione luminosa e di modulazione della trasmissione solare ed energetica; inoltre sono comandabili dall'utenza manualmente o automaticamente tramite computer.

I principali limiti attualmente sono una durabilità insufficiente ed il fatto che non sono ancora disponibili in ampie superfici.

**Dati Tecnici**

<b>Dimensioni massime</b>	<b>120 cm x 200 cm</b>
<b>Tensione di alimentazione</b>	<b>1 - SV</b>
<b>Tempi di risposta</b>	<b>1 - 60 sec</b>
<b>Memoria</b>	<b>12 - 48 ore</b>

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** 36% nello stato trasparente  
12% nello stato attivato

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 50-55% nello stato trasparente  
10-15% nello stato attivato

**Durata prevista** per 5 cicli al giorno, si garantisce un funzionamento massimo di 2-4 anni

**Possibili impieghi** già impiegati nel settore dell'auto (specchi retrovisori, tettucci), sono state realizzate e testate finestre a controllo dinamico

**Nome commerciale** EControl**Produttore** Flabeg GmbH - Pilkington**Fonte** <http://www.econtrol-glas.de/econtrol>

### Prestazione Principale

Controllo del flusso luminoso

### Prestazioni Secondarie

Aspetto

### Prestazioni aggiuntive

Comportamento adattivo attivato elettricamente

### Caratteristiche visive

Stato attivato: trasparente, stato disattivato: specchio argentato

### Caratteristiche tattili

Liscio



### Caratteristiche

Gli idruri riflettenti (Specchi Switchable) appartengono alla famiglia dei materiali elettrocromici, ma hanno la particolarità di variare da uno stato completamente riflettente (a specchio) ad uno completamente trasparente.

Al passaggio di una corrente elettrica si verifica un cambiamento delle proprietà ottiche in modo persistente e reversibile, processo continuo e reversibile, per il quale è sufficiente una piccola differenza di potenziale per attivare e disattivare questa operazione.

E' possibile integrare questi film in uno solo o in entrambi i lati dell'unità vetrata, per consentire il grado di trasparenza e di riflessione richiesti.

### Dati Tecnici

Dimensioni massime:	60 cm x 70 cm
Coefficiente di riflessione:	35%

**Supporto** Vetro piano

**Trasmissione di Energia Solare** -

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 60-63% nello stato trasparente  
5% nello stato riflettente

**Durata prevista** 4 anni

**Possibili impieghi** componenti di involucro, laddove si voglia poter schermare completamente anche la vista dall'esterno, partizioni interne

**Nome commerciale** MIRONA

**Produttore** Schott

**Fonte** [www.schott.com/advanced\\_materials](http://www.schott.com/advanced_materials)

**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie**

Aspetto, Comunicazione

**Prestazioni aggiuntive**

Comportamento adattivo attivato elettricamente

**Caratteristiche visive**

Stato attivato: trasparente, stato disattivato: bianco, opaco

**Caratteristiche tattili**

liscio

**Caratteristiche**

Pellicola composta da almeno tre strati, di cui quella interna contenente cristalli liquidi, viene interposta tra due lastre di vetro o in unità più complesse. I dispositivi a cristalli liquidi offrono la possibilità di realizzare dispositivi in grado di variare dinamicamente dalla traslucidità alla totale trasparenza; in sostanza, il loro comportamento è assimilabile a quello dei display più diffusi, attivati elettricamente. Ciò offre il grande vantaggio di poterli attivare o disattivare, e modulare con opportuni dispositivi di controllo.

Nonostante abbiano raggiunto da tempo la maturità e disponibilità commerciale, bisogna tenere presenti alcuni limiti dei dispositivi a cristalli liquidi:

- Nello stato trasparente devono essere continuamente alimentati
- Non hanno memoria, quindi appena cessa l'alimentazione, il materiale torna nello stato bianco opaco
- L'escursione della trasmittanza è piuttosto limitata, il che si riflette in un range ancora più stretto della variazione del fattore solare; i cristalli liquidi non sono dunque particolarmente efficaci nel regolare i guadagni termici passivi da radiazione diretta.
- Un difetto riscontrato nell'impiego di dispositivi a cristalli liquidi nei componenti d'involucro consiste nel fatto che, se esposti ad una radiazione solare intensa il surriscaldamento può portare ad un cattivo funzionamento.

**Dati Tecnici**

Dimensioni massime:	1m x 2,8 m
Tensione di alimentazione:	30 - 100V
Tempi di risposta:	1 millisecondo
Isolamento acustico:	36 dB

**Supporto** vetro piano o curvo, può essere stampato o sabbiato.

**Trasmissione di Energia Solare** stato attivato: 79-80%  
stato disattivato: 44-60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** stato attivato: 60-80%  
stato disattivato: 40-60%

**Durata prevista** 5 anni

**Possibili impieghi** per interni (come elemento separatore, diaframma che garantisce la privacy), in elementi di facciata (assemblato in struttura isolante trasparente)

**Nome commerciale** PRIVA-LITE

**Produttore** Saint Gobain

**Fonte** www.sggprivalite.com



## Prestazione Principale

Comfort termico

## Prestazioni Secondarie

controllo della condensa superficiale  
funge da elemento radiante

## Prestazioni aggiuntive

### Caratteristiche visive

chiaro, trasparente, non riflettente, lucido, non texturizzato, di colore neutro

### Caratteristiche tattili

liscio, duro



## Caratteristiche

La lastra rivolta all'interno della stanza è realizzata con vetro temperato di sicurezza (TSG), ed è provvista di un coating speciale senza cavi a vista sul lato verso l'intercapedine. La lastra esterna è costituita da un vetro float di sicurezza, temperato o laminato, ed è di solito provvisto di un coating bassoemissivo. Il distanziatore è in materiale plastico disponibile in misure che vanno dagli 8 ai 27 mm di spessore: ciò porta ad un notevole risparmio di perdita di calore lungo i bordi, se paragonato ai normali vetri isolanti, poichè non esistono ponti termici. Per l'intercapedine si utilizzano di solito argon o kripton, a seconda delle esigenze. I cavi elettrici sono alloggiati lungo i bordi, e le lastre di vetro sono protette elettricamente.

La potenza riscaldante della vetrata è regolata a seconda delle necessità dell'edificio e dell'utente in edifici residenziali, fino ad un massimo di energia specifica di 88 W/m<sup>2</sup>. Poichè i fabbisogni energetici della vetrata variano (giorno/notte, vento, isolamento ecc.), in genere si utilizza un sistema di regolazione dell'energia. E' possibile avere una regolazione dell'energia basata sulla temperatura dell'aria o sulla temperatura di superficie della lastra di vetro, o di una combinazione di questi due metodi. Integrazione del circuito alla lastra completamente invisibile, non crea condense o spifferi, genera un calore radiante distribuito su tutta la superficie vetrata, e non crea l'effetto di parete fredda.

## Dati Tecnici

Trasmittanza U (W/m <sup>2</sup> K)	1.2
Consumo di energia elettrica (W/m <sup>2</sup> )	Minimo 20
	Massimo 800
Tensione massima del coating conduttivo (kW/cm <sup>2</sup> )	1
Resistenza a pressione (N/mm <sup>2</sup> )	700

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** 50%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 89%

**Durata prevista** 20anni

**Possibili impieghi** ospedali, piscine, luoghi riscaldati a rischio di "effetto parete fredda", luoghi in cui non sono realizzabili riscaldamenti di tipo convenzionale

**Nome commerciale** HACHTEL-POWERGLAS®

**Produttore** HACHTEL

**Fonte** <http://www.heizglas.de/glasprodukte.html>



**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie**Sicurezza  
Antirumore**Prestazioni aggiuntive**

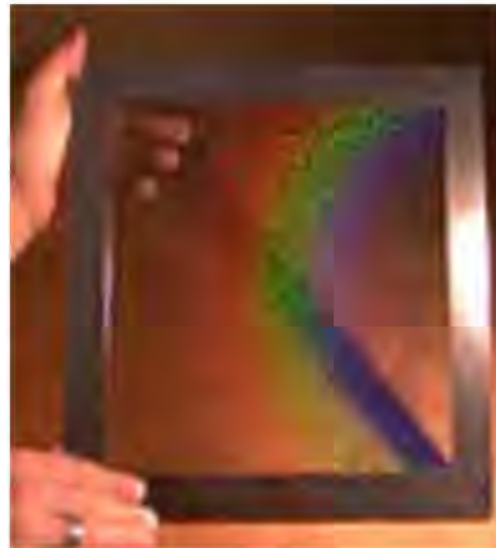
Colore cangiante (modifica il colore diffrangendo la luce)

**Caratteristiche visive**

chiaro, poco riflettente, cangiante, texturizzato in diversi modi e su disegno

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

I film olografici sono costituiti da tre fogli polimerici a base di polivinil butirrale, di cui uno ha proprietà olografiche: essi, cioè, interposti a vetri stratificati, diffondono la luce all'interno del locale per diffrazione aumentando l'illuminamento nelle parti più interne del locale e limitando l'abbagliamento. A seconda dei tipi possono essere selettivi nei confronti degli UV o dell'IR, nel secondo caso limitano il carico termico del locale. La presenza del film olografico crea nel vetro stratificato un effetto ottico tridimensionale con giochi di colore che variano a seconda dell'angolo di osservazione. Quando un raggio di luce colpisce tali vetri stratificati, l'effetto risultante è simile a quello che si osserva in un caleidoscopio. I film olografici sono disponibili in diversi tipi di grafiche creative che, combinate in modo differente, permettono di ottenere vetri stratificati con una grande varietà di finiture. Questi prodotti inoltre possiedono tutte le caratteristiche tipiche dei vetri stratificati: grazie alla presenza dei film plastici interposti sono vetri di sicurezza e possiedono buone proprietà di isolamento acustico.

**Dati Tecnici**

Trasmittanza U (W/m <sup>2</sup> K)	0.48
Coefficiente di ombreggiamento	0.66
Trasmissione di raggi UV	0.50
Dimensioni (cm)	55- 120 x 3.60

**Supporto** vetro, materiali plastici trasparenti**Trasmissione di Energia Solare** 46-50%**Trasmissione di Radiazione Visibile** 48-50%**Durata prevista** 15 anni**Possibili impieghi** dove sia necessaria una distribuzione della luce solare all'interno degli ambienti, o per effetti di colore, sia in interni che in esterni**Nome commerciale** Spectr@Litetm IGU**Produttore** Thinking Lightly**Fonte** www.thinkinglightly.com

## Prestazione Principale

Controllo del flusso solare

## Prestazioni Secondarie

## Prestazioni aggiuntive

Comportamento geometricamente selettivo

## Caratteristiche visive

semitrasparente, chiaro, parzialmente riflettente, texturizzato, di colore neutro

## Caratteristiche tattili

presenta un lato liscio, uno dentellato, ma viene posto tra due lastre di vetro e non è esposto al tatto.



## Caratteristiche

La superficie della pellicola si comporta in pratica sia come specchio riflettente, sia come pellicola trasparente e grazie a queste caratteristiche trasporta la luce in modo uniforme e soffuso, senza la produzione di ombre e a temperatura ambiente. Il risultato è una fonte di luce molto simile a quella prodotta dal sole, con una forte riduzione dell'abbagliamento. Le pellicole prismatiche OLF hanno uno spessore complessivo di mezzo millimetro e reindirizzano la radiazione luminosa incidente a seconda dell'angolo tra i dentelli. Pertanto, può essere progettata e realizzata per ottenere il massimo comfort visivo.

## Dati Tecnici

Spessore (mm)	0.508 ± 0.076
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	0.50 ± 0.02
Temperatura di deformazione (°C)	129.4
Assorbimento acustico (dB/m)	<50
Riflessione diffusa (%)	94.5

**Supporto** vetro, policarbonato trasparente

**Trasmissione di Energia Solare** 60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** secondo l'angolo prestabilito; la trasmissione è del 5% (riflette il 90- 95% della radiazione) per luce diffusa, la trasmissione è dell' 80%

**Durata prevista** 20 anni

**Possibili impieghi** per componenti di involucro trasparenti, laddove sia necessario redirezionare la luce incidente

**Nome commerciale** OLF

**Produttore** 3M

**Fonte** www.mmm.com

**Prestazione Principale**

Controllo del flusso luminoso

**Prestazioni Secondarie****Prestazioni aggiuntive**

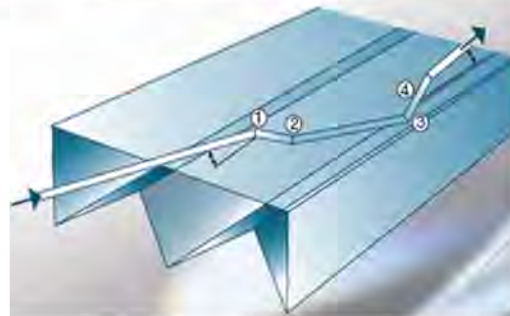
Geometricamente selettivo

**Caratteristiche visive**

semitrasparente, chiaro, parzialmente riflettente, texturizzato, di colore neutro

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

Il film Serraglaze consiste di due pellicole di polimetilmetacrilato (PMMA) all'interno delle quali sono incorporati piccolissimi prismi, uniti con un processo di microreplicazione. In questo modo si creano delle piccolissime tasche d'aria che formano lamelle, in grado di comportarsi come dispositivi di redimensionamento della radiazione incidente nella direzione perpendicolare alla loro facce.

Il tutto è realizzato in 1mm di spessore mediante un processo di microreplicazione, e di solito il film che ne risulta viene inserito tra due lastre di vetro utilizzando adesivi appropriati (anch'essi possono infatti avere un'influenza sulla trasmissione luminosa).

**Dati Tecnici**

Dimensioni massime	[mm]	250 x 250
Indice di rifrazione	[ISO 489]	1,49
Densità	[g/cm]	1,19
Indice di resistenza al fuoco	[DIN 4102]	B2

**Supporto** Vetro, Policarbonato trasparente

**Trasmissione di Energia Solare** 60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 92%

**Durata prevista** 25 anni

**Possibili impieghi** lucernai, serramenti verticali (si consiglia di posizionare i film al di sopra dell'altezza della visuale dell'utente)

**Nome commerciale** Serraglaze

**Produttore** bendinglight, London WC1R 4LN

**Fonte** www.bendinglight.co.uk



### Prestazione Principale

Manutenibilità

### Prestazioni Secondarie

isolamento termico,

### Prestazioni aggiuntive

#### Caratteristiche visive

Liscio, trasparente, di colore neutro

#### Caratteristiche tattili

Liscio



### Caratteristiche

Il film autopulente consiste in un deposito di biossido di Titanio, deposto sulla faccia esposta agli agenti atmosferici. Grazie all'effetto idrofilico, in caso di pioggia l'acqua si distribuisce sulla superficie in modo uniforme, senza creare gocce. Se esposto alla luce solare, il rivestimento agisce chimicamente in due modi: innanzitutto decompone lo sporco organico, e in secondo luogo consente all'acqua, proprio attraverso la distribuzione uniforme, di scorrere sul vetro portando con sé lo sporco disciolto.

L'aspetto è simile a quello di un vetro comune, con una tonalità leggermente azzurrata. Il film non ha alcun effetto sulla resistenza del vetro, riduce appena il passaggio della luce e dell'energia solare.

Il rivestimento non è soggetto ad erosione

### Dati Tecnici

**Supporto** vetro

**Trasmissione di Energia Solare** Tra il 40 ed il 50% (valori che tengono già conto del supporto)

**Trasmissione di Radiazione Visibile** Tra il 55% ed il 30% (valori che tengono conto del supporto)

**Durata prevista** la stessa del vetro su cui è deposto

**Possibili impieghi** in tutti i casi in cui il componente trasparente è esposto agli agenti atmosferici, a polvere e depositi

**Nome commerciale** sgg bioclean

**Produttore** Saint Gobain

**Fonte** [www.saint-gobain-glass.com](http://www.saint-gobain-glass.com)



**Prestazione Principale**

Aspetto

**Prestazioni Secondarie**

Sicurezza, Manutenibilità

**Prestazioni aggiuntive**

Adattivo passivo

**Caratteristiche visive**

Il colore varia, a seconda della radiazione incidente

**Caratteristiche tattili**

liscio, flessibile

**Caratteristiche**

L'effetto cromatico creato dal film dicroico varia, a seconda dell'intensità ed angolazione della radiazione incidente, dell'angolo di vista e dello sfondo. La pellicola combina più strati di poliestere e acrilico di vario spessore aventi diversi valori di riflessione della luce per ottenere un effetto di variazione cromatica che copre l'intero spettro del visibile da ogni angolazione possibile. L'effetto che deriva dalle proprietà dicroiche del materiale è quello di una facciata che, in base alle condizioni atmosferiche e alla posizione dell'osservatore, sembra mutare continuamente.

Sono disponibili due tipi di film di colorazione diversa ( il CM 500 e il CM 590), che presentano due differenti effetti di variazione cromatica: il primo sui toni del blu, del magenta e dell'oro, il secondo sui toni del ciano, del blu e del Magenta. Dai tre colori dominanti di ciascuno dei due prodotti si ottiene uno spettro cromatico molto ampio che dipende dall'angolo di incidenza della luce e dal punto di vista.

Gli effetti cromatici garantiscono un basso assorbimento della radiazione solare (ad esempio, non si scaldano molto esposti al sole). Inoltre la pellicola in cui sono realizzati ha proprietà antigraffio, ma vengono quasi sempre inseriti fra due lastre di vetro e non esposti agli agenti atmosferici.

**Dati Tecnici**

3M™ Radiant Light Film	Transmissive Color <sup>(1)</sup>	Reflective Color <sup>(1)</sup>	Transmission <sup>(2)</sup> :	Bandwidth <sup>(3)</sup>		Usage Angle (color varies with angle)
			L* (L-star) A* (a-star) B* (b-star)	Left bandedge (nm) Right bandedge (nm)		
CM592/ CMT592/ CML592	Cyan/Blue/Magenta	Red/Gold	66 to 92 -56 to -12 -43 to -1	590 740		0 to 90

<sup>(1)</sup>Varies by viewing angle.

<sup>(2)</sup>ASTM Test: E1164-94 / E387-95.

<sup>(3)</sup>Absorbs below 400 nm.

**Supporto** Vetro, materiali trasparenti, materiali opachi su cui sia possibile usare colle specifiche.

**Trasmissione di Energia Solare** 60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 70%

**Durata prevista** 15 anni

**Possibili impieghi** un film dicroico può essere utilizzato su qualunque supporto, piano o curvo, su cui sia possibile incollarlo con un adesivo che consenta alcuni margini di ritiro e dilatazione termici del materiale.

**Nome commerciale** Radiant Color Film

**Produttore** 3M

**Fonte** www.mmm.com

## Prestazione Principale

Controllo del flusso luminoso

## Prestazioni Secondarie

sicurezza  
Filtro raggi UV

## Prestazioni aggiuntive

caratteristiche ottiche dinamiche

## Caratteristiche visive

chiaro, trasparente da alcuni angoli, traslucido da altri, non riflettente, di colore neutro, non texturizzato

## Caratteristiche tattili

liscio, flessibile



## Caratteristiche

Lumisty è una particolare pellicola trasparente adesiva che, in base ad alcuni angoli d'incidenza, è in grado di modificare la possibilità di visione. L'azienda produttrice ne propone tre versioni, di cui due (la MFZ-2555 e la MFX-1515) biangolo, caratterizzate, cioè, da una doppia visione frontale e laterale; la terza, monoangolo, la cui applicazione, offre una chiara visione frontale con schermatura da un solo lato. In particolare quando ci si trova frontalmente, rispetto alla prima pellicola biangolo, o alla superficie sulla quale è stata applicata, possiamo vedere attraverso come se non ci fosse, ma se ci si sposta lateralmente l'effetto sfocatura crea uno schermo totale. Viceversa la seconda offre una chiara visione laterale e una schermatura frontale.

Oltre ad una totale trasmissione della luce, Lumisty, respinge i raggi ultravioletti e funge da film di sicurezza in caso di rottura del vetro. E' infatti generalmente impiegata in architettura e spesso utilizzata accoppiata a vetro o metacrilati per finestre o vetrine, ma la facilità di applicazione e il materiale di base fanno intravedere possibilità sia nel campo dell'arredamento sia in quello dell'illuminazione.

Disponibile in rotoli di dimensioni standard 1.25 x 15 m.

## Dati Tecnici

Lumisty®	Trasparenza	Range di opacità	Spessore
MFX-1515	Frontale(soltanto)	-15° ~ + 15°	1mm
MFY-2555	Da un range di un unico angolo (singolo)	+ 25° ~ + 55°	1mm
MFZ-2555	Da un range di due angoli (doppio)	± 25° ~ ± 55°	3mm

**Supporto** vetro, materiali plastici trasparenti

**Trasmissione di Energia Solare** 60%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** 88%

**Durata prevista** 25 anni

**Possibili impieghi** Interior glass, acrylic and polycarbonate surfaces. Glass balustrades and staircases, windows, glazed partitions, computer/ATM screens.

**Nome commerciale** Lumisty: MFX-1515, MFY-2555 and MFZ-2555 Glazing Films

**Produttore** Madico

**Fonte** www.madico.com

**Prestazione Principale**

Aspetto

**Prestazioni Secondarie****Prestazioni aggiuntive****Caratteristiche visive**

luminoso, in vari possibili colori

**Caratteristiche tattili**

Liscio, flessibile

**Caratteristiche**

I dispositivi Oled sono costituiti da uno o più film organici, compresi tra due elettrodi di cui almeno uno è trasparente. Il colore della luce emessa è caratteristico della specie chimica e l'accensione avviene in tempi dell'ordine di pochi microsecondi.

Gli OLED sono integrabili (ed esistono già varie sperimentazioni) sia tra due lastre di vetro, che tra due pellicole plastiche sufficientemente resistenti.

In questo modo, possono essere usati sia in modo indipendente da supporti (nastri OLED), sia applicati ad un grande numero di materiali. Inoltre, questo procedimento riduce molto i costi di fabbricazione e consente di essere applicato anche su supporti curvi.

**Dati Tecnici****Supporto** pellicole polimeriche flessibili**Trasmissione di Energia Solare** -**Trasmissione di Radiazione Visibile** -**Durata prevista** 15 anni**Possibili impieghi** laminato tra componenti vetrati , può avere molti possibili impieghi**Nome commerciale** Drylox™ Cover Glass**Produttore** DuPont**Fonte**



## Prestazione Principale

Aspetto

## Prestazioni Secondarie

Sicurezza, protezione raggi UV

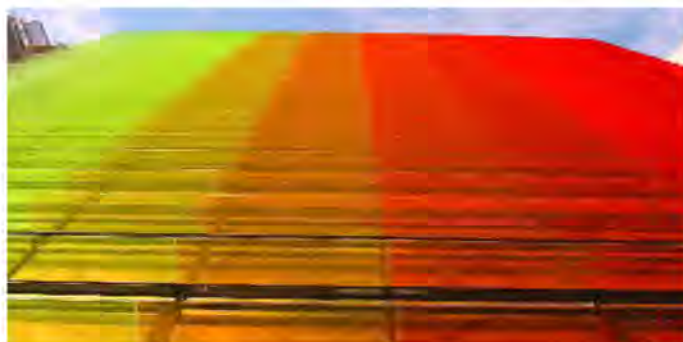
## Prestazioni aggiuntive

### Caratteristiche visive

colorato, brillante

### Caratteristiche tattili

liscio



## Caratteristiche

I film decorativi, inseriti tra due lastre di vetro, permettono di creare un vetro stratificato colorato, decorato con motivi o con colori o texture. Sovrapponendo più intercalari all'interno dello stesso vetro stratificato, si possono creare infinite tonalità e combinazioni di colori e motivi, o di colori e finiture. Tra altre qualità tali intercalari includono prestazioni tecniche uguali a quelle del PVB classico, associate alla resistenza e facilità di manutenzione del vetro stratificato.

L'impiego di questi film permette di ridurre in misura significativa il fattore solare ("g"), sia assorbendo, sia riflettendo l'energia solare incidente, e di filtrare i raggi UV nocivi. Assorbendo la quasi totalità dei raggi ultravioletti, evitano infatti l'alterazione di decorazioni, arredamento interno, tinture e rivestimenti murali, fotografie e opere d'arte.

## Dati Tecnici

Coefficiente shading:	0,7 - 0,88
Fattore U:	1,07
Trasmissione UV:	0,01%

**Supporto** Vetro

**Trasmissione di Energia Solare** ampia gamma di prodotti, il cui range va dal 45 - 70%

**Trasmissione di Radiazione Visibile** ampia gamma di prodotti, il cui range va dal 57 - 70 %

**Durata prevista** 20 anni

**Possibili impieghi** interposto tra due lastre di vetro, per molti possibili impieghi

**Nome commerciale** Serie Color

**Produttore** Vanceva

**Fonte** [www.vanceva.com](http://www.vanceva.com)



**Prestazione Principale**

Comfort Termico

**Prestazioni Secondarie**

Conduttivo elettrico

**Prestazioni aggiuntive**

il cablaggio è diffuso nel film, reso trasparente

**Caratteristiche visive**

chiaro, trasparente, poco riflettente, non texturizzato, di colore neutro

**Caratteristiche tattili**

liscio, duro

**Caratteristiche**

Il vetro di base appare senza fori o elementi per la fornitura di elettricità. Una lastra di vetro chiaro è assemblata ad una lastra esterna mediante un film in PVB (Polivinilbutirale), con il metodo della laminazione. L'energia (basso voltaggio) è fornita da circuiti conduttivi incorporati nella lastra, che sono praticamente invisibili.

Questa tecnologia permette molte nuove possibilità per l'integrazione di dispositivi alimentati elettricamente alle lastre di vetro, senza la presenza di cavi.

Nell'esempio in foto, le sorgenti luminose sono alimentate dal film conduttivo in PVB, a sua volta protetto all'interno di due lastre di vetro.

**Dati Tecnici**

Fattore solare g	0,70
Coefficiente shading	0,80
Trasmittanza U (per stratificato da 15 mm) W/m <sup>2</sup> K	5,6
Trasmissione raggi UV	< 1%

**Supporto** vetro**Trasmissione di Energia Solare** 61%**Trasmissione di Radiazione Visibile** 81%**Durata prevista** 20 anni**Possibili impieghi** integrazione di impianti elettrici alle componenti vetrate**Nome commerciale** PowerKontakt™**Produttore** lif-germany**Fonte** [www.schott.com](http://www.schott.com), [www.lif-germany.de](http://www.lif-germany.de)

Poiché il metodo LT nella versione 3.0 è manuale, le relazioni che strutturano il modello compaiono e sono utilizzabili solo sottoforma di grafici: le Curve LT appunto.

Per potere più agevolmente utilizzare le funzioni impiegate nel modello LT, e modificarne l'impiego, è stato utile ricavare le funzioni descritte mediante le curve.

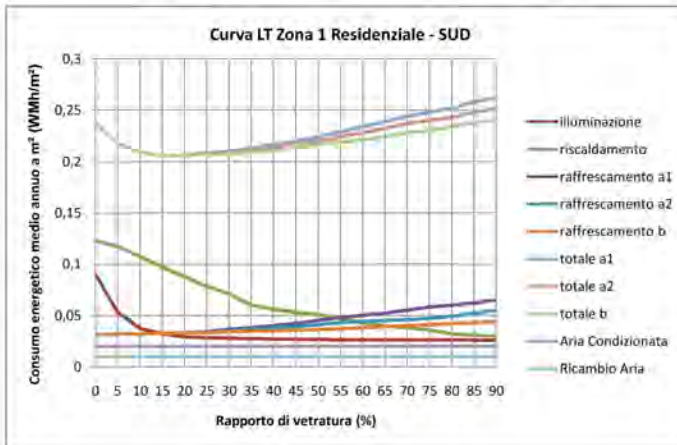
Per raggiungere questo obiettivo si sono tabulati i valori dei grafici, per le curve corrispondenti, ad intervalli uguali corrispondenti ad incrementi del 5% del fattore di vetratura (ascisse). La prima operazione consiste dunque nel tabulare i valori desunti dalle curve LT corrispondenti: vengono dapprima letti i valori, tabulati su un foglio excel e rappresentati di nuovo come grafico.

Ciò è stato effettuato per ognuna delle due zone climatiche, individuando 12 grafici, per un totale di 24 grafici, composto ognuno da otto curve.

# CURVE LT ZONA1 RESIDENZIALE

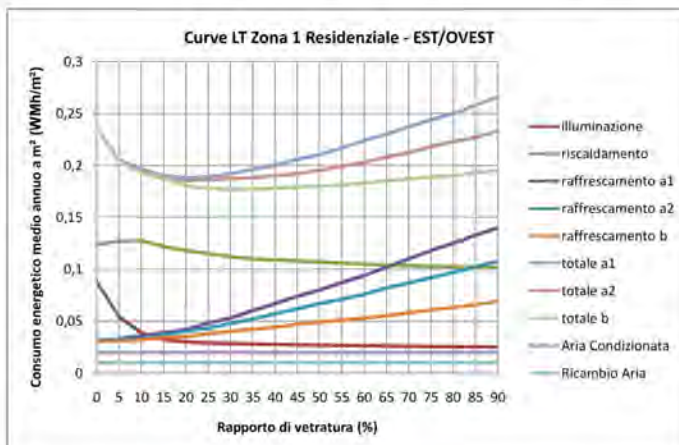
SUD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)									
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b		
0	0,09	0,123	0,031	0,031	0,031	0,238	0,238	0,238	0,02	0,01
5	0,053	0,117	0,0315	0,0315	0,0315	0,2175	0,2175	0,2175	0,02	0,01
10	0,0375	0,107	0,032	0,032	0,032	0,209	0,209	0,209	0,02	0,01
15	0,032	0,097	0,0325	0,0325	0,0325	0,2055	0,2055	0,2055	0,02	0,01
20	0,029	0,088	0,0332	0,0331	0,033	0,206	0,206	0,206	0,02	0,01
25	0,0285	0,078	0,034	0,0335	0,033	0,208	0,20875	0,207	0,02	0,01
30	0,028	0,071	0,0365	0,035	0,034	0,21	0,209	0,207	0,02	0,01
35	0,0275	0,06	0,038	0,036	0,0345	0,213	0,21	0,209	0,02	0,01
40	0,027	0,056	0,04	0,038	0,035	0,217	0,214	0,211	0,02	0,01
45	0,02655	0,053	0,042	0,039	0,0355	0,22	0,2185	0,214	0,02	0,01
50	0,0265	0,051	0,045	0,041	0,036	0,224	0,22	0,217	0,02	0,01
55	0,02635	0,047	0,048	0,043	0,037	0,229	0,224	0,219	0,02	0,01
60	0,0263	0,043	0,05	0,044	0,038	0,234	0,228	0,221	0,02	0,01
65	0,02625	0,04	0,052	0,045	0,039	0,239	0,232	0,224	0,02	0,01
70	0,0262	0,038	0,055	0,046	0,04	0,244	0,237	0,228	0,02	0,01
75	0,02615	0,036	0,058	0,047	0,041	0,248	0,24	0,23	0,02	0,01
80	0,0261	0,032	0,06	0,049	0,042	0,252	0,243	0,234	0,02	0,01
85	0,02605	0,031	0,062	0,052	0,043	0,258	0,248	0,238	0,02	0,01
90	0,026	0,03	0,065	0,055	0,044	0,262	0,251	0,24	0,02	0,01



EST-OVEST

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)									
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b		
0	0,088	0,124	0,0315	0,0315	0,0305	0,236	0,236	0,236	0,02	0,01
5	0,054	0,127	0,033	0,033	0,031	0,205	0,2035	0,204	0,02	0,01
10	0,039	0,1275	0,036	0,033	0,032	0,198	0,193	0,193	0,02	0,01
15	0,032	0,122	0,039	0,037	0,034	0,19	0,187	0,188	0,02	0,01
20	0,03	0,118	0,042	0,04	0,035	0,188	0,185	0,18	0,02	0,01
25	0,029	0,115	0,048	0,043	0,038	0,189	0,186	0,178	0,02	0,01
30	0,0285	0,112	0,053	0,048	0,04	0,192	0,187	0,1765	0,02	0,01
35	0,028	0,11	0,06	0,052	0,042	0,196	0,188	0,177	0,02	0,01
40	0,0276	0,109	0,067	0,057	0,044	0,2	0,19	0,178	0,02	0,01
45	0,0272	0,108	0,074	0,062	0,047	0,206	0,192	0,179	0,02	0,01
50	0,0269	0,107	0,08	0,067	0,049	0,21	0,195	0,18	0,02	0,01
55	0,0266	0,106	0,087	0,071	0,051	0,217	0,199	0,181	0,02	0,01
60	0,0264	0,105	0,094	0,076	0,053	0,224	0,203	0,183	0,02	0,01
65	0,0262	0,104	0,102	0,082	0,055	0,23	0,208	0,185	0,02	0,01
70	0,0259	0,1035	0,11	0,087	0,058	0,237	0,212	0,187	0,02	0,01
75	0,0256	0,103	0,118	0,092	0,061	0,244	0,218	0,189	0,02	0,01
80	0,0254	0,1026	0,125	0,097	0,063	0,25	0,223	0,19	0,02	0,01
85	0,0252	0,1023	0,133	0,102	0,066	0,258	0,227	0,193	0,02	0,01
90	0,025	0,102	0,14	0,108	0,069	0,266	0,233	0,195	0,02	0,01

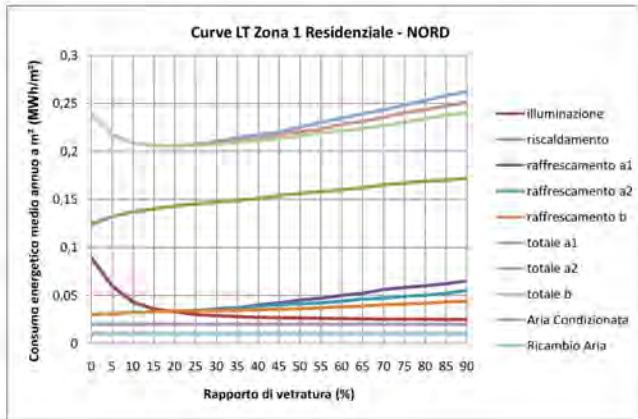




# CURVE LT ZONA1 RESIDENZIALE

NORD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0,089	0,124	0,03	0,03	0,03	0,239	0,239	0,239	0,02	0,01		
5	0,06	0,132	0,031	0,031	0,031	0,217	0,217	0,217	0,02	0,01		
10	0,043	0,137	0,032	0,032	0,032	0,208	0,208	0,208	0,02	0,01		
15	0,036	0,14	0,033	0,033	0,033	0,206	0,206	0,206	0,02	0,01		
20	0,033	0,143	0,0336	0,0335	0,0334	0,205	0,205	0,205	0,02	0,01		
25	0,03	0,145	0,034	0,0339	0,0338	0,207	0,2065	0,206	0,02	0,01		
30	0,029	0,147	0,036	0,035	0,034	0,21	0,209	0,2075	0,02	0,01		
35	0,028	0,149	0,037	0,037	0,0345	0,214	0,211	0,209	0,02	0,01		
40	0,027	0,151	0,04	0,039	0,035	0,217	0,213	0,211	0,02	0,01		
45	0,0268	0,154	0,042	0,04	0,0355	0,22	0,217	0,213	0,02	0,01		
50	0,0265	0,156	0,045	0,041	0,036	0,225	0,22	0,216	0,02	0,01		
55	0,0263	0,158	0,047	0,042	0,037	0,23	0,223	0,219	0,02	0,01		
60	0,026	0,16	0,05	0,044	0,038	0,234	0,228	0,221	0,02	0,01		
65	0,0257	0,162	0,052	0,046	0,039	0,239	0,231	0,224	0,02	0,01		
70	0,0254	0,165	0,056	0,047	0,04	0,243	0,235	0,227	0,02	0,01		
75	0,0253	0,167	0,058	0,048	0,041	0,248	0,24	0,23	0,02	0,01		
80	0,0252	0,169	0,06	0,05	0,042	0,253	0,243	0,234	0,02	0,01		
85	0,02515	0,17	0,062	0,052	0,043	0,258	0,247	0,238	0,02	0,01		
90	0,025	0,172	0,065	0,055	0,044	0,262	0,251	0,24	0,02	0,01		



ORIZZONTALE

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0,09	0,154	0,03	0,03	0,03	0,268	0,268	0,222	0,02	0,01		
5	0,042	0,146	0,042	0,039	0,033	0,234	0,227	0,205	0,02	0,01		
10	0,03	0,137	0,052	0,052	0,04	0,223	0,213	0,202	0,02	0,01		
15	0,029	0,13	0,088	0,069	0,049	0,24	0,219	0,208	0,02	0,01		
20	0,028	0,125	0,12	0,089	0,06	0,264	0,237	0,216	0,02	0,01		
25	0,027	0,121	0,15	0,112	0,071	0,297	0,257	0,227	0,02	0,01		
30	0,0265	0,118	0,187	0,137	0,083		0,278	0,238	0,02	0,01		
35	0,0259	0,117	0,218	0,16	0,094		0,3	0,248	0,02	0,01		
40	0,0256	0,115	0,258	0,185	0,107			0,262	0,02	0,01		
45	0,0253	0,114	0,298	0,212	0,122			0,275	0,02	0,01		
50	0,025	0,113		0,238	0,134			0,288	0,02	0,01		
55	0,0248	0,112		0,264	0,148			0,3	0,02	0,01		
60	0,0247	0,111		0,292	0,162				0,02	0,01		
65	0,0246	0,112			0,177				0,02	0,01		
70	0,0245	0,113			0,189				0,02	0,01		
75	0,0244	0,115			0,204				0,02	0,01		
80	0,0243	0,116			0,218				0,02	0,01		
85	0,0242	0,118			0,232				0,02	0,01		
90	0,024	0,119			0,247				0,02	0,01		

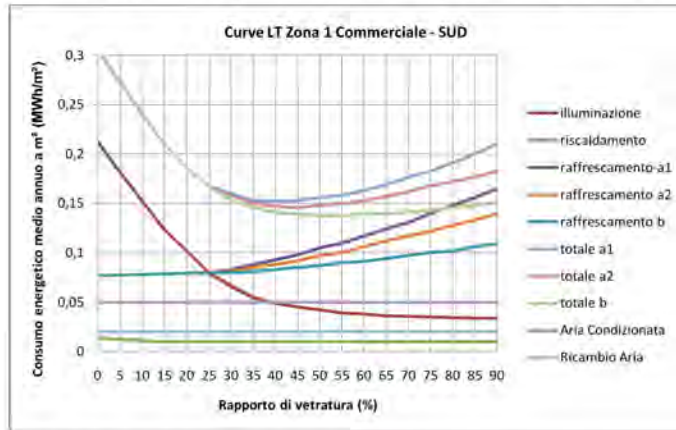




# CURVE LT ZONA1 COMMERCIALE

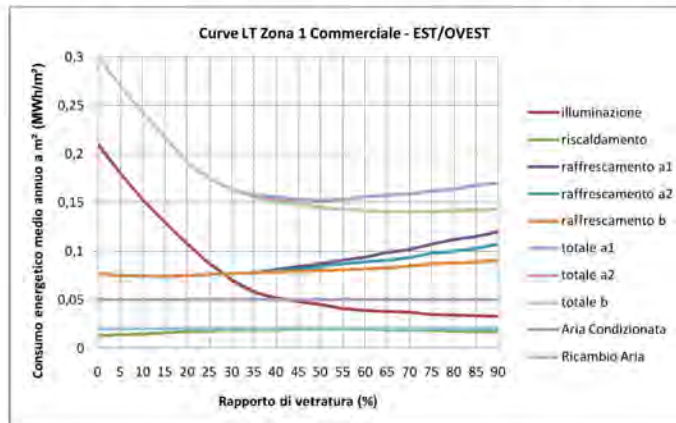
SUD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0.212	0.014	0.077	0.077	0.077	0.305	0.305	0.305	0.05	0.05	0.02	0.02
5	0.181	0.012	0.0775	0.0775	0.0775	0.272	0.272	0.272	0.05	0.05	0.02	0.02
10	0.152	0.011	0.078	0.078	0.078	0.24	0.24	0.24	0.05	0.05	0.02	0.02
15	0.123	0.01	0.0785	0.0785	0.0785	0.21	0.21	0.21	0.05	0.05	0.02	0.02
20	0.102	0.01	0.079	0.079	0.079	0.186	0.186	0.186	0.05	0.05	0.02	0.02
25	0.08	0.01	0.08	0.08	0.0795	0.168	0.168	0.168	0.05	0.05	0.02	0.02
30	0.066	0.01	0.083	0.081	0.08	0.16	0.158	0.153	0.05	0.05	0.02	0.02
35	0.055	0.01	0.088	0.085	0.081	0.153	0.15	0.146	0.05	0.05	0.02	0.02
40	0.049	0.01	0.093	0.088	0.083	0.152	0.147	0.141	0.05	0.05	0.02	0.02
45	0.045	0.01	0.096	0.092	0.085	0.153	0.146	0.139	0.05	0.05	0.02	0.02
50	0.042	0.01	0.105	0.097	0.087	0.156	0.148	0.138	0.05	0.05	0.02	0.02
55	0.039	0.01	0.11	0.1	0.09	0.158	0.15	0.138	0.05	0.05	0.02	0.02
60	0.038	0.01	0.117	0.106	0.091	0.163	0.153	0.139	0.05	0.05	0.02	0.02
65	0.036	0.01	0.124	0.112	0.094	0.169	0.157	0.1395	0.05	0.05	0.02	0.02
70	0.0355	0.01	0.131	0.117	0.097	0.177	0.162	0.141	0.05	0.05	0.02	0.02
75	0.035	0.01	0.14	0.122	0.1	0.183	0.168	0.143	0.05	0.05	0.02	0.02
80	0.0345	0.01	0.148	0.128	0.102	0.191	0.172	0.146	0.05	0.05	0.02	0.02
85	0.034	0.01	0.156	0.133	0.106	0.2	0.177	0.148	0.05	0.05	0.02	0.02
90	0.0335	0.01	0.165	0.14	0.109	0.21	0.183	0.151	0.05	0.05	0.02	0.02



EST/OVEST

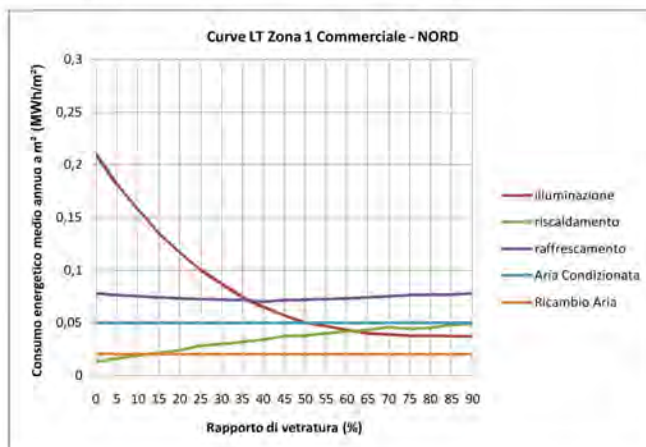
Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0.21	0.013	0.077	0.077	0.077	0.3	0.3	0.3	0.05	0.05	0.02	0.02
5	0.18	0.014	0.075	0.075	0.075	0.27	0.27	0.27	0.05	0.05	0.02	0.02
10	0.153	0.015	0.0745	0.0745	0.0745	0.242	0.242	0.242	0.05	0.05	0.02	0.02
15	0.13	0.016	0.074	0.074	0.074	0.218	0.218	0.218	0.05	0.05	0.02	0.02
20	0.108	0.017	0.075	0.075	0.075	0.191	0.191	0.191	0.05	0.05	0.02	0.02
25	0.087	0.0181	0.076	0.076	0.076	0.175	0.175	0.175	0.05	0.05	0.02	0.02
30	0.07	0.0185	0.077	0.077	0.077	0.164	0.164	0.164	0.05	0.05	0.02	0.02
35	0.058	0.0189	0.078	0.078	0.078	0.158	0.157	0.156	0.05	0.05	0.02	0.02
40	0.052	0.0191	0.081	0.08	0.0785	0.156	0.152	0.15	0.05	0.05	0.02	0.02
45	0.048	0.0194	0.084	0.082	0.079	0.1535	0.15	0.148	0.05	0.05	0.02	0.02
50	0.045	0.0198	0.087	0.084	0.08	0.152	0.145	0.145	0.05	0.05	0.02	0.02
55	0.041	0.0198	0.091	0.087	0.081	0.1535	0.143	0.143	0.05	0.05	0.02	0.02
60	0.039	0.0196	0.094	0.089	0.082	0.156	0.142	0.142	0.05	0.05	0.02	0.02
65	0.038	0.0193	0.099	0.091	0.083	0.158	0.141	0.141	0.05	0.05	0.02	0.02
70	0.037	0.0189	0.102	0.093	0.085	0.159	0.1405	0.1405	0.05	0.05	0.02	0.02
75	0.035	0.0185	0.107	0.098	0.087	0.162	0.141	0.141	0.05	0.05	0.02	0.02
80	0.034	0.018	0.112	0.1	0.088	0.164	0.142	0.1415	0.05	0.05	0.02	0.02
85	0.0335	0.0175	0.115	0.103	0.089	0.168	0.1425	0.142	0.05	0.05	0.02	0.02
90	0.033	0.017	0.12	0.107	0.09	0.17	0.143	0.143	0.05	0.05	0.02	0.02



## CURVE LT ZONA1 COMMERCIALE

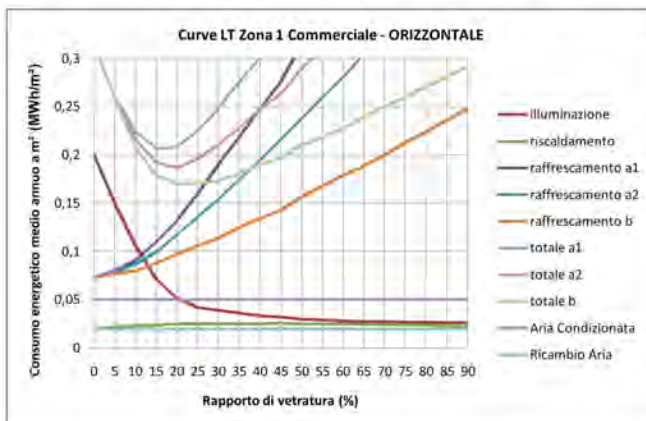
NORD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WWh/mq)				
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento	AC	F
0	0,21	0,013	0,078	0,05	0,02
5	0,181	0,016	0,076	0,05	0,02
10	0,158	0,019	0,075	0,05	0,02
15	0,135	0,021	0,074	0,05	0,02
20	0,117	0,024	0,073	0,05	0,02
25	0,1	0,028	0,0725	0,05	0,02
30	0,087	0,03	0,072	0,05	0,02
35	0,074	0,032	0,0715	0,05	0,02
40	0,065	0,034	0,07	0,05	0,02
45	0,057	0,037	0,0715	0,05	0,02
50	0,05	0,038	0,072	0,05	0,02
55	0,047	0,04	0,0725	0,05	0,02
60	0,043	0,042	0,073	0,05	0,02
65	0,04	0,043	0,074	0,05	0,02
70	0,039	0,046	0,075	0,05	0,02
75	0,038	0,044	0,076	0,05	0,02
80	0,0377	0,045	0,077	0,05	0,02
85	0,0373	0,048	0,077	0,05	0,02
90	0,037	0,049	0,078	0,05	0,02



ORIZZONTALE

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WWh/mq)									
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b		
0	0,2	0,02	0,073	0,073	0,073	0,315	0,315	0,315	0,05	0,02
5	0,15	0,022	0,08	0,078	0,077	0,259	0,259	0,259	0,05	0,02
10	0,106	0,023	0,091	0,087	0,08	0,224	0,216	0,208	0,05	0,02
15	0,071	0,024	0,11	0,1	0,088	0,207	0,192	0,179	0,05	0,02
20	0,052	0,025	0,131	0,117	0,097	0,208	0,187	0,17	0,05	0,02
25	0,042	0,0251	0,16	0,136	0,106	0,225	0,196	0,171	0,05	0,02
30	0,039	0,0252	0,19	0,154	0,114	0,248	0,211	0,173	0,05	0,02
35	0,036	0,0253	0,218	0,175	0,125	0,276	0,228	0,181	0,05	0,02
40	0,033	0,0254	0,247	0,195	0,134	0,3	0,247	0,19	0,05	0,02
45	0,032	0,0255	0,276	0,216	0,143	0,3	0,263	0,197	0,05	0,02
50	0,03	0,0253	0,315	0,238	0,157	0,29	0,29	0,21	0,05	0,02
55	0,029	0,0251		0,26	0,168		0,31	0,218	0,05	0,02
60	0,028	0,0249		0,281	0,179			0,228	0,05	0,02
65	0,0277	0,0247		0,305	0,189			0,239	0,05	0,02
70	0,0273	0,0243			0,2			0,25	0,05	0,02
75	0,027	0,024			0,213			0,26	0,05	0,02
80	0,0267	0,0237			0,224			0,271	0,05	0,02
85	0,0263	0,023			0,236			0,281	0,05	0,02
90	0,026	0,022			0,248			0,292	0,05	0,02

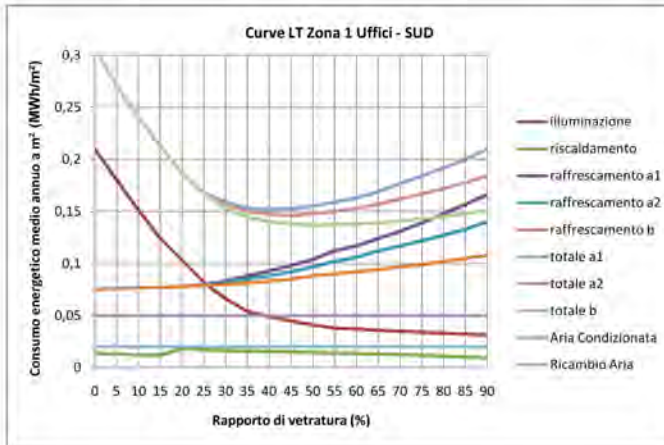




CURVE LT ZONA1 UFFICI

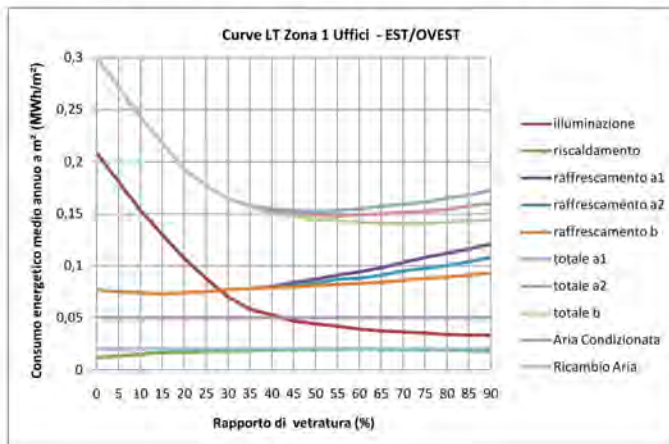
SUD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F		
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0.21	0.014	0.0755	0.0755	0.0755	0.307	0.307	0.307	0.05	0.02		
5	0.18	0.013	0.076	0.076	0.076	0.27	0.27	0.27	0.05	0.02		
10	0.151	0.012	0.0765	0.0765	0.0765	0.24	0.24	0.24	0.05	0.02		
15	0.124	0.0119	0.077	0.077	0.077	0.213	0.213	0.213	0.05	0.02		
20	0.103	0.018	0.078	0.078	0.078	0.187	0.187	0.187	0.05	0.02		
25	0.082	0.017	0.08	0.0795	0.079	0.168	0.168	0.168	0.05	0.02		
30	0.095	0.0165	0.083	0.082	0.08	0.159	0.157	0.153	0.05	0.02		
35	0.054	0.016	0.088	0.085	0.081	0.153	0.15	0.145	0.05	0.02		
40	0.049	0.0155	0.093	0.088	0.083	0.152	0.1475	0.14	0.05	0.02		
45	0.045	0.015	0.098	0.092	0.085	0.153	0.146	0.138	0.05	0.02		
50	0.041	0.0145	0.104	0.097	0.088	0.155	0.148	0.137	0.05	0.02		
55	0.038	0.014	0.112	0.102	0.09	0.159	0.15	0.1375	0.05	0.02		
60	0.037	0.0135	0.117	0.106	0.092	0.163	0.153	0.136	0.05	0.02		
65	0.036	0.013	0.124	0.112	0.094	0.169	0.157	0.139	0.05	0.02		
70	0.035	0.0125	0.131	0.117	0.097	0.177	0.162	0.141	0.05	0.02		
75	0.034	0.012	0.139	0.122	0.099	0.184	0.167	0.143	0.05	0.02		
80	0.033	0.011	0.148	0.127	0.102	0.192	0.172	0.145	0.05	0.02		
85	0.032	0.01	0.157	0.133	0.105	0.2	0.178	0.148	0.05	0.02		
90	0.0315	0.009	0.166	0.14	0.108	0.21	0.184	0.151	0.05	0.02		



EST/OVEST

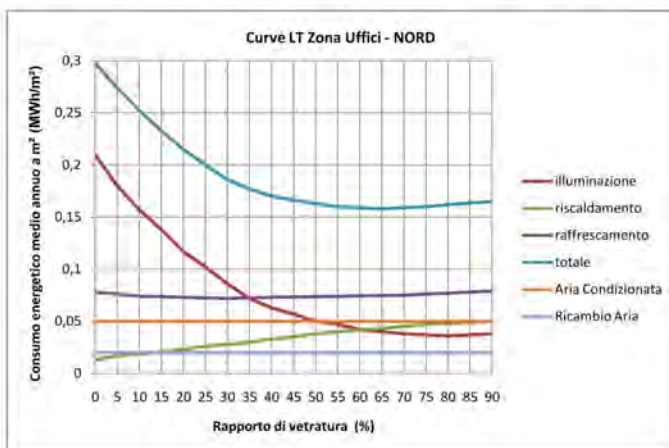
Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F		
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0.208	0.012	0.077	0.077	0.077	0.3	0.3	0.3	0.05	0.02		
5	0.181	0.013	0.075	0.075	0.075	0.272	0.272	0.272	0.05	0.02		
10	0.153	0.015	0.074	0.074	0.074	0.243	0.243	0.243	0.05	0.02		
15	0.13	0.0165	0.073	0.073	0.073	0.218	0.218	0.218	0.05	0.02		
20	0.107	0.017	0.074	0.074	0.074	0.193	0.193	0.193	0.05	0.02		
25	0.088	0.0175	0.075	0.075	0.075	0.177	0.177	0.177	0.05	0.02		
30	0.07	0.018	0.077	0.077	0.077	0.164	0.164	0.164	0.05	0.02		
35	0.058	0.0185	0.078	0.078	0.078	0.158	0.1575	0.157	0.05	0.02		
40	0.053	0.019	0.08	0.0795	0.079	0.1545	0.152	0.15	0.05	0.02		
45	0.047	0.0192	0.084	0.081	0.0795	0.153	0.15	0.148	0.05	0.02		
50	0.044	0.0194	0.087	0.083	0.081	0.152	0.1485	0.144	0.05	0.02		
55	0.042	0.0197	0.091	0.087	0.082	0.153	0.1475	0.143	0.05	0.02		
60	0.039	0.02	0.094	0.088	0.083	0.1545	0.149	0.142	0.05	0.02		
65	0.0375	0.0197	0.098	0.091	0.084	0.157	0.15	0.141	0.05	0.02		
70	0.0365	0.0194	0.103	0.095	0.086	0.159	0.151	0.14	0.05	0.02		
75	0.035	0.0192	0.108	0.0975	0.088	0.161	0.1525	0.141	0.05	0.02		
80	0.034	0.019	0.112	0.1	0.089	0.165	0.154	0.142	0.05	0.02		
85	0.0335	0.0185	0.116	0.104	0.091	0.168	0.1575	0.143	0.05	0.02		
90	0.033	0.018	0.121	0.108	0.093	0.172	0.16	0.144	0.05	0.02		



## CURVE LT ZONA1 UFFICI

NORD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WWh/mq)				AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento	totale		
0	0,21	0,013	0,078	0,298	0,05	0,02
5	0,18	0,017	0,076	0,274	0,05	0,02
10	0,157	0,018	0,074	0,252	0,05	0,02
15	0,138	0,021	0,0735	0,233	0,05	0,02
20	0,117	0,023	0,073	0,215	0,05	0,02
25	0,102	0,026	0,0725	0,2	0,05	0,02
30	0,086	0,028	0,072	0,186	0,05	0,02
35	0,072	0,03	0,0725	0,177	0,05	0,02
40	0,063	0,033	0,073	0,17	0,05	0,02
45	0,057	0,035	0,0734	0,166	0,05	0,02
50	0,05	0,038	0,0737	0,163	0,05	0,02
55	0,047	0,04	0,074	0,16	0,05	0,02
60	0,042	0,042	0,0744	0,159	0,05	0,02
65	0,04	0,043	0,0748	0,158	0,05	0,02
70	0,038	0,045	0,075	0,159	0,05	0,02
75	0,037	0,047	0,076	0,16	0,05	0,02
80	0,036	0,048	0,077	0,162	0,05	0,02
85	0,037	0,049	0,078	0,1635	0,05	0,02
90	0,038	0,05	0,079	0,165	0,05	0,02



ORIZZONTALE

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WWh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0,2	0,02	0,073	0,073	0,073	0,31	0,31	0,31	0,05	0,02		
5	0,15	0,022	0,08	0,079	0,077	0,2582	0,258	0,2578	0,05	0,02		
10	0,107	0,023	0,091	0,087	0,08	0,224	0,215	0,207	0,05	0,02		
15	0,073	0,024	0,11	0,1	0,087	0,208	0,192	0,178	0,05	0,02		
20	0,054	0,025	0,132	0,117	0,096	0,209	0,187	0,17	0,05	0,02		
25	0,043	0,026	0,16	0,136	0,105	0,226	0,197	0,172	0,05	0,02		
30	0,038	0,0255	0,189	0,154	0,114	0,248	0,212	0,174	0,05	0,02		
35	0,036	0,025	0,217	0,174	0,124	0,273	0,228	0,182	0,05	0,02		
40	0,034	0,0247	0,247	0,195	0,135	0,3	0,247	0,189	0,05	0,02		
45	0,032	0,0244	0,277	0,213	0,143	0,263	0,263	0,197	0,05	0,02		
50	0,03	0,0241		0,238	0,157	0,288	0,288	0,209	0,05	0,02		
55	0,029	0,0238		0,26	0,168			0,218	0,05	0,02		
60	0,028	0,0235		0,282	0,178			0,227	0,05	0,02		
65	0,0277	0,0232			0,189			0,238	0,05	0,02		
70	0,0274	0,0229			0,2			0,249	0,05	0,02		
75	0,0271	0,0226			0,213			0,26	0,05	0,02		
80	0,0269	0,0223			0,224			0,271	0,05	0,02		
85	0,0267	0,022			0,235			0,281	0,05	0,02		
90	0,0265	0,0217			0,247			0,293	0,05	0,02		

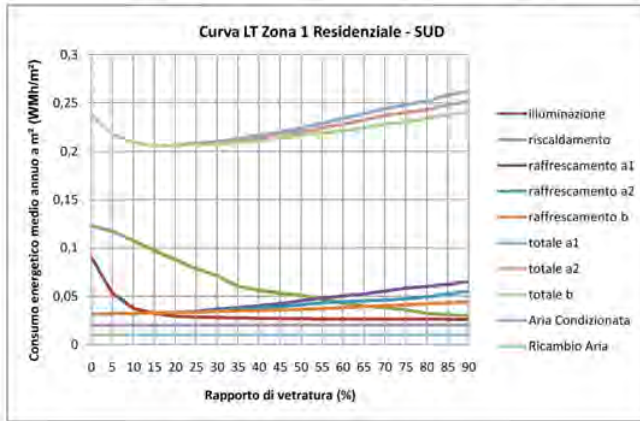




CURVE LT ZONA1 RESIDENZIALE

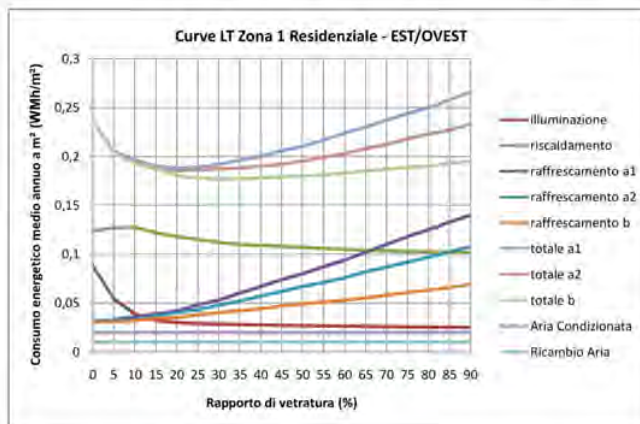
SUD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F	
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b			
0	0,09	0,123	0,031	0,031	0,031	0,238	0,238	0,238	0,02	0,01	
5	0,053	0,117	0,0315	0,0315	0,0315	0,2175	0,2175	0,2175	0,02	0,01	
10	0,0375	0,107	0,032	0,032	0,032	0,209	0,209	0,209	0,02	0,01	
15	0,032	0,097	0,0325	0,0325	0,0325	0,2055	0,2055	0,2055	0,02	0,01	
20	0,029	0,088	0,0332	0,0331	0,033	0,206	0,206	0,206	0,02	0,01	
25	0,0285	0,078	0,034	0,0335	0,033	0,208	0,20875	0,207	0,02	0,01	
30	0,028	0,071	0,0365	0,035	0,034	0,21	0,209	0,207	0,02	0,01	
35	0,0275	0,06	0,038	0,036	0,0345	0,213	0,21	0,209	0,02	0,01	
40	0,027	0,056	0,04	0,038	0,035	0,217	0,214	0,211	0,02	0,01	
45	0,02655	0,053	0,042	0,039	0,0355	0,22	0,2185	0,214	0,02	0,01	
50	0,0265	0,051	0,045	0,041	0,036	0,224	0,22	0,217	0,02	0,01	
55	0,02635	0,047	0,048	0,043	0,037	0,229	0,224	0,219	0,02	0,01	
60	0,0263	0,043	0,05	0,044	0,038	0,234	0,228	0,221	0,02	0,01	
65	0,02625	0,04	0,052	0,045	0,039	0,239	0,232	0,224	0,02	0,01	
70	0,0262	0,038	0,055	0,046	0,04	0,244	0,237	0,228	0,02	0,01	
75	0,02615	0,036	0,058	0,047	0,041	0,248	0,24	0,23	0,02	0,01	
80	0,0261	0,032	0,06	0,049	0,042	0,252	0,243	0,234	0,02	0,01	
85	0,02605	0,031	0,062	0,052	0,043	0,258	0,248	0,238	0,02	0,01	
90	0,026	0,03	0,065	0,055	0,044	0,262	0,251	0,24	0,02	0,01	



EST-OVEST

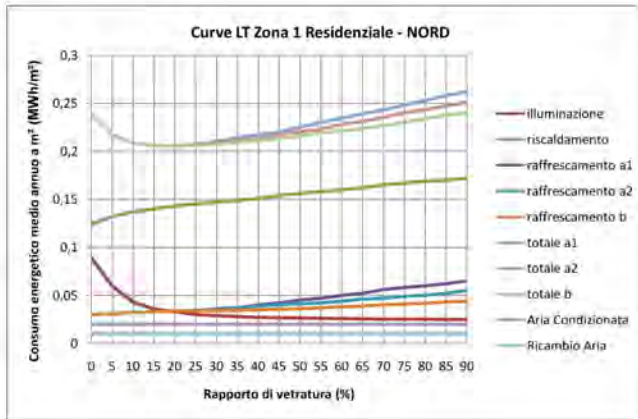
Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale			AC	F	
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b			
0	0,088	0,124	0,0315	0,0315	0,0305	0,236	0,236	0,236	0,02	0,01	
5	0,054	0,127	0,033	0,032	0,031	0,205	0,2035	0,204	0,02	0,01	
10	0,039	0,1275	0,036	0,033	0,032	0,198	0,193	0,193	0,02	0,01	
15	0,032	0,122	0,039	0,037	0,034	0,19	0,187	0,188	0,02	0,01	
20	0,03	0,118	0,042	0,04	0,035	0,188	0,185	0,18	0,02	0,01	
25	0,029	0,115	0,048	0,043	0,038	0,189	0,186	0,178	0,02	0,01	
30	0,0285	0,112	0,053	0,048	0,04	0,192	0,187	0,1765	0,02	0,01	
35	0,028	0,11	0,06	0,052	0,042	0,196	0,188	0,177	0,02	0,01	
40	0,0276	0,109	0,067	0,057	0,044	0,2	0,19	0,178	0,02	0,01	
45	0,0272	0,108	0,074	0,062	0,047	0,206	0,192	0,179	0,02	0,01	
50	0,0269	0,107	0,08	0,067	0,049	0,21	0,195	0,18	0,02	0,01	
55	0,0266	0,106	0,087	0,071	0,051	0,217	0,199	0,181	0,02	0,01	
60	0,0264	0,105	0,094	0,076	0,053	0,224	0,203	0,183	0,02	0,01	
65	0,0262	0,104	0,102	0,082	0,055	0,23	0,208	0,185	0,02	0,01	
70	0,0259	0,1035	0,11	0,087	0,056	0,237	0,212	0,187	0,02	0,01	
75	0,0258	0,103	0,118	0,092	0,061	0,244	0,218	0,189	0,02	0,01	
80	0,0254	0,1026	0,125	0,097	0,063	0,25	0,223	0,19	0,02	0,01	
85	0,0252	0,1023	0,133	0,102	0,066	0,258	0,227	0,193	0,02	0,01	
90	0,025	0,102	0,14	0,108	0,069	0,266	0,233	0,195	0,02	0,01	



# CURVE LT ZONA1 RESIDENZIALE

NORD

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0,089	0,124	0,03	0,03	0,03	0,239	0,239	0,239	0,02	0,01		
5	0,06	0,132	0,031	0,031	0,031	0,217	0,217	0,217	0,02	0,01		
10	0,043	0,137	0,032	0,032	0,032	0,208	0,208	0,208	0,02	0,01		
15	0,036	0,14	0,033	0,033	0,033	0,206	0,206	0,206	0,02	0,01		
20	0,033	0,143	0,0336	0,0336	0,0334	0,206	0,205	0,205	0,02	0,01		
25	0,03	0,145	0,034	0,0339	0,0338	0,207	0,2055	0,206	0,02	0,01		
30	0,029	0,147	0,036	0,035	0,034	0,21	0,209	0,2075	0,02	0,01		
35	0,028	0,149	0,037	0,037	0,0345	0,214	0,211	0,209	0,02	0,01		
40	0,027	0,151	0,04	0,039	0,035	0,217	0,213	0,211	0,02	0,01		
45	0,0268	0,154	0,042	0,04	0,0355	0,22	0,217	0,213	0,02	0,01		
50	0,0265	0,156	0,045	0,041	0,036	0,225	0,22	0,216	0,02	0,01		
55	0,0263	0,158	0,047	0,042	0,037	0,23	0,223	0,219	0,02	0,01		
60	0,026	0,16	0,05	0,044	0,038	0,234	0,228	0,221	0,02	0,01		
65	0,0257	0,162	0,052	0,046	0,039	0,239	0,231	0,224	0,02	0,01		
70	0,0254	0,165	0,056	0,047	0,04	0,243	0,235	0,227	0,02	0,01		
75	0,0253	0,167	0,058	0,048	0,041	0,248	0,24	0,23	0,02	0,01		
80	0,0252	0,169	0,06	0,05	0,042	0,253	0,243	0,234	0,02	0,01		
85	0,02515	0,17	0,062	0,052	0,043	0,258	0,247	0,238	0,02	0,01		
90	0,025	0,172	0,065	0,055	0,044	0,262	0,251	0,24	0,02	0,01		



ORIZZONTALE

Rapporto di vetratura (%)	Consumo Energetico Medio Annuo per mq (WMh/mq)										AC	F
	illuminazione	riscaldamento	raffrescamento			totale						
			schermature a1	schermature a2	schermature b	a1	a2	b				
0	0,09	0,154	0,03	0,03	0,03	0,268	0,268	0,222	0,02	0,01		
5	0,042	0,146	0,042	0,039	0,033	0,234	0,227	0,205	0,02	0,01		
10	0,03	0,137	0,052	0,052	0,04	0,223	0,213	0,202	0,02	0,01		
15	0,029	0,13	0,088	0,069	0,049	0,24	0,219	0,208	0,02	0,01		
20	0,028	0,125	0,12	0,089	0,06	0,264	0,237	0,216	0,02	0,01		
25	0,027	0,121	0,15	0,112	0,071	0,297	0,257	0,227	0,02	0,01		
30	0,0265	0,118	0,187	0,137	0,083		0,278	0,238	0,02	0,01		
35	0,0259	0,117	0,218	0,16	0,094		0,3	0,248	0,02	0,01		
40	0,0256	0,115	0,258	0,185	0,107			0,262	0,02	0,01		
45	0,0253	0,114	0,298	0,212	0,122			0,275	0,02	0,01		
50	0,025	0,113		0,238	0,134			0,288	0,02	0,01		
55	0,0248	0,112		0,264	0,148			0,3	0,02	0,01		
60	0,0247	0,111		0,292	0,162				0,02	0,01		
65	0,0246	0,112			0,177				0,02	0,01		
70	0,0245	0,113			0,189				0,02	0,01		
75	0,0244	0,115			0,204				0,02	0,01		
80	0,0243	0,116			0,218				0,02	0,01		
85	0,0242	0,118			0,232				0,02	0,01		
90	0,024	0,119			0,247				0,02	0,01		



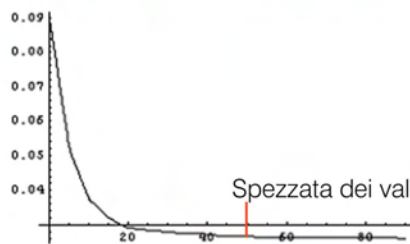
Per poter disporre completamente delle operazioni del modello LT, il passaggio necessario è risalire alle funzioni matematiche proprie delle curve LT a partire da una serie di valori. Per questo passaggio è stato impiegato il software Mathematica, versione 6.0.1. Tale software è di uso comune in matematica e statistica, e consente molte operazioni possibili per individuare una funzione partendo dai valori che essa assume.

Attraverso un'operazione detta "fit", in cui è possibile stabilire il massimo errore accettato, il software costruisce alcune funzioni ipotetiche a partire da operazioni di interpolazione, poi seleziona quella che discosta meno, rispetto ai valori iniziali.

Per fare un esempio concreto, la curva relativa all'illuminazione nelle curve LT appena descritte è stata inserita nel software attraverso i suoi valori tabulati (quelli che si possono leggere tra parentesi graffe); il primo grafico, in nero, è relativo ai valori tabulati, ed è costituito da una spezzata che raccoglie tutti i valori:

```
illdata = Table[{dati[[i, 1]], dati[[i, 2]]}, {i, 2, Length[dati]}]
ill = Interpolation[illdata, InterpolationOrder -> 1]
Plot[ill[x], {x, 0, 90}, PlotRange -> All]
{{0., 0.09}, {5., 0.053}, {10., 0.0375}, {15., 0.032}, {20., 0.029}, {25., 0.0285},
{30., 0.028}, {35., 0.0275}, {40., 0.027}, {45., 0.02655}, {50., 0.0265}, {55., 0.02635}, {60., 0.0263},
{65., 0.02625}, {70., 0.0262}, {75., 0.02615}, {80., 0.0261}, {85., 0.02605}, {90., 0.026}}
InterpolatingFunction[{{0., 90.}}, <>]
```

Valori immessi da tabella (x,y)



Spezzata dei valori immessi da tabella

Operazione di fit, che intercetta la funzione

```
- Graphics -
NonlinearFit[illdata, a*Exp[-b*x] + c, {x}, {a, b, c}]
0.026593 + 0.0632552 e-0.171999 x
fit[x_] := 0.02659298575913214 + 0.06325523075541474 e-0.17193863222012076 x
Plot[{ill[x], fit[x]}, {x, 0, 90}, PlotRange -> All, PlotStyle -> {RGBColor[0, 0, 0], RGBColor[1,
tfit = Table[{x, fit[x]}, {x, 0, 90, 5}];
scarto = TableForm[Table[{illdata[[i, 1]], illdata[[i, 2]], tfit[[i, 2]], (1 - tfit[[i, 2]] / ill
{i, Length[illdata]}]]]
```

schermata del software Mathematica 6.0.1, impiegato per risalire alle funzioni matematiche delle curve LT.

In alto si possono leggere i valori tabulati; in basso, l'operazione "fit" che permette di intercettare la funzione matematica corrispondente.

Mediante il comando "fit", attraverso alcuni tentativi ed aggiustamenti progressivi, si ottiene una funzione, in questo caso non-lineare: la funzione intercettata è, in questo caso specifico, esponenziale. In seguito a questi passaggi, la curva LT iniziale viene approssimata alla curva corrispondente al grafico di fig.16 (in rosso); di questo grafico è ora nota la funzione matematica.



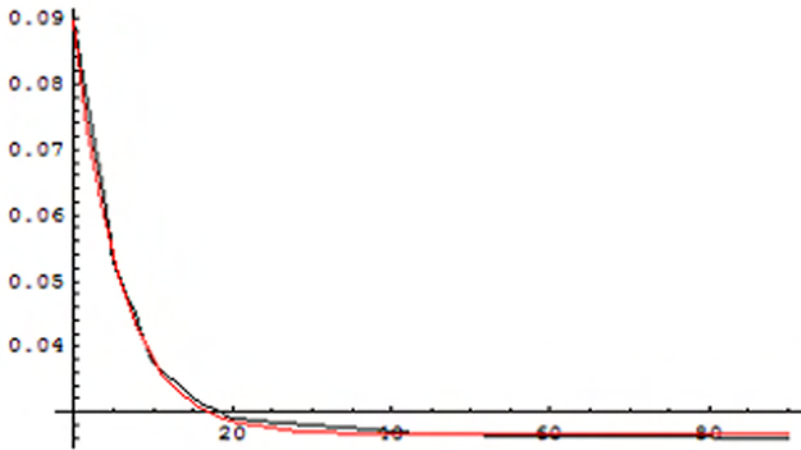


grafico corrispondente alla funzione ricavata con il software mathematica: si vede la differenza tra la spezzata (in nero) corrispondente ai valori letti, e la funzione intercettata (in rosso)

La funzione così trovata si discosta dai valori tabulati per una percentuale di errore inferiore al 4%, ed il software fornisce anche una stima precisa dell'errore rispetto ad ogni singolo valore introdotto dalla lettura della tabella:

Tornando alla rappresentazione dell'architettura del modello LT, corrispondente alla rappresentazione di un algoritmo semplificato, è

	Valori immessi da tabella		Scarto percentuale corrispondente
0.	0.09	0.0898482	0.168648 %
5.	0.053	0.0533684	-0.695123 %
10.	0.0375	0.0379268	-1.13816 %
15.	0.032	0.0313905	1.90468 %
20.	0.029	0.0286237	1.29746 %
25.	0.0285	0.0274526	3.67514 %
30.	0.028	0.0269568	3.72554 %
35.	0.0275	0.026747	2.73816 %
40.	0.027	0.0266582	1.266 %
45.	0.02655	0.0266206	-0.265847 %
50.	0.0265	0.0266047	-0.394971 %
55.	0.02635	0.0265979	-0.940912 %
60.	0.0263	0.0265951	-1.12197 %
65.	0.02625	0.0265939	-1.30999 %
70.	0.0262	0.0265934	-1.50138 %
75.	0.02615	0.0265931	-1.69463 %
80.	0.0261	0.0265931	-1.88909 %
85.	0.02605	0.026593	-2.08451 %
90.	0.026	0.026593	-2.28076 %

grafico che raccoglie, per ogni valore immesso, l'errore rispetto alla funzione intercettata (espressa in percentuale)

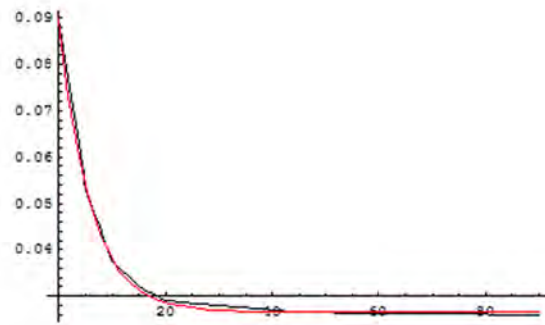
quindi possibile associare alle operazioni del modello (rappresentate dai flussi tra gli elementi) funzioni matematiche definite. Ciò ha consentito di ripercorrerne i passaggi e le interazioni inserendo, tra gli elementi schermanti, gli strati funzionalizzati, in modo da ottenere i valori sintetici dei consumi energetici per le diverse configurazioni.



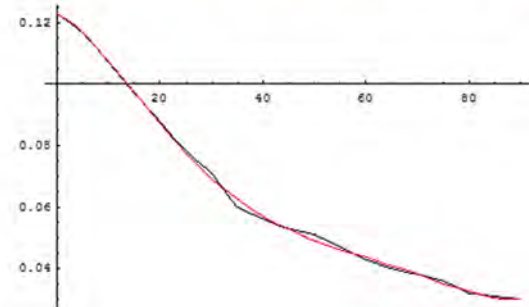
FUNZIONI RELATIVE ALLE CURVE LT:  
ZONA 1 RESIDENZIALE

ESPOSIZIONE SUD

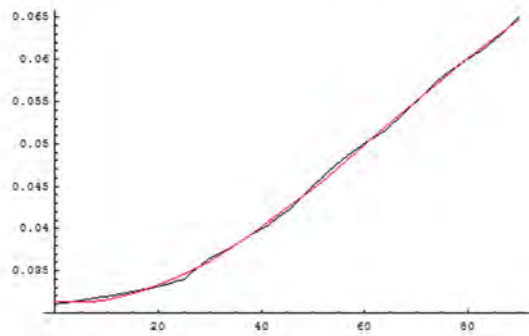
ILLUMINAZIONE  
 $y = 0.026593 + 0.0632552 a^{-0.171339} a$



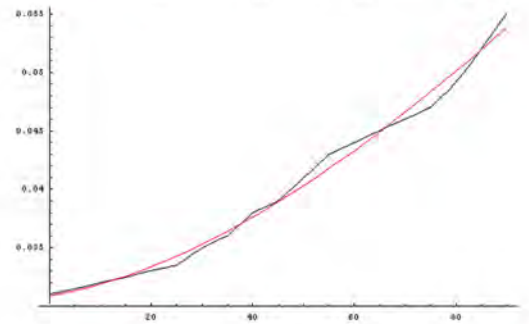
RISCALDAMENTO  
 $y = 0.0158634 + 0.111714 a^{-0.058377} a$



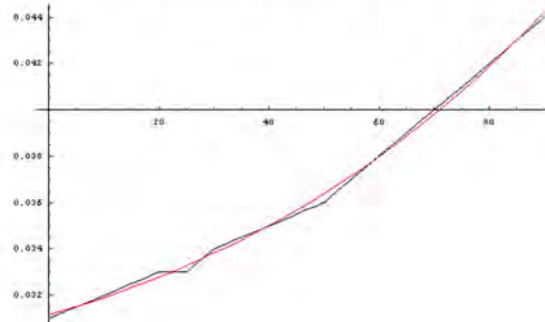
SCHERMATURE A1  
 $y = 0.031396 - 0.0000687712 x + 9.0703 \cdot 10^{-6} x^2 - 4.65804 \cdot 10^{-8} x^3$



SCHERMATURE A2  
 $y = 0.0308357 + 0.0000791304 x + 2.50918 \cdot 10^{-6} x^2 - 6.0825 \cdot 10^{-9} x^3$



SCHERMATURE B  
 $y = 0.031164 + 0.0000684653 x + 5.63039 \cdot 10^{-6} x^2 + 3.18979 \cdot 10^{-9} x^3$



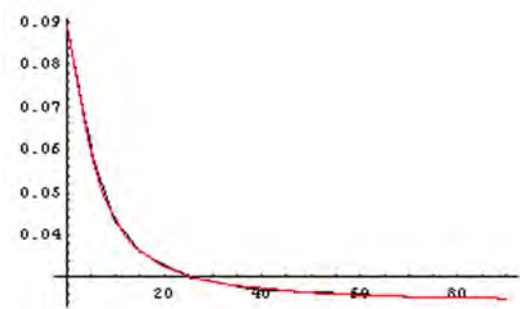


FUNZIONI RELATIVE ALLE CURVE LT:  
ZONA 1 RESIDENZIALE

ESPOSIZIONE NORD

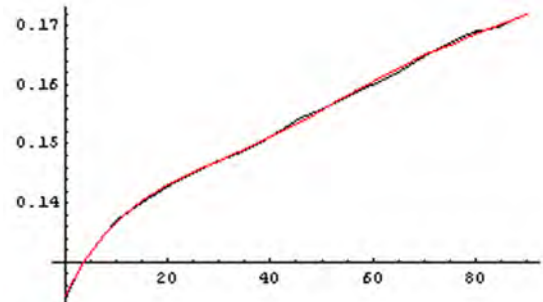
ILLUMINAZIONE

$$y = 0.0240072 + \frac{0.876979}{13.4764 + x^{1.5}}$$



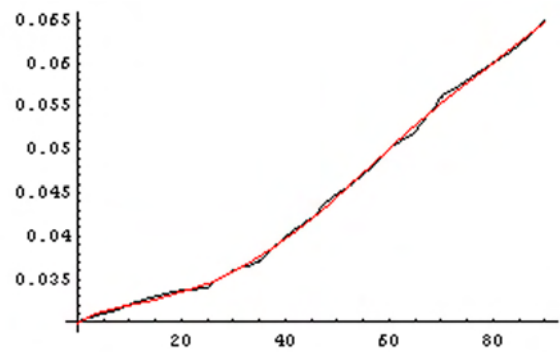
RISCALDAMENTO

$$y = 0.124265 + 0.00174909x - 0.0000622616x^2 + 1.3203 \cdot 10^{-6}x^3 - 1.27496 \cdot 10^{-8}x^4 + 4.54974 \cdot 10^{-11}x^5$$



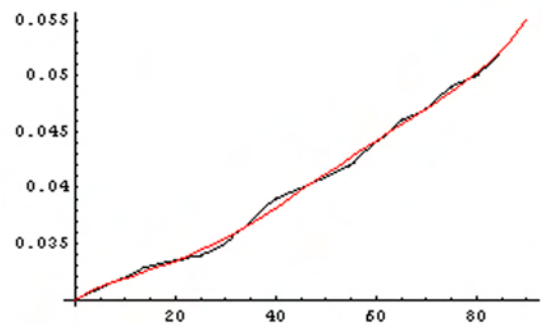
SCHERMATURE A1

$$y = 0.0299011 + 0.000347076x - 0.0000195229x^2 + 7.03692 \cdot 10^{-7}x^3 - 8.36639 \cdot 10^{-9}x^4 + 3.34904 \cdot 10^{-11}x^5$$



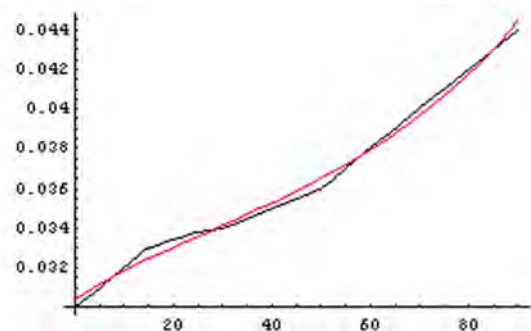
SCHERMATURE A2

$$y = 0.030011 + 0.00026012x - 0.0000105476x^2 + 4.11219 \cdot 10^{-7}x^3 - 5.61018 \cdot 10^{-9}x^4 + 2.62844 \cdot 10^{-11}x^5$$



SCHERMATURE B

$$y = 0.0303921 + 0.000154699x - 1.48839 \cdot 10^{-6}x^2 + 1.66776 \cdot 10^{-8}x^3$$



## **Esposizione NORD**

### **ILLUMINAZIONE**

$$y = 0.0240072 + \frac{0.876979}{13.4764 + x^{1.5}}$$

### **RISCALDAMENTO**

$$y = 0.124265 + 0.00174909 x - 0.0000622616 x^2 + 1.3203 \times 10^{-6} x^3 - 1.27496 \times 10^{-8} x^4 + 4.54974 \times 10^{-11} x^5$$

### **SCHERMATURE A1**

$$y = 0.0299011 + 0.000347076 x - 0.0000195229 x^2 + 7.03692 \times 10^{-7} x^3 - 8.36639 \times 10^{-9} x^4 + 3.34904 \times 10^{-11} x^5$$

### **SCHERMATURE A2**

$$y = 0.030011 + 0.00026012 x - 0.0000105476 x^2 + 4.11219 \times 10^{-7} x^3 - 5.61018 \times 10^{-9} x^4 + 2.62844 \times 10^{-11} x^5$$

### **SCHERMATURE B**

$$y = 0.0303921 + 0.000154699 x - 1.48839 \times 10^{-6} x^2 + 1.66776 \times 10^{-8} x^3$$

## **Esposizione ORIZZONTALE**

### **ILLUMINAZIONE**

$$y = 0.0242678 + \frac{0.264415}{4.02217 + x^{1.5}}$$

### **RISCALDAMENTO**

$$y = 0.154816 - 0.00228721 x + 0.0000543901 x^2 - 7.97478 \times 10^{-7} x^3 + 6.93209 \times 10^{-9} x^4 - 2.43191 \times 10^{-11} x^5$$

### **SCHERMATURE A1**

$$y = 0.0285203 + 0.00167572 x + 0.000165175 x^2 - 1.56488 \times 10^{-6} x^3$$

### **SCHERMATURE A2**

$$y = 0.0290604 + 0.00167005 x + 0.0000787013 x^2 - 5.64103 \times 10^{-7} x^3$$

### **SCHERMATURE B**

$$y = 0.0295007 + 0.000542381 x + 0.0000641437 x^2 - 1.00083 \times 10^{-6} x^3 + 8.15845 \times 10^{-9} x^4 - 2.65626 \times 10^{-11} x^5$$



## Esposizione SUD

### ILLUMINAZIONE

$$y \square 0.0271523 \square 0.062149 \square^{0.164826} x$$

### RISCALDAMENTO

$$y \square 0.0538759 \square 0.00144777 x \square 0.0000168573 x^2 \square 6.66448 \square 10^8 x^3$$

### SCHERMATURE A1

$$y \square 0.0685755 \square 0.00123145 x \square 0.0000161865 x^2 \square 4.60331 \square 10^8 x^3$$

### SCHERMATURE A2

$$y \square 0.0692509 \square 0.000822065 x \square 0.0000132496 x^2 \square 4.83472 \square 10^8 x^3$$

### SCHERMATURE B

$$y \square 0.0705379 \square 0.00030514 x \square 8.93303 \square 10^6 x^2 \square 3.91531 \square 10^8 x^3$$

## Esposizione EST-OVEST

### ILLUMINAZIONE

$$y \square 0.0265259 \square \frac{0.536728}{8.70571 \square x^{1.5}}$$

### RISCALDAMENTO

$$y \square 0.0368136 \square 0.00102812 \square^{0.0491518} x \square 15.1582 \square x$$

### SCHERMATURE A1

$$y \square 0.0686623 \square 0.00108797 x \square 0.0000206687 x^2 \square 1.17522 \square 10^7 x^3$$

### SCHERMATURE A2

$$y \square 0.0711286 \square 0.0000676497 x \square 0.0000579432 x^2 \square 1.13718 \square 10^6 x^3 \square 1.09726 \square 10^8 x^4 \square 4.12797 \square 10^{11} x^5$$

### SCHERMATURE B

$$y \square 0.070833 \square 0.000192179 x \square 0.0000174056 x^2 \square 2.64798 \square 10^7 x^3 \square 2.04073 \square 10^9 x^4 \square 6.46117 \square 10^{12} x^5$$

## Esposizione NORD

### ILLUMINAZIONE

$$y \square 0.0265253 \square \frac{1.33718}{21.677 \square x^{1.8}}$$

### RISCALDAMENTO

$$y \square 0.0507441 \square 0.00085268 x \square 0.0000257174 x^2 \square 4.42858 \square 10^7 x^3 \square 3.46237 \square 10^9 x^4 \square 1.00058 \square 10^{11} x^5$$

### SCHERMATURE A1

$$y \square 0.0700045 \square 0.000523589 x \square 0.0000677611 x^2 \square 1.52238 \square 10^6 x^3 \square 1.61397 \square 10^8 x^4 \square 6.4163 \square 10^{11} x^5$$

### SCHERMATURE A2

$$y \square 0.0696999 \square 0.000228327 x \square 0.0000344928 x^2 \square 6.3292 \square 10^7 x^3 \square 5.34413 \square 10^9 x^4 \square 1.66016 \square 10^{11} x^5$$

### SCHERMATURE B

$$y \square 0.0697427 \square 0.0000935173 x \square 0.0000128959 x^2 \square 1.82554 \square 10^7 x^3 \square 1.22167 \square 10^9 x^4 \square 3.41006 \square 10^{12} x^5$$

## Esposizione ORIZZONTALE

### ILLUMINAZIONE

$$y \square 0.0241686 \square \frac{0.239407}{3.6355 \square x^{1.5}}$$

### RISCALDAMENTO

$$y \square 0.0639401 \square 0.000696892 x \square 3.11966 \square 10^6 x^2 \square 3.48044 \square 10^7 x^3 \square 4.92142 \square 10^9 x^4 \square 2.20039 \square 10^{11} x^5$$

### SCHERMATURE A1

$$y \square 0.0711429 \square 0.00508492 x \square 0.000100476 x^2 \square 4.44444 \square 10^7 x^3$$

### SCHERMATURE A2

$$y \square 0.0730783 \square 0.00270276 x \square 0.000120466 x^2 \square 1.25719 \square 10^6 x^3$$

### SCHERMATURE B

$$y \square 0.0716078 \square 0.000154537 x \square 0.00016824 x^2 \square 4.09419 \square 10^6 x^3 \square 4.47329 \square 10^8 x^4 \square 1.76868 \square 10^{10} x^5$$



Figura 11.0: Libreria della facoltà di Legge, arch. Roloff & Partner, Hamburg. L' involucro è caratterizzato dall' uso di pellicole colorate, opacizzanti con pattern a righe orizzontali, stampate (scritta verticale)





## Libri

- AA.VV., *Abitare il futuro. Innovazione tecnologia architettura*, Milano, BE-MA editrice, 2003, p. 217
- AA.VV., *Daylight in Buildings. A source book on daylighting systems and components*, Report dell' IEA SHC Task 21/ ECBCS, 29, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, U.S., Luglio 2000.
- AA.VV., *Materialworld 2, Innovative materials for Architecture and Design*, Amsterdam, Frame Publishers and Birkhäuser, 2006, p.400
- AA.VV. *Neolite. Metamorfosi delle plastiche*, Milano, Domus Academy Edizioni, 1991, p.96
- AA.VV. *Pensare per modelli, schemi logici e strumenti di calcolo*, Milano, Mondatori, 1980, p.170
- AA.VV., *Qualità, norma e progetto*, Ed. Arsenale, Venezia, 1988, p.210
- AA.VV., *Skins for buildings: the architects materials sample book*, Amsterdam, Book Industries Service (BIS), 2003, p. 509
- AA.VV. *Sustainable Building Technical Manual – SBTM*, New York, US Green Building Council, Technology Inc., 1996, <https://www.usgbc.org/>
- AA.VV., *Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook*, ed. London : B.T. Batsford for the Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development, 1992
- ACOCELLA Alfonso, *L'architettura dei luoghi*, Roma, Laterconsult, 1992, p. 584
- ALTOMONTE Sergio, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Firenze, Alinea, 2004, p. 386
- ANGELETTI Laura, *Innovazione tecnologica e architettura*, Roma, Gangemi, 1998, p.256
- ARGIOLOS Carlo, *Forma, tecnologia, sostenibilità e progetto. Un approccio integrato alla produzione dell'involucro*, Roma, Gangemi, 2005, p.214
- ASHBY Mike, JOHNSON Kara, *Materials and Design. The art of Science of Material Selection in Product Design*, Oxford,



- Burlington, Butterworth Heinemann- Elsevier Science, 2003, p.336.
- BAKER Nick, FANCHIOTTI Aldo, STEEMERS Koen (a cura di), Daylighting in architecture, A European Reference Book - The European Commission DGXVII – London, James and James, 2002.
  - BAKER Nick, STEEMERS Koen, Energy and environment in architecture [electronic resource] : a technical design guide, New York , E & FN Spon, 2000, p. 224
  - BAKER Nick, STEEMERS Koen, Daylighting Design: A Handbook for Architects and Engineers, London, James + James, 2000, p.250
  - BAGLIONI, Adriana (a cura di) Nuovi materiali leggeri per l'architettura, Bologna, Progetto Leonardo, 1993, p. 255
  - BARZON Furio, La carta di Zurigo, Torino, Testo & Immagine, 2003, p.96
  - BENEDETTI Cristina, Manuale di Architettura Bioclimatica, Rimini, Maggioli Editore, 1994, p. 197
  - BEUKERS Adriaan, VAN HINTE Ed, Lightness. The inevitable renaissance of minimum energy structures, Rotterdam, 010 publishers, 2001, p.192
  - BEYLERIAN, G. M. Dent A., Material ConneXion: the global resource of new and innovative materials for architects, artists and designers, London, Thames & Hudson, 2005, p. 288
  - BONACCORSI Andrea, GRANELLI Andrea L'intelligenza s'industria. Nuove politiche per l'innovazione, Bologna, Il Mulino, 2006, pp.172
  - BRUNORO, Silvia, Efficienza energetica delle facciate : standard, requisiti, esempi per l'adeguamento e la riqualificazione architettonica, Rimini, Maggioli Editore, 2006, p.291
  - CAMPIOLI Andrea, Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali, Milano, Franco Angeli, 1993, p. 251
  - CECCHINI Cecilia, Plastiche: i materiali del possibile: polimeri e compositi tra design e architettura, Firenze, Alinea, 2005, p.168

- CETICA, Pier Angelo, Edilizia di terza generazione, Milano, Franco Angeli, 1993, p.112
- CIRIBINI Giuseppe, Tecnologia e progetto, Torino, Edizioni Celid, 1995 (1° ed. 1984), p. 185
- CLAUDI DE SAINT MIHIEL, Alessandro, Superfici mutevoli, Tecnologie innovative per involucri trasparenti a prestazioni variabili, Napoli, CLEAN, 2007, p.96
- COLAFRANCESCHI Daniela, Architettura in superficie: materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane, Milano, Gangemi, 1995, p. 174
- COLAFRANCESCHI Daniela, Sull'involucro in Architettura, Bari, Dedalo Edizioni, 1996, p. 158
- Comitato Tecnico Consultivo del SAIE 1997, Continuità, sperimentazione, innovazione, Bologna Fiere, Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 1997, p. 562
- COMPAGNO A., Intelligent Glass façade, Basel, Birkhäuser, 1999, p.182
- DANDRI G. *Economia per gli ingegneri e gli architetti*, Roma, DEI (Tipografia del Genio Civile), 1999, pp.339
- DANIELS Klaus, Low – tech, Light – tech, High – tech. Building in the information age,, Basel, Birkhäuser, 2000, p.238.
- DEL NORD Romano (a cura di), Storie di ordinaria progettazione, edizione italiana e note tecniche dell'opera di CRESWELL H. B., *The Honeywood File: An Adventure in Building*, Bologna: Progetto Leonardo:Esculapio, 1992, p.278
- DONATO Franco, SPADOLINI Pier Luigi, La connessione spazio/energia nella progettazione architettonica, Firenze, Tipografia G. Capponi, 1980, p.86
- FANELLI Giovanni, GARGIANI Roberto, Il principio del rivestimento, Bari, Laterza, 1994, p. 302.
- GANGEMI Virginia (a cura di), Cultura e impegno progettuale. Orientamenti e strategie oltre gli anni '90, Milano, Franco Angeli, 1992, p.352
- GERSHENFELD, Neil, Quando le cose iniziano a pensare. Come gli "oggetti intelligenti" rivoluzioneranno la vita quotidiana, Milano, Garzanti, 1999, p. 205

- GIACHETTA Andrea, Architettura e tempo. La variabile della durata nel progetto di architettura, Milano, Clup, 2004, p.430
- HERZOG Thomas, KRIPPNER Roland, LANG Werner, Atlante delle facciate, Torino, UTET, 2005 p. 320.
- HERZOG Thomas (a cura di), Solar Energy in Architecture and Urban Planning, (Ed.), Munich, Prestel-Verlag, p. 223
- HINTE, Ed Van (a cura di), Material world: innovative structures and finishes for interiors, Basel, Birkhauser, 2003, p. 240
- IMBRIGHI Giampaolo, I materiali dell'architettura tra tecnologia e ambiente, Roma, Edizioni Kappa, 1992, p. 446
- IMBRIGHI Giampaolo, trasparenze: vetro e materiali sintetici, Roma, Nis, p.120
- KALTENBACH, F. (a cura di), Traslucent materials: glass, plastics, metals, Basel, Birkhäuser Edition Detail, 2004, p. 110
- LANGELLA Carla, Nuovi Paesaggi materici, Firenze, Alinea Editrice, 2003, p.207
- LEVI Marinella, ROGNOLI Valentina, Materiali per il design: espressività e sensorialità, Milano, Polipress, 2005, p.180.
- LOSASSO Mario (a cura di), Progetto e Innovazione, nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico, Napoli, CLEAN, 2005, p.125
- MANZINI Ezio, La materia dell'invenzione, Milano, Arcadia, 1986, p.255.
- MANZINI Ezio, Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale, Milano, Domus Academy, 1990, p. 192
- MARINO Francesco Paolo, GRIECO Maria Teresa, La certificazione energetica degli edifici ed il D.Lgs.192 del 19/8/2005. Algoritmi di calcolo ed esperienze internazionali. Edifici ad alta efficienza, Roma, EPC Libri, 2006, p.543
- MOORE Geoffrey, Crossing The Chasm, HarperCollins Publishers; 1998 pp. 222
- MORABITO Giuseppe, Percorsi di ricerca, Roma, Quaderni del Dipartimento ITACA, 1998, p.170

- MORABITO Giuseppe, NESI Attilio, Valutare l'affidabilità in edilizia. Sistemi e casi di studio, Gangemi editore, 2000, p.224.
- MORABITO Giuseppe, Scienza e arte per progettare l'innovazione in architettura. Saggio su un processo progettuale alla "Leonardo da Vinci", Torino, Utet, 2004, p.163
- MORI Toshiko, Immateriale/ Ultramateriale, Architettura, progetto e materiali, (tr.it. di Antonella Bergamin, titolo originale Immaterial / Ultramaterial. Architecture, design and materials, New York, Harvard Design School e George Braziler Inc., 2002), Milano, Postmedia books, 2004, p.127.
- NARDI, Guido, Le nuove radici antiche, Milano, Franco Angeli, 1992, p.183
- NARDI Guido, Percorsi di un pensiero progettuale, Milano, Ed.Libreria CLUP, 2003, p.180
- PACCHIONI, Gianfranco, Idee per diventare SCIENZIATO DEI MATERIALI. Dall'invenzione della carta alle nanotecnologie, Bologna, Zanichelli, 2005, p.126
- PAOLETTI Ingrid, Una finestra sul Trasferimento. Tecnologie innovative per l'architettura. Milano, CLUP, 2003, p.296
- PARISI Domenico, Simulazioni. La realtà rifatta nel computer, Bologna, Il Mulino, 2001, p.294
- PAVAN Vincenzo (a cura di) Nuova estetica delle superfici, Faenza, Gruppo Editoriale Faenza, 2005, p. 157.
- RAIMONDI Alberto, Delitto e Progetto. Conoscere la tecnologia attraverso il metodo di Sherlock Holmes, Roma, Palombi Editori, 2004, pp.90
- RANZO , "Trans-disciplinarietà e cultura progettuale: la ricerca di nuove connessioni", in GANGEMI Virginia (a cura di), Cultura e impegno progettuale. Orientamenti e strategie oltre gli anni '90, Milano, Franco Angeli, 1992, p. 352
- RE, Elena, Trasparenza al limite. Tecniche e linguaggi per una architettura del vetro strutturale, Firenze, Alinea, 1997, p. 272
- SALA Marco (a cura di), Schermature Solari, Firenze, Alinea, 2007, pp.348
- SCHITTICH Christian, STAIB, Atlante del vetro, Torino, UTET, 2007, p.334



- SELKOWITZ S.E., “High Performance Glazing Systems: Architectural Opportunities for the 21st Century”, in Proceedings of the 5th International Glass Processing Days, Tampere, Finlandia, Giugno 1999
- SELKOWITZ S.E., LEE E.S., “Advanced Fenestration Systems for Improved Daylight Performance”, in Daylight '98 Conference Proceedings, Ottawa, Canada, Maggio 1998
- SIMON, Herbert Alexander, *Le Scienze dell'artificiale*, Bologna, Il Mulino [Universale paperbacks Il Mulino], 1988, p.244
- SINOPOLI Nicola, TATANO Valeria (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione- tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002, p. 280.
- SINOPOLI Nicola, *La tecnologia invisibile*, Milano, Franco Angeli, 1997, p.200
- TATANO Valeria, (a cura di), *Materiali naturartificiali. Tendenze innovative nel progetto di architettura*, Roma, Officina, 2006, p.204.
- TATANO, Valeria, “Materiali naturartificiali per la residenza”, in *Abitare il futuro. Città, quartieri, case*, BolognaFiere, Milano, BE-MA, 2005, p. 250-253.
- TORRICELLI Maria Chiara, LAURIA Antonio (a cura di), *Innovazione Tecnologica per l'Architettura. Un diario a più voci*, Edizioni ETS, Pisa, 2004, p. 242
- WIGGINTON Michael, HARRIS Jude, *Intelligent Skins*, Oxford, Architectural Press, 2001, p. 231
- WIGGINTON Michael, *Glass in Architecture*, Oxford, Phaidon, 1996, pp.190
- WURMAN Richard S., *L'ansia da informazione*, Leonardo, Milano, 1991, p.24
- ZAFFAGNINI Mario (a cura di ), *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strutture, norme*, Milano , Hoepli, 1992, vol. 6, pp.1010
- ZAMBELLI, Ettore et al., *Costruzioni stratificate a secco*, Rimini, Maggioli edizioni, 1998, pp. 275
- ZENNARO Pietro, *La qualità rarefatta*, Milano, Franco Angeli, 2000, pp.163

- ZIJLSTRA Els, *Future materials for architecture & design*, Rotterdam, ed. *Materia*, 2002, p.74
- ZIJLSTRA Els (a cura di), *Material Skills*, Rotterdam, ed. *Materia*, 2005, pp.168.

## Articoli

- AA.VV., “Nuovi materiali”, in *Materia* n. 42, Settembre-Dicembre 2003, pp. 53-57
- AA.VV., “Obras: Centro Euralille Euralille Centre Lille, Francia, 1991/1994”, in *El Croquis* [Jean Nouvel] 65/66, 1998, pp.270-285
- AA.VV. “Jean Nouvel, Centro Euralille”, in *Casabella* 623, n.5, 1995, pp. 26-33
- AA.VV., CIB (Construction Industry Board), “Partnering in the Team”, in *A Report by Working Group 12 of the Construction Industry Board*, 1997, London, Thomas Telford.
- AA.VV., “Trends in photovoltaic applications”, Report IEA, pubblicazione nel Task7 dell’ International Energy Agency, August 2007 <http://www.iea-pvps.org>
- ALFARANO G., “Trasparenza Trasformista”, in *L’ambiente costruito- Built Environment*, 3, Luglio-Settembre 1999, pp.12-20
- ANTONINI Ernesto, “L’eccezione è la regola”, in *Costruire* n. 250, Marzo 2004, pp. 134-139
- ANTONINI Ernesto, SINOPOLI Nicola, TATANO Valeria, “Rapporto ArTec 2004: L’ambiente dell’innovazione” in *Costruire* n. 256, 2004, pp. 8-26
- ANTONINI Ernesto, SINOPOLI Nicola, TATANO Valeria, “Rapporto ArTec 2005: Innovazione” in *Costruire* n. 268, 2005, pp. 8-24
- BAKER Nick, “High performance daylighting- light and shade”, in *Revival, Technical Monograph* n.4, EU project, in [www.revival-eu.net](http://www.revival-eu.net)
- BALDASSINI Niccolò, KUTTERER Mathias, “Solide trasparenze”, in *Modulo*, n. 297, BE-MA, Milano, 2004, pp.

1118-1122

- BARBIERI Silvio, “Ieri, oggi, domani”, ne Il Giornale dell’Architettura, 42, Luglio-Agosto 2006, pp. 1-3
- BLAYSE Aletha Marie, MANLEY Karen, “Key Influences on Construction Innovation”, in Construction Innovation, Vol 4, No 3, 2004, pp 1-12
- BLACHÈRE Gerard, “Norma, controllo e progetto: problemi posti dall’evoluzione della domanda”, in AA.VV., Qualità, norma e progetto, Arsenale, Venezia, 1988, p.12
- BONACCORSI Andrea, GRANELLI Andrea, “L’intelligenza s’industria”. In Technology Review Italia, [Rassegna], n.5, Settembre-Ottobre 2006, p. 23-27
- BRUGELLIS Pino, PICCARDO Emanuele (a cura di) “Utopia, Etica e tecnologia: Incontro con Frei Otto”, sul blog Architettura di pietra <http://www.architetturadi pietra.it/wp/p=269>
- BUSA Lucia, RAFFELLINI Giorgio, “Effetto finestra” in Costruire n. 250, Marzo 2004, pp.140-143.
- CAPUTO Paola, “Strumenti di valutazione del comportamento energetico”, in Il Progetto Sostenibile, n.16, dicembre 2007, pp.12-21
- CARPENTER James, intervistato da LEE Eleanor, in LBNL - High-Performance Commercial Building Facades - Design Process, Berkeley University, 14/06/2007 p. 8, in: [www.gaia.lbl.gov/hpbf/design](http://www.gaia.lbl.gov/hpbf/design)
- CASTIGLIONE Diana, Intervista rilasciata il 2/11/2007. Vedi anche [www.materioteca.com](http://www.materioteca.com)
- CELENTO David, “Innovate or Perish. New Technologies and Architecture’s Future”, in Harvard Design Magazine, n. 26, Summer 2007
- CLAUDI DE SAINT MIHIEL Claudio, “Trasferire e diffondere”, in Modulo, 292, 2003, pp. 592-594
- CRONIN, Gudgel, KENNEDY Agrawal, Uhlmann, Electrochromic glazing, in Material Research, vol. 2, No. 1, 1-9, 1999.
- DAVIES Michael, “A wall for all Seasons” in RIBA Journal, n.2, Feb. 1981, pp. 55-57

- DAVIDSON Colin H., “Technology watch in the construction industry: why and how?” in *Building Research and Information*, Vol. 3 n. 29, 2001, pp. 233-41.
- DARDANI Bruno, “Scoperto il legno che non brucia”, in *Nòva*, allegato al *Sole 24 Ore*, 24, 13 Aprile 2006, pag.3
- DE BIASE Luca, “Prospettive dell’invisibile”, in *Nòva*, allegato al *Sole 24 Ore*, 24, 13 Aprile 2006, pag.2
- DE LANDA Manuel, “Materiali che si evolvono”, in *Domus*, Marzo 2006, pag. 64
- DIRK Donath and TORSTEN Thurow, “ Integrated architectural surveying and planning: Methods and tools for recording and adjusting building survey data”, in *Automation in Construction*, Vol. 16, n. 1, Gennaio 2007, p. 19-27
- EKHOLM Anders, A systemic approach to building modelling. Analysis of some object-oriented building product models, Workshop on computer integrated construction, CIB W78 Workshop, Aug. 22-24 1994, Esbo, Finland.
- Ekholm Anders, FRIDQVIST Sverker, “A concept of space for building classification, product modelling and design”, in *Automation in Construction*, Vol. 9, n. 3, Maggio 2000 , p. 315-328
- FABRIZIO Enrico, “L’Involucro si fa attivo”, ne *Il Giornale dell’Architettura* , 41, Giugno 2006, pag. 12
- FERNANDEZ John E., “Design for change: part 1- diversified lifetimes”, in *Arq.* Vol.7 n 2, 2003, pp. 169-183
- FORGHIERI Cristina, “Quei piccoli giganti con la scienza in spalla”, in *Nòva*, allegato al *Sole 24 Ore*, 24, 13 Aprile 2006, pag.2
- GASPARI Jacopo, *La Defense*, in *Modulo* n° 326 del 2006
- GATTONI Luca Pietro, POLI Tiziana, “Attitudine al cambiamento”, in *Modulo*, 293,2003, pp. 596-599
- GLICKSMAN Leon, LEHAR M.A., “A Simulation Tool for predicting the Energy Implications of Advanced Facades”, in *Research in Building Physics*, Ed. A.Balkema, 2003
- GROSSI Antonella, “Piattaforma di rilancio” in *Costruire*, 272, 2006, pp.24- 27.
- GROSSI Antonella, “Il futuro che arriva”, in *Costruire*, 205,



2000, pp. 94-98

- GUIDANTONI Ilaria, “Vernici contro lo smog”, in *Edilizia e Territorio* allegato al *Sole 24 Ore*, 10, Marzo 2006, p. 13
- HABERMEIER, Hans Ulrich, *Thin Film Deposition – submicron and nanofabrication*, MPI – FKF Stuttgart, 2006
- HARTWIG Helge, HERZOG Thomas, “Performance of Thermotropic Layers for the Regulation of Daylight and Direct Solar Gain”, in *Proceedings of the eurosun 2000 Conference*, Bologna, 2004
- IANNACCONE Giuliana, “SmartWrap”, in *Modulo*, 296, 2003, pp. 1018-1019
- IMPERADORI Marco, “Alla ricerca dell’inerzia artificiale”, in *AA VV, Abitare il futuro, Innovazione Tecnologia Architettura*, Milano, BE-MA editrice, 2003, p. 200
- KIERAN e TIMBERLAKE, intervistati da PATTON Phil, *The New York Times*, 7 Aug 2003
- KRIPPNER Roland, “Building with systems-Learning from the 1960s?”, in *Detail*, 4, 2001, pp. 602-607
- MANZINI E., “Scenari della materia, il difficile rapporto fra il mondo dei materiali e il mondo materiale, dalla cultura della quantità alla cultura della qualità”, in *Ottagono*, 104, 1992, pp. 23-27
- Moore, Geoffrey A., “Darwin and the Demon: Innovating within Established Enterprises,” in *Harvard Business Review* n. 82, Luglio-Agosto 2004, p. 86-92
- PAOLETTI Ingrid, “La quarta dimensione”, in *Modulo*, 292, 2003, pp. 498-504
- PAOLETTI Ingrid, “Verso il terzo millennio”, in *Modulo*, 293, 2003, pp. 628-631
- PAPAMICHAEL, K., LA PORTA, J. CHAUVET, H, COLLINS D., TRZCINSKI, T., THORPE J., SELKOWITZ, S., *The Building Design Advisor*, Proceedings of the ACADIA 1996 Conference, University of Arizona, Tucson, AZ, October 31-November 1, 1996.
- PAPAMICHAEL K. EHRLICH C., WARD G., “Design and Evaluation of Daylight applications of holographic Glazings”, Final Report, Physical Optics Corporation, LBNL,

Berkeley, u.S., 1996, in [www.gaia.lbl.gov](http://www.gaia.lbl.gov)

- PAWLEY Martin, “Technology transfer”, in *The Architectural Review* n 1087, 1987, pp.30-39
- PETRILLO Antonio, “Un materiale emblematico. La deriva dell’identità”, in *Neolite. Metamorfosi delle plastiche*, Milano, Domus Academy Edizioni, 1991, p.96
- PLATZER W.J., “Switchable Facade Technology- Final Public Project Report”, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, 2003. Disponibile in [www.eu-swift.de](http://www.eu-swift.de)
- POLI Tiziana, “Ultime frontiere”, in *Modulo*, 314, Settembre 2005, pp. 766-769
- POLI Tiziana, GATONI Luca Pietro, “Attitudine al cambiamento”, in *Modulo* n 292, giugno 2003, pp. 596-603
- POLLALIS, S. N. 1998, *Computing in the Building Process Beyond Computer Aided Design*, Disponibile su: <<http://www.gsd.harvard.edu/~pollalis/papers/boss.pdf>> (accessed 23 October 2002).
- POLLALIS Spiro, KOUTAMANIS Alexander, *Visual databases in Architecture*, Aldershot (UK), Avebury, 1995, p.144.
- PONE Sergio, FIGLIA Fabio, “L’informazione tecnica e il progetto”, *Dossier in Costruire* n. 276, maggio 2006, pp.65-72.
- RONZONI Maria Rosa, “Innovazione al Saie”, in *Modulo* n 295, ottobre 2003, pp. 890-895
- SCHMIDT Helmut, “Chemical Nanotechnology. New materials in Building”, in *Detail*, 12, 2002, pp. 1623-1624.
- SCUDO Gianni, BRUNETTI Gian Luca, “Progettazione ambientale: strumenti e tecniche”, in *Il Progetto Sostenibile*, n. 16, dicembre 2007, pp.4-11
- SINOPOLI Nicola, “Un mondo che cambia”, in *Costruire* n. 200, Gennaio 2000, pp. 122-125
- SINOPOLI Nicola, “Invenzione offresi”, in *Costruire* n° 264, Maggio 2005, pp.71-75
- SINOPOLI, Nicola, (a cura di), “Tecniche e materiali”, in *Abitare il futuro. Città, quartieri, case*, Bologna Fiere, BE-MA, Milano 2005, p.171-178

- SINOPOLI Nicola, “Fra scienza e progetto”, in *Costruire* n.273, Febbraio 2006, pag. 98-100
- SINOPOLI Nicola, “L’invenzione di nuovi materiali per l’architettura. Un’alleanza strategica tra fisica e chimica”, in *Rassegna*, 80, Settembre 2005, p.102-111.
- SINOPOLI Nicola, “Dimensione fiera”, in *Costruire* n.284, Gennaio 2007, p.64-67.
- SOBEK Werner, “Building in the Future”, in *Detail* n. 8, 2001, pp. 1454-1457
- STAUFFER Nancy, “Ask the MIT Design Advisor. New Web Tool Helps Designers Evaluate Energy-Saving Options”, in *PLAN*, n.60, Febbraio 2005
- TRANI Mario, “Vantaggi trasparenti”, in *Costruire*, 248, 2003, pp. 84-89
- VINCENT J.F.V. “Ideas from Skins”, in *Interdisciplinary Science Reviews*, n. 24, 1999
- VITTA Mario, “la materia manipolata”, in *L’Arca*, 136, aprile 1998
- ZAPPA Alfredo, “Guarda che pelle”, in *Costruire*, 262, 2005, pp. 134-143
- ZEITER Friedman, “The challenge lies in the Details. An Interview with Fritz Haller”, in *Detail*, 4, 2001, pp. 608-615
- ZENNARO Pietro, “Quale destino per il moderno?”, in *Modulo*, 226, 1996, pp. 1038-1040
- WIGELY Mark, “Spazio colore”, in *Domus*, 886, 2005, pag.42
- WILSON H.R., “Chromogenic glazing: Performance and Durability Issues”, IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 27, Solar Facade Components. Workshop, 1st October 2002, Ottawa, Canada. Disponibile in [www.eu-swift.de](http://www.eu-swift.de)

## Siti web

- [www.acroname.com](http://www.acroname.com)
- [www.acx.com](http://www.acx.com)
- [www.aitiva.it](http://www.aitiva.it)
- [www.architetturadipetra.it](http://www.architetturadipetra.it)
- [www.assofilm.it](http://www.assofilm.it)
- [www.basf.com](http://www.basf.com)
- [www.bath.ac.uk](http://www.bath.ac.uk)
- [www.biomimetics.org.uk](http://www.biomimetics.org.uk)
- [www.davisliquidcrystals.com](http://www.davisliquidcrystals.com)
- [www.design-engine.com](http://www.design-engine.com)
- [www.ectp.org/fa\\_materials.asp](http://www.ectp.org/fa_materials.asp)
- [www.inm-gmbh.de](http://www.inm-gmbh.de)
- [www.massivechange.com](http://www.massivechange.com)
- [www.matech.it](http://www.matech.it) essere scaricato nel World Wide Web (<http://www.vensim.com>.)
- [www.materia.nl](http://www.materia.nl)
- [www.materialconnexion.com](http://www.materialconnexion.com)
- [www.materio.com](http://www.materio.com)
- [www.materioteca.com](http://www.materioteca.com)
- [www.matrec.it](http://www.matrec.it)
- [www.matweb.com](http://www.matweb.com)
- [www.mbm-dresden.de](http://www.mbm-dresden.de)
- [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [www.nanosearch.com](http://www.nanosearch.com)
- [www.pellicoleonline.it](http://www.pellicoleonline.it)
- [www.politeca.polimi.it/](http://www.politeca.polimi.it/)
- [www.renewedmaterials.com](http://www.renewedmaterials.com)
- [www.smartfoils.com](http://www.smartfoils.com)



- [www.smallplans.com](http://www.smallplans.com)
- [www.smartarch.nl](http://www.smartarch.nl)
- [www.supereva.com](http://www.supereva.com)
- [www.unstudio.com](http://www.unstudio.com)

### Tesi di dottorato

- CIANCHETTI Riccardo, Un modello per il controllo nella progettazione dell'involucro edilizio, tutor Prof. Giuseppe Morabito, Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, XII Ciclo, Dipartimento di Innovazione Tecnologica nell'Architettura e Cultura dell'Ambiente (ITACA), Università degli Studi di Roma "La Sapienza"-Facoltà di Architettura, 2000
- CINTI Simona, Le facciate a doppia pelle in Italia. Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro, tutor prof. Fabio Conato, Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura XVI Ciclo, Università degli Studi di Ferrara – Facoltà di Architettura, 2004
- ROSSETTI Massimo L'involucro come macchina energetica, tutor prof. Nicola Sinopoli, Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, XII Ciclo, Dipartimento di Innovazione Tecnologica nell'Architettura e Cultura dell'Ambiente (ITACA), Università degli Studi di Roma "La Sapienza"-Facoltà di Architettura, 2000





















Università degli Studi di Ferrara

Università IUAV di Venezia

Università degli Studi di Bologna

---