

Giovanni Tisi

Serramenti e sistemi oscuranti

Criteri di scelta, misura delle prestazioni,
modalità di installazione

Allegato CD con programma di calcolo della trasmittanza dei serramenti
e MSViewer per l'analisi dei numerosi esempi di ponti termici



Dario Flaccovio Editore



Compatibile Windows
XP · Vista · 7



Sistemi in legno, PVC, alluminio e misti ✓
Misura delle prestazioni e criteri di scelta ✓
Esempi pratici di calcolo dei ponti termici ✓
Aggiornato alla normativa sulla certificazione acustica ✓

GIOVANNI TISI

Serramenti e sistemi oscuranti

**Criteri di scelta, misura delle prestazioni,
modalità di installazione**



Dario Flaccovio Editore

*A tutti quegli operatori del settore, artigiani, assemblatori,
installatori che, con la loro curiosità, le loro domande,
la loro voglia di fare al meglio il proprio lavoro,
hanno reso possibile la realizzazione di questo libro*

Giovanni Tisi

SERRAMENTI E SISTEMI OSCURANTI – Criteri di scelta, misura delle prestazioni, modalità di installazione

ISBN 978-88-579-0080-3

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: aprile 2011

Tisi, Giovanni <1959->

Serramenti e sistemi oscuranti : criteri di scelta, misura delle prestazioni e modalità di installazione / Giovanni Tisi. - Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0080-3

1. Serramenti.

690.182 CDD-22

SBN Pal0232656

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Officine Grafiche Riunite, Palermo, marzo 2011

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- eventuali aggiornamenti e/o errata corrige

INDICE

Premessa

Parte Prima Il serramento

1. I componenti finestrati dell'involucro edilizio

1.1. Definizione.....	»	3
1.2. Configurazioni	»	4
1.3. Richiami di storia del serramento.....	»	6
1.4. Variabilità geografica.....	»	17
1.5. Definizioni	»	21
1.5.1. Nomenclatura delle parti che costituiscono il serramento	»	21
1.5.2. Sistemi di misura.....	»	22

2. Le tipologie di serramento

2.1. Le forme e le funzioni	»	25
2.2. Classificazione in base alla movimentazione	»	25
2.3. Classificazione in base alla forma	»	31
2.4. Classificazione in base al materiale del telaio	»	31
2.5. Indicazioni generali sull'uso dei diversi materiali.....	»	33

3. Le tipologie di sistemi oscuranti

3.1. Forme e funzioni.....	»	35
3.2. Classificazione in base alla movimentazione	»	36
3.3. Classificazione in base alla forma	»	38
3.4. Classificazione in base al materiale.....	»	40
3.4.1. Sistemi scorrevoli.....	»	40
3.4.2. Sistemi a battente.....	»	43
3.5. Indicazioni generali sull'uso dei diversi materiali e sistemi.....	»	43

4. Gli accessori

4.1. Le zanzariere	»	45
4.2. Le grate di protezione.....	»	46
4.3. Automatismi	»	46
4.3.1. Automatismi di apertura.....	»	46
4.4. I controtelai	»	47
4.4.1. Generalità	»	47

4.4.2. Controtelai in legno	»	49
4.4.3. Controtelai in lamiera.....	»	49
4.4.4. Controtelai a scomparsa per ante esterne.....	»	50
4.4.5. Controtelai a tunnel	»	51
4.4.6. Controtelai in PVC.....	»	52

5. Le prestazioni attese

5.1. Generalità.....	»	53
5.2. L'impermeabilità.....	»	54
5.3. L'assenza di spifferi	»	55
5.4. La prestazione acustica.....	»	56
5.5. Il fattore luminoso	»	56
5.6. Il comfort termico e consumi energetici.....	»	57
5.7. La salubrità degli ambienti	»	58
5.8. La resistenza all'effrazione	»	58
5.9. La resistenza al fuoco	»	58
5.10. La sicurezza in uso.....	»	59
5.11. La sicurezza statica	»	59
5.12. La durabilità e la manutenzione.....	»	60

6. Cenni di fisica dell'involucro edilizio

6.1. Generalità.....	»	63
6.2. Il calore	»	63
6.2.1. La conduzione	»	64
6.2.2. I fenomeni convettivi.....	»	66
6.2.3. L'irraggiamento	»	67
6.3. Acustica in edilizia	»	68
6.3.1. Introduzione ai fenomeni acustici	»	68
6.3.2. Gli indici di valutazione della prestazione acustica	»	71
6.4. L'umidità.....	»	77
6.5. Le condizioni ideali per il confort abitativo	»	79
6.6. Il serramento nell'involucro edilizio.....	»	80

7. La normativa di riferimento

7.1. Generalità.....	»	83
7.2. Normative di definizione e nomenclatura.....	»	83
7.3. Direttiva europea 89/106 sui materiali da costruzione	»	83
7.3.1. Aspetti comuni delle varie norme armonizzate	»	84
7.3.2. Il cascading delle prove ITT	»	87
7.3.3. L'opzione NPD.....	»	87
7.3.4. La marcatura CE dei serramenti secondo UNI EN ISO 14351-1:2010...	»	88
7.3.5. La marcatura CE dei sistemi oscuranti secondo UNI EN ISO 13659:2007	»	89

7.4.	La legislazione nazionale.....	»	90
7.4.1.	Generalità.....	»	90
7.4.2.	La normativa sul contenimento dei consumi energetici degli edifici.....	»	91
7.4.3.	Le norme sull'abbattimento acustico.....	»	93
7.4.3.1.	La normativa vigente.....	»	93
7.4.3.2.	La classificazione acustica degli edifici.....	»	94
7.4.3.3.	Considerazioni sui parametri della norma UNI EN 11367 che interessano il serramento.....	»	95
7.4.4.	Le norme sulla sicurezza.....	»	96
7.4.5.	Le norme di progettazione.....	»	97
7.4.6.	Il codice al consumo.....	»	98
7.5.	Altre direttive europee che riguardano il serramento.....	»	99
7.5.1.	Direttiva concernente l'etichettatura dei prodotti.....	»	99
7.5.2.	Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD).....	»	99
7.6.	Norme UNI che riguardano il serramento non aventi validità prescrittiva ..	»	100
7.6.1.	UNI 10818: Linee guida per la posa in opera.....	»	100
7.6.2.	UNI 11173: criteri per la scelta dei serramenti e delle vetrate continue	»	101

Parte Seconda

Caratteristiche costruttive del serramento

8. Il serramento con telaio in legno

8.1.	Generalità.....	»	105
8.2.	Sezioni e profili.....	»	106
8.3.	Specie legnose utilizzate.....	»	118
8.4.	I processi produttivi.....	»	120
8.5.	I trattamenti superficiali.....	»	123
8.6.	Sistemi in legno/alluminio.....	»	126
8.7.	Altre soluzioni in legno protetto.....	»	128
8.8.	Soluzioni in legno a elevate prestazioni.....	»	129
8.9.	La questione ambientale.....	»	130
8.10.	Schede di legni di utilizzo comune.....	»	132

9. Il serramento con telaio in PVC

9.1.	Generalità.....	»	139
9.2.	La materia prima.....	»	140
9.3.	L'estrusione dei profili.....	»	141
9.4.	Sezioni e profili.....	»	145
9.5.	Fabbricazione e assemblaggio di serramenti in PVC.....	»	148

10. I serramenti con telaio metallico

10.1.	Generalità.....	»	151
-------	-----------------	---	-----

10.2. I processi produttivi dei serramenti in alluminio	»	152
10.3. I profili dei serramenti in alluminio	»	154
10.4. Sistemi oscuranti in alluminio.....	»	157
10.5. Serramenti in alluminio e legno	»	158
10.6. Serramenti in acciaio	»	160
10.6.1. Generalità	»	160
10.6.2. Profili in ferro per serramento.....	»	160
10.7. I portoncini di sicurezza in metallo	»	162
10.7.1. La struttura dei portoncini di sicurezza.....	»	162
10.7.2. La produzione dei portoncini di sicurezza	»	163
10.8. I sistemi oscuranti di sicurezza.....	»	164
10.9. I sistemi con prestazioni di resistenza al fuoco	»	164

11. Le superfici trasparenti

11.1. Generalità.....	»	165
11.2. Caratterizzazione del vetro per edilizia.....	»	168
11.3. Vetrocamere.....	»	171
11.4. Le canaline distanziatrici	»	175
11.5. Comportamento termico delle vetrocamere	»	176
11.6. Esempi tipici di vetrate di uso comune.....	»	177
11.7. Vetrate con prestazioni di controllo solare	»	178

12. La ferramenta

12.1. Generalità.....	»	181
12.2. Le cerniere di sospensione	»	182
12.3. La ferramenta di chiusura.....	»	186
12.4. La movimentazione delle ante scorrevoli	»	188
12.5. Ferramenta per avvolgibili.....	»	190
12.6. Le serrature.....	»	190
12.7. Le maniglie	»	191
12.7.1. Generalità	»	191
12.7.2. Materiali	»	192
12.7.3. Trattamenti superficiali	»	192
12.8. Le prestazioni legate alla ferramenta.....	»	192

13. Le guarnizioni

13.1. Generalità.....	»	195
13.2. Caratteristiche.....	»	195
13.3. Materiali	»	196
13.4. Montaggio delle guarnizioni	»	197
13.5. Le prestazioni che dipendono dalle guarnizioni	»	197

14. Il mercato dei serramenti

14.1. Generalità.....	» 199
14.2. Gli attori del mercato.....	» 199
14.3. I profili di costo.....	» 201
14.4. La distribuzione dei prezzi	» 202
14.5. Le quote di mercato	» 204

Parte Terza
La determinazione delle prestazioni

15. Le prove sperimentali

15.1. Generalità.....	» 207
15.2. La permeabilità all'aria.....	» 208
15.2.1. Metodo di prova e classificazione (UNI EN 1026 e UNI EN 12207).....	» 208
15.2.2. Considerazioni.....	» 209
15.3. Tenuta all'acqua	» 210
15.3.1. Metodo di prova e classificazione secondo UNI EN 1027 e UNI EN 12208	» 210
15.3.2. Considerazioni.....	» 211
15.4. Resistenza al carico del vento.....	» 212
15.4.1. Metodo di prova e classificazione secondo UNI EN 12211 e UNI EN 12210	» 212
15.4.2. Considerazioni.....	» 214
15.5. Resistenza al carico del vento di tende e chiusure oscuranti.....	» 215
15.5.1. Metodo di prova e classificazione (UNI EN 1932).....	» 215
15.5.2. Considerazioni.....	» 216
15.6. Urto da corpo molle e pesante	» 216
15.6.1. Metodo di prova e classificazione (UNI EN 13049).....	» 216
15.6.2. Considerazioni.....	» 217
15.7. La tenuta dei sistemi di bloccaggio e ritenzione.....	» 217
15.7.1. Metodo di prova (UNI EN 14609:2004)	» 217
15.7.2. Considerazioni.....	» 217
15.8. Isolamento acustico.....	» 218
15.8.1. Metodo di prova e classificazione (UNI EN ISO 140-3, UNI EN ISO 717-1)	» 218
15.8.2. Considerazioni.....	» 218
15.9. La resistenza all'effrazione	» 219
15.9.1. Metodo di prova e classificazione (UNI ENV 1627-28-29-30)	» 219
15.9.2. Considerazioni.....	» 220
15.10. Altre prestazioni determinabili per via sperimentale.....	» 221

16. Le prestazioni determinabili per calcolo

16.1. Introduzione ai modelli di calcolo e alle tabelle.....	» 223
--	-------

16.2. La trasmittanza termica	» 224
16.2.1. Concetti e definizioni	» 224
16.2.2. Calcolo tabellare	» 225
16.2.3. Calcolo analitico semplificato	» 226
16.2.3.1. Introduzione al calcolo semplificato della trasmittanza termica	» 226
16.2.3.2. Esempio di calcolo su un serramento in legno	» 227
16.2.3.3. Esempio di calcolo su serramento in PVC	» 230
16.2.3.4. I parametri che più influenzano il valore di trasmittanza termica	» 230
16.2.4. Il calcolo analitico secondo la norma UNI EN 10077/2	» 232
16.2.4.1. Introduzione al metodo analitico agli elementi finiti	» 232
16.2.4.2. Calcolo analitico dei diversi nodi di un serramento in legno	» 235
16.2.4.3. Calcolo analitico su profili in PVC	» 239
16.2.4.4. Calcolo analitico su profili in metallo	» 240
16.2.4.5. Le alette di battuta	» 242
16.2.4.6. Serramenti compositi	» 243
16.2.4.7. La trasmittanza dei cassonetti	» 246
16.2.5. Il contributo delle persiane	» 248
16.3. Valori di prestazioni definiti in via semplificata tabellare	» 252
16.3.1. Permeabilità all'aria	» 252
16.3.2. Prestazione acustica di finestre e scorrevoli	» 252

17. Estensione dei valori a prodotti diversi dal campione

17.1. Necessità di regole di estensione	» 255
17.2. Estendibilità per tenuta all'acqua e permeabilità all'aria	» 256
17.3. Estendibilità per la resistenza al carico di vento	» 256
17.4. Estendibilità della prestazione acustica	» 257
17.5. Estendibilità dei valori di trasmittanza termica	» 257
17.6. Estendibilità dei valori di resistenza all'impatto	» 258
17.7. Estendibilità dei valori di tenuta dei dispositivi di sicurezza	» 256

18. Considerazioni sulle prestazioni determinate

18.1. Generalità	» 259
18.2. La completezza	» 260
18.3. La severità	» 261
18.4. La significatività	» 262
18.5. La chiarezza informativa	» 263
18.6. La procedura di cascading	» 264
18.7. L'evoluzione normativa	» 266
18.8. I marchi di qualità volontari	» 267

Parte Quarta La posa in opera

19. L'integrazione tra gli elementi

19.1. Generalità.....	» 271
19.2. La normativa.....	» 272
19.3. Classificazione generale dei metodi di posa in opera.....	» 274
19.4. La progettazione del giunto.....	» 278
19.5. Elementi meccanici di tenuta del serramento nel vano murario.....	» 280
19.6. La scelta del tipo di interfaccia.....	» 281

20. Materiali e metodi di posa

20.1. Generalità sulla sigillatura del giunto.....	» 285
20.2. Materiali sigillanti e riempitivi.....	» 287
20.2.1. I sigillanti.....	» 288
20.2.2. Le schiume poliuretatiche.....	» 290
20.3. Schemi di posa.....	» 290
20.4. Esecuzione del montaggio.....	» 292
20.4.1. Controllo dei materiali.....	» 292
20.4.2. Posizionamento dell'infisso e fissaggio preliminare.....	» 293
20.4.3. Sigillatura dei giunti.....	» 293
20.4.4. Montaggio e verifica delle ante.....	» 294
20.4.5. Finitura.....	» 294
20.4.6. Eventuale posa dei vetri.....	» 294

21. La misura delle prestazioni

21.1. Introduzione alla misura delle prestazioni della posa.....	» 297
21.2. Percorso indiretto di assicurazione delle prestazioni.....	» 298
21.3. Metodi diretti di misura in cantiere.....	» 299
21.3.1. Introduzione alle misure in cantiere.....	» 299
21.3.2. Il <i>blower door test</i>	» 300
21.3.3. La termografia.....	» 301
21.3.4. La misura dei parametri acustici.....	» 303

22. I ponti termici del giunto

22.1. Generalità sui ponti termici.....	» 305
22.2. La definizione di ponte termico.....	» 307
22.3. La normativa di riferimento.....	» 311
22.4. Calcolo dei ponti termici.....	» 312
22.4.1. Riproduzione dei risultati della norma.....	» 312
22.4.2. Posizionamento del serramento in profondità.....	» 315

22.4.3. Falso piatto montato in corrispondenza dell'isolante	»	316
22.4.4. Controtelaio a L montato a filo esterno	»	319
22.4.5. Giunto inferiore delle finestre	»	320
22.4.6. Soglia inferiore della portefinestra.....	»	321
22.5. Le verifiche termoigrometriche	»	323
Appendice – Contenuto del CD allegato e suo utilizzo.....	»	329
Conclusioni e ringraziamenti	»	335
Bibliografia.....	»	339

PREMESSA

Il settore delle costruzioni sta vivendo attualmente un momento di grandi cambiamenti, innescato soprattutto dalla riflessione che l'aspetto energetico delle costruzioni è destinato ad assumere in futuro un ruolo sempre più importante nella valutazione della qualità degli edifici e delle abitazioni, coinvolgendo materiali, metodi e le stesse filosofie costruttive.

Va posto infatti l'accento sul fatto che i problemi energetici, prima ancora di quelli ambientali in senso lato, influenzano e influenzeranno sempre di più lo stile di vita che nell'ultimo secolo siamo stati abituati a dare per scontato.

L'esaurimento delle risorse fossili che hanno finora consentito alla società occidentale di disporre di energia in quantità pressoché illimitata, a costi ragionevoli e con fonti comodamente accessibili, è una prospettiva che non si può infatti ignorare quando si progettano e realizzano edifici destinati per loro natura a durare decenni, in grado di consumare nella loro vita utile quantità significative di materie prime energetiche, sotto forma di gas metano, gasolio ed energia elettrica.

Piuttosto che una sterile discussione su quando e come si raggiungerà il picco del petrolio o su quale sia la reale influenza della massiccia liberazione di anidride carbonica sul clima del pianeta, si deve notare che ridurre i consumi energetici nelle abitazioni è possibile, è doveroso e migliora così anche la qualità della vita:

- ridurre gli sprechi si può: il parco edilizio esistente ha un consumo medio di 180 kWh/m² anno; con pochi, semplici e tutto sommato economici interventi progettuali e costruttivi, questo enorme spreco può essere ridotto a un terzo o un quarto, con un risparmio che non può essere altrettanto facilmente conseguito in nessun altro settore;
- ridurre gli sprechi si deve: per il riscaldamento invernale, per la climatizzazione estiva e il funzionamento delle abitazioni viene impiegato quasi un terzo del fabbisogno annuo di energia primaria, quindi una quota assolutamente importante, di enorme rilevanza sul totale; pertanto qualsiasi intervento di risparmio ha quindi una significativa incidenza sul totale dei consumi e dei costi relativi;
- ridurre gli sprechi migliora la qualità della vita: un'abitazione a basso consumo, che non disperde inutilmente calore, ha una temperatura più costante in tutto il volume; un edificio a basso consumo non impone di mantenere alcuni ambienti a temperatura più bassa per economizzare sui costi di riscaldamento

perché questi sono già drasticamente ridotti; un edificio a basso consumo potrà essere mantenuto a temperatura confortevole indipendentemente dal prezzo dei prodotti petroliferi, che, come abbiamo visto nel recente passato, può essere soggetto a sostanziali rincari.

Tutte le considerazioni di cui sopra sono già ben chiare sia al legislatore sia agli operatori del settore, ma stanno rapidamente facendo presa anche sugli acquirenti, sugli utenti finali: la prestazione energetica di un edificio sta rapidamente diventando un argomento di valore commerciale e questo ha definitivamente innescato un meccanismo virtuoso che spinge chi progetta le nuove realizzazioni a prendere in considerazione gli aspetti energetici sin dalle prime fasi del lavoro di progettazione.

Questa vera e propria rivoluzione nei canoni e nei metri di misura, accompagnata e forzata da una serie di provvedimenti normativi, non ultimo la direttiva europea sulle abitazioni a consumo *quasi zero*, ha generato la situazione di radicale cambiamento alla quale si sta assistendo.

Uno dei componenti fondamentali dell'involucro edilizio è rappresentato dal serramento: la prestazione delle superfici apribili è fondamentale nell'economia complessiva dell'involucro, sia in termini puramente energetici sia in altri aspetti che determinano la qualità della vita negli ambienti interni, quali la rumorosità, l'illuminazione e la salubrità dell'aria.

Di conseguenza, il settore dei serramenti ha vissuto e sta vivendo lo stesso momento di rivoluzione, che vede lo spostamento dell'attenzione del cliente verso parametri sin qui ignorati, con richieste di prestazioni sempre più stringenti e con l'introduzione di una serie di prescrizioni normative, che hanno costretto gli operatori del settore, in tutte le filiere produttive e di ogni dimensione, a proporre nuove idee, a confrontarsi con nuovi problemi e a trovare nuove soluzioni.

Ogni fase di importante cambiamento richiede da un lato lo studio di possibili soluzioni e dall'altro la necessaria sperimentazione, sia di laboratorio che sul campo. È probabile che alcune delle soluzioni che si stanno proponendo non avranno riscontri positivi e verranno presto abbandonate, mentre altre si riveleranno vincenti ed entreranno a far parte della tecnica corrente.

Questo è tanto più vero quanto il prodotto finale rappresentato dalla costruzione edile, dall'alloggio finito, è il risultato del lavoro di una molteplicità di operatori diversi: architetti, strutturisti, impiantisti, produttori di materiali e componenti hanno ciascuno innovato il proprio prodotto o il proprio sistema, ma, come a volte accade, non sempre i singoli miglioramenti si sommano se applicati cumulativamente senza un disegno complessivo. Un esempio su tutti: finché i serramenti consentivano un allegro e costoso ricambio d'aria da spifferi e fessure, il problema del controllo dell'umidità ambientale e della correzione dei ponti termici poteva essere in qualche modo ignorato, in quanto gli elevati e indesiderati ricambi d'aria nascondevano il problema.

Nel momento in cui questi spifferi vengono finalmente corretti e lo spreco di energia viene ridotto, risulta evidente che dovranno prendersi tutte le precauzioni per evitare che in corrispondenza dei punti freddi dell'involucro si possano formare muffe: sarà quindi necessaria una verifica più approfondita e una correzione più accurata dei possibili ponti termici.

Questo non è che un piccolo esempio di come, in un sistema complesso quale un'abitazione, raramente la correzione di un parametro può essere messa in atto senza l'opportuna analisi di tutti gli effetti collaterali che possono insorgere o che possono acuire la loro importanza: questo richiede indubbiamente al progettista uno sforzo ulteriore, necessario alla conoscenza delle prestazioni dei singoli componenti e soprattutto alla loro interazione quando integrati in un unico progetto.

Per quanto riguarda i serramenti, le prestazioni dei singoli manufatti sono finalmente note e disponibili per tutti i prodotti in commercio; la marcatura CE di questi prodotti da costruzione ha infatti reso obbligatoria la determinazione e la comunicazione all'acquirente da parte del produttore dei parametri fondamentali necessari al progettista per effettuare le scelte più opportune.

È importante notare a questo proposito che – più che le singole innovazioni di prodotto – proprio questa trasparenza e questa comunicazione sono la vera novità del settore: finalmente, anche per il serramento, la percezione della qualità è stata in qualche modo oggettivata; non esistono più serramenti buoni prodotti da bravi serramentisti, ma prodotti con certe qualità certificate, realizzati da aziende in grado di garantirle.

In un settore che conta, solo in Italia, oltre ventimila operatori, è evidente che questo cambio di paradigma non poteva essere né immediato né indolore.

Il processo di trasparenza iniziato con la marcatura CE si è probabilmente appena avviato, ma, come spesso accade, proprio nelle prime fasi di un processo si possono intravedere quali saranno gli effetti dell'evoluzione.

Con l'aumentare delle esigenze e delle richieste dei clienti, siano essi acquirenti professionali o fruitori finali, le realtà più piccole e meno strutturate hanno sicuramente trovato qualche difficoltà in più rispetto ai grossi produttori e la necessità di determinare sperimentalmente le prestazioni di tutti i prodotti ha inevitabilmente accelerato l'abbandono di certe produzioni, con uno spostamento verso l'alto della qualità di gamma: la contemporanea infelice congiuntura economica ha sicuramente inciso sulla possibilità di alcuni operatori di sfruttare tutte le opportunità offerte dal cambiamento.

In ogni caso, il processo si è avviato e appare ormai irreversibile: si avranno a disposizione sistemi di chiusura sempre più performanti, più tecnologici, più sicuri, con caratteristiche certe, certificate e riproducibili.

Proprio la considerazione che il serramento sta cambiando e che l'effettivo miglioramento si avrà solo sulla spinta del mercato, sta alla base di questo manuale, che si rivolge a chi, con le sue scelte, è chiamato a essere il motore del cambiamento.

Possedere i metodi e gli strumenti per saper valutare l'oggetto che si deve scegliere, per sapere criticamente analizzare l'importanza relativa delle varie prestazioni che vengono dichiarate sulla documentazione, per saperle integrare nel contesto di tutte le altre scelte di progetto è infatti lo scopo di questo volume.

Il lavoro è impostato in quattro parti che hanno quattro distinti indirizzi.

Nella prima, sostanzialmente introduttiva, si cercherà di fornire tutti gli elementi di base, storici, geografici, morfologici, strumentali e normativi, utili a caratterizzare l'oggetto della trattazione e a definire i metri di misura necessari alla sua successiva valutazione.

Nella seconda parte si prenderanno invece in rassegna le varie tipologie costruttive, i materiali e gli accessori, allo scopo di rendere chiaro ed evidente che esistono numerose alternative per ciascun problema e quasi mai la scelta si deve ritenere obbligata e univoca: in questo senso, la libertà del progettista è quanto mai ampia.

Nella terza parte saranno indagate le prestazioni dei serramenti e segnatamente le modalità con cui vengono determinate o calcolate: è di notevole importanza infatti conoscere cosa sta dietro il mero numero indicato su un certificato o su una dichiarazione, per non subire passivamente informazioni commerciali più o meno partigiane ma avere una chiara visione del processo con il quale sono state ottenute.

Nell'ultima parte, infine, si allargherà l'orizzonte verso quella *terra di nessuno* costituita dal giunto che unisce serramento e opera muraria.

Con un approccio semplice ma rigoroso si cercheranno di oggettivare, con esempi e calcoli, quelle che sono attualmente le *best practices* suggerite dai migliori produttori per una corretta posa in opera che, al contrario di quanto troppo spesso accade, non penalizzi irrimediabilmente le prestazioni del serramento e della parete in cui viene infisso.

Per non appesantire eccessivamente il volume con la ripetizione di schemi e figure delle molte situazioni tipiche che si sono analizzate, si è preferito allegare al presente libro un CD che contiene tutti gli esempi citati nel testo; con l'opportuno software allegato sarà quindi possibile visualizzare in dettaglio quello che nel testo viene citato solo come risultato finale.

In questa ultima parte, apparirà ancora più evidente quanto sia importante, ai fini della migliore realizzazione, che ogni elemento sia progettato, costruito e utilizzato nel proprio specifico contesto, con un'impostazione complessiva che abbia sempre come obiettivo il risultato finale piuttosto che le caratteristiche dei singoli elementi: non vi può essere grande squadra senza buoni elementi, ma in una visione olistica, l'insieme vale più della semplice somma delle parti.

*Piacciati adunque leggermi con diligenza, ...
Filippo Brunelleschi – De Pictura*

PARTE PRIMA
Il serramento

1. I COMPONENTI FINESTRATI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

*Era in capo alla sala, e nel parete
del bel fondato albergo una seconda
di congiunte assi rinforzata porta,
che in pubblico metteva non largo calle.
Di questa, per cui sol s'apriva un passo
Ulisse volle il fido Eumeo per guardia,
Argelao v'ebbe l'occhio, e disse: Amici,
Non vi sarà chi quella porta sforzi!*
Omero – Odissea XXII

1.1. Definizione

In tutti i tipi di costruzioni edilizie, da sempre, è previsto che l'involucro presenti delle aperture di comunicazione con l'esterno, in grado di garantire la fruibilità del volume racchiuso all'interno e, nella maggioranza dei casi, di consentire che la luce possa entrare negli ambienti e che vi sia un ricambio d'aria.

Se si definisce *serramento* proprio quell'insieme di componenti e manufatti in grado di assicurare che le tre funzioni sopra indicate avvengano in modo controllato, si ottiene probabilmente la massima generalizzazione del concetto di serramento e la sua prima e fondamentale caratterizzazione.

Il serramento è quindi quel componente dell'involucro edilizio che consente in tutto o in parte almeno una delle tre funzioni:

- il passaggio tra l'esterno e l'interno in modo controllato di cose e persone;
- lo scambio di luce e calore (energia) in modo controllato;
- il ricambio controllato dell'aria.

In questa definizione rientra un'enorme varietà di soluzioni diverse, che si sono evolute nel corso del tempo, in funzione delle specifiche esigenze richieste, atte a privilegiare questa o quella caratteristica funzionale dipendente dal contesto; in questa varietà di forme, materiali, composizioni e componenti, il progettista ha ampia libertà di scelta, così da poter soddisfare le esigenze tecniche, prestazionali ed estetiche caratteristiche di ciascuna realizzazione.

L'importanza di questa scelta in fase di progettazione è chiaramente messa in luce dal fatto che il serramento, tra i componenti dell'involucro edilizio, è il più costoso e spesso quello più debole sul piano prestazionale.

Infatti, l'insieme di serramento comprensivo della sua superficie vetrata, somma-

to alla chiusura oscurante, completo di accessori, posato con le dovute cure, viene a costare svariate centinaia di euro al metro quadro e scelte errate nel tentativo di ottenere eccessivi risparmi portano spesso a compromettere gravemente le prestazioni dell'involucro creando conseguenti problemi con il committente o con il cliente finale.

Per gli scopi indicati in premessa è opportuno caratterizzare meglio l'oggetto della presente trattazione, restringendo il campo delle possibilità applicative per concentrare l'attenzione su prodotti omogenei in termini produttivi e progettuali. Ci si focalizzerà su finestre e porte pedonali intese come prodotti finiti singoli, di dimensione relativamente piccola, che si inseriscono e non si sostituiscono all'involucro edilizio, che vengono realizzati in modo seriale o quasi seriale presso aziende di produzione.

Resteranno invece esclusi i sistemi a tutta facciata, le vetrate continue, le coperture vetrate e altri elementi simili che vengono progettati e realizzati singolarmente e che da soli costituiscono l'involucro edilizio.

Queste realizzazioni vengono assemblate presso il cantiere a partire dai singoli elementi prodotti per la specifica commessa, singolarmente progettata, e appare chiaro che lo studio di questi sistemi richiederebbe un approccio significativamente diverso.

1.2. Configurazioni

Prima di operare una classificazione sistematica, che sarà oggetto dei prossimi capitoli, a scopo introduttivo generale, si possono indicare le forme e i componenti che tipicamente compongono un serramento atto a rispondere alle esigenze precedentemente indicate.

Nella sua configurazione più tipica, il serramento è un manufatto rettangolare infisso nella parete e a questa solidamente e stabilmente vincolato, composto in genere da almeno due elementi diversi: la finestra vera e propria, posta su un piano interno, cui è demandata la funzione di tenuta e trasparenza, e un sistema oscurante esterno dedicato alla funzione di oscuramento, protezione e sicurezza.

Si parlerà di finestra nel caso in cui l'apertura inizi da un parapetto o di portafinestra o portoncino o porta pedonale nel caso in cui l'apertura inizi dal filo del pavimento.

Nel caso di porte e portoncini di ingresso, l'elemento oscurante esterno è di solito mancante per ragioni di praticità.

Il serramento vero e proprio è costituito da un telaio maestro fissato a muro, sul quale sono incardinate ante mobili che possono essere facilmente aperte; la

movimentazione è in genere possibile solo dall'interno mediante una maniglia che comanda più organi di chiusura disposti in vari punti del perimetro apribile.

Il materiale che compone il telaio maestro e i telai delle ante può essere metallo, legno o un materiale plastico; non sono infrequenti anche soluzioni miste.

Elemento sostanziale del serramento è la superficie vetrata, di solito la più ampia possibile, costituita da una vetrocamera composta da più lastre parallele tra loro collegate ai bordi e sigillate a formare una intercapedine stagna.

Il sistema oscurante può essere di tipo ad ante battenti che si aprono all'esterno oppure costituito da sistemi scorrevoli verticalmente che si



Figura 1.1. Serramento completo di sistema oscurante (fonte: De Carlo Spa)



Figura 1.2. Ampia finestra a tetto (fonte: Velux Spa)

vanno a impacchettare (alla veneziana) o ad arrotolare in un apposito vano superiore (tapparella avvolgibile).

A volte si impiegano anche schermi oscuranti interni alle ante, incardinati sui montanti delle stesse, che hanno di solito lo scopo di oscurare completamente l'ambiente interno in assenza di uno schermo esterno.

Nelle applicazioni industriali, invece, i serramenti sono configurati spesso in strisce continue molto più estese in orizzontale che in verticale, con una alternanza di elementi fissi e apribili, di solito privi di sistema oscurante esterno.

Sebbene la maggioranza dei serramenti si apra sulle pareti verticali dell'involucro edilizio, non mancano soluzioni ricavate nelle falde delle coperture: questi manufatti di solito hanno un'escursione di apertura limitata e un comando remoto.

1.3. Richiami di storia del serramento

Le prime costruzioni erette dall'uomo a scopo abitativo – sia in forma di capanna sia in forma di tenda mobile – presentavano una sola apertura destinata sia a fornire la possibilità di accesso sia a consentire il ricambio dell'aria.

In presenza di un fuoco era spesso lasciata una luce libera nel punto più alto del soffitto al preciso scopo di evacuare i fumi prodotti all'interno.

Ancora oggi le *yurte* dei popoli asiatici nomadi o i *tepee* degli indiani d'America o le capanne dei popoli che abitano le foreste pluviali in Amazonia o nel Borneo mantengono questo schema; l'eventuale telo o pelle di animale, destinata a chiudere l'unica apertura, garantisce un minimo di controllo sulla quantità di luce e di aria che può entrare.

Con la realizzazione delle prime vere costruzioni in muratura o in mattoni di argilla e paglia, si fece largo l'esigenza di realizzare un sistema di chiusura mobile dei vani che venivano lasciati aperti per consentire il passaggio.

Sistemi mobili, probabilmente realizzati in legno, incardinati su assi verticali, sono documentati in uso sin dalle più antiche civiltà.

Le prime testimonianze dirette dell'uso di sistemi apribili anche nelle costruzioni civili provengono dagli scavi di Pompei ed Ercolano.

Numerose case patrizie infatti mostrano chiari segni dell'esistenza di veri e propri



Figura 1.3a-c. Porta nelle mura di Hattusa (TUR) (XIII sec. a.c.), con il segno dei cardini b) e i graffi prodotti dall'apertura dell'anta c) (foto di proprietà dell'autore)

serramenti a più battenti, costituiti da un telaio in legno verniciato e da una cortina trasparente o traslucida che era costituita di *lapis specularis* o più raramente di vetro.

L'uso di pietre naturali in grado di sfogliarsi in lastre trasparenti o traslucide è già documentato presso i Greci, di cui i Romani adottarono l'impiego di fogli di selenite (gesso); altri materiali con le stesse caratteristiche, provenienti dalle più remote province dell'Impero (alabastri finissimi dalla Cappadocia, miche trasparenti), venivano altrettanto validamente impiegati al posto del vetro. Quest'ultimo, pur essendo già ben noto ai Romani e rappresentando il candidato ideale per la parte finestrata, era in realtà difficile da ottenere in formati piani di sufficienti dimensioni e trasparenza, per cui era molto costoso e passarono molti secoli prima che il suo utilizzo per le finestre divenisse generalizzato.

Alla caduta dell'Impero Romano, infatti, cessò l'abitudine di chiudere le aperture in modo mobile e trasparente; chiese romaniche e castelli dell'epoca mostrano aperture ridottissime, destinate a restare aperte o eventualmente a essere chiuse con ante in legno cieche.

Si hanno poche informazioni e nessun reperto di finestre o di superfici vetrate nell'alto medioevo, solo qualche vago riferimento relativo a chiese in Inghilterra (St. Peter a York) e in Francia, di cui però non è giunta alcuna descrizione.

Il notevole spessore dei muri e la necessità di non offrire vani di passaggio a eventuali assalitori portò piuttosto a realizzare finestrelle strette e alte, strombate verso l'interno per migliorare l'angolo di illuminazione e ricavare per il difensore uno spazio per il tiro di frecce e dardi, che venivano lasciate aperte o permanentemente tamponate con ante in legno.

Nelle case in legno o in pietra della gente comune, per tutto il Medioevo, le finestre erano pressoché assenti e l'unica sorgente di illuminazione era rappresentata dalla porta di ingresso, chiusa da una pesante porta in legno che si apriva verso l'esterno; il ricambio dell'aria era affidato a un buco nel soffitto, destinato principalmente a evacuare i fumi del focolare che spesso si trovava al centro dell'unico ambiente abitato.



Figura 1.4. Calco da Pompei, Villa dei misteri:
porta a tre battenti in legno



Figura 1.5. Resti dell'abbazia di Clonmacnoise (IRL) con due finestrelle absidali a forma di fessura e ampia strombatura (foto di proprietà dell'autore)



Figura 1.6. Un limitato numero di piccole feritoie nelle pareti esterne del castello di Caernarfon (Galles) (foto di proprietà dell'autore)

Le cose cambiarono radicalmente poco dopo il Millennio quando il vetro iniziò a essere utilizzato nelle vetrate composte da piccoli pezzi colorati, saldati e tenuti da fili di piombo che consentirono la realizzazione di splendide vetrate che ancora oggi si possono ammirare nelle cattedrali di tutta Europa.



Figura 1.7. Una tra le più antiche vetrate giunta intatta: il Ciclo dei profeti, Duomo di Augusta, sec. XII
(foto di proprietà dell'autore)

L'acquisita possibilità di realizzazioni tanto grandi e il nuovo clima politico e culturale portano allo sviluppo di quello stile gotico che fa della leggerezza e della luce il suo tratto più caratteristico e distintivo.

Nel giro di pochi decenni, in tutta l'Europa, inizia la costruzione di edifici religiosi improntati al nuovo stile, caratterizzati in modo sostanziale dalla presenza di finestrature sempre più ampie che sostituiscono ampie parti di muratura perimetrale.

Lo stesso non si può dire dell'architettura militare e civile: per vedere l'elemento finestrato irrompere prepotentemente in queste tipologie edilizie bisogna attendere infatti le prime spinte rinascimentali.

Solo allora, infatti, la lavorazione del vetro si sarebbe evoluta sia per effetto degli sviluppi nella tecnica fusoria sia grazie alle conoscenze acquisite nel campo delle formulazioni, che consentono di ottenere vetri sempre più trasparenti.

Infatti, due erano i problemi nell'utilizzo del vetro quale elemento di riempimento per finestre che gli artigiani vetrai si erano sempre trovati a dover affrontare.



Figura 1.8. Vetrata absidale della Cattedrale di Metz e particolare di formella
(foto di proprietà dell'autore)

Il primo problema era la scarsa purezza dei componenti di base del bagno di fusione: anche piccole quantità di impurità metalliche presenti nella sabbia silicea o nella soda conferiscono al vetro un'intensa colorazione che può risultare utile o desiderabile nella realizzazione di oggetti e ornamenti, ma riduce di molto la quantità di luce che traspare all'interno di una lastra piana.

Solo la scoperta di additivi in grado di sequestrare gli ioni metallici, risalente al XIV secolo, consentì di disporre di paste relativamente trasparenti o comunque con una colorazione omogenea, di solito con residue tonalità di verde.

Il secondo problema con cui confrontarsi era costituito dalle dimensioni massime dei pannelli di vetro che si potevano fondere con ragionevole costanza di spessore senza dover ricorrere a costosi processi di molatura e finitura successivi; senza lastre di dimensione accettabile, la realizzazione di ante mobili, non eccessivamente appesantite dalle giunzioni in piombo, era impossibile.

La tecnica inizialmente utilizzata per ottenere lastre sufficientemente ampie e di spessore regolare prevedeva la soffiatura di un'opportuna quantità di pasta in un cilindro abbastanza lungo, che veniva poi tagliato longitudinalmente e steso su una piastra metallica.

Metodi alternativi consistevano nel depositare una quantità di vetro fuso su un piatto rotante in modo che si spandesse in modo abbastanza regolare; questi tondi venivano poi tagliati e assemblati a formare vetrate di dimensioni accettabili.

In ogni caso, superfici finestrate con ante mobili iniziarono a diffondersi anche in ambito civile, prima presso i ceti più abbienti e successivamente anche nelle case della popolazione comune a partire dal XVI secolo.

Secondo quanto riporta Crowley nel suo *Invention of comfort*, una giuria inglese all'inizio del 1500 considera ancora la presenza di un serramento vetrato “non essenziale” per la realizzazione di un’abitazione; alla fine dello stesso secolo una sentenza di tenore opposto dimostra che l’uso di componenti vetrati ha preso ormai piede presso tutte le abitazioni.

Significativamente, un secolo dopo, sempre in Inghilterra, il numero di finestre di un’abitazione sostituisce il numero dei comignoli per determinare l’importo della tassa sugli immobili, segno inequivocabile che la finestra vetrata era ormai entrata nell’uso comune; per inciso, questa singolare disposizione, che rimase in essere fino al 1851, portò a due conseguenze: la chiusura di vani finestra non necessari o per i quali non si voleva o si poteva pagare la tassa e lo sviluppo di tecniche di fusione in grado di ridurre lo spessore dei vetri, il cui peso era nel frattempo diventato uno dei parametri utilizzati nel calcolo della tassazione.

In Italia, il fervore rinascimentale porta al disegno di notevoli facciate sempre più aperte, soprattutto nei piani alti: nascono precisi canoni architettonici, che dettano forme, dimensioni e posizione delle finestre nella facciata ideale.

Ad esempio, riprendendo il disegno di alcune strutture della Roma imperiale di un arco a tutto sesto affiancato da due tabeazioni a trave, l’architetto Sebastiano Serlio codifica le proporzioni di quella che ancor oggi si chiama *finestra serliana*, diffusamente utilizzata nell’architettura italiana.

Le finestre diventano sempre di più l’elemento che dona carattere e personalità alla costruzione e il loro numero e la loro dimensione aumentano gradualmente fino a occupare la parte preponderante del prospetto viario.

Spesso, la finestra che affaccia sulla pubblica via rappresenta anche l’unico accesso ai piani superiori per i carichi ingombranti quali mobili e masserizie che



Figura 1.9. a) Archetipo della finestra detta serliana (Efeso, Tempio di Adriano) e b) sua trasposizione moderna (foto di proprietà dell'autore)



Figura 1.10. Prospetto viario a Copenhagen: la superficie delle finestre supera quella dei tamponamenti
(foto di proprietà dell'autore)

non possono passare per le scale interne anguste e ripide; le finestre diventano allora più ampie possibili, spesso con una forma caratteristica che realizza un vano di passaggio molto sviluppato in altezza; argani sporgenti dalle facciate a gradoni consentono di issare i carichi dalla quota del piano viario fino all'altezza necessaria; numerosi esempi di facciate di questo tipo si possono trovare in molte città europee e in particolare sono caratteristiche quelle che si affacciano sui canali di Amsterdam.

Gli elementi vetrati sono ancora piccoli e di spessore irregolare, ma il loro assemblaggio in telai in ferro consente realizzazioni eccezionali quali il Crystal Palace che alla fine del XIX secolo caratterizza l'Esposizione internazionale di Londra: qui 293.000 pannelli di vetro sostenuti da una intelaiatura metallica delimitano un enorme spazio chiuso e coperto in grado di ospitare l'evento; il disegno modulare e la tecnica di assemblaggio riducono enormemente i tempi di costruzione e consentono addirittura che la struttura possa essere smontata al termine dell'esposizione per essere ricollocata in una zona meno centrale.

Altre realizzazioni simili vengono costruite in varie parti d'Europa e danno un grosso impulso alla tecnologia inglese delle vetrate, sia per quanto riguarda la parte strutturale in metallo sia per quella trasparente in vetro.

Il legno continua però a essere di gran lunga il materiale più utilizzato nelle normali costruzioni: telaietti di piccole dimensioni, adatti a lastre più facilmente producibili, sono uniti tra loro per formare finestre di dimensione opportuna, composte per lo più da parti fisse con qualche elemento apribile.

Gli spessori sono ridotti al minimo, in quanto le lastre da ospitare sono in genere molto sottili, mentre la sezione frontale è spesso di dimensioni maggiori.

La tenuta all'acqua è affidata a una battuta ricavata sul telaio e la guarnizione è costituita eventualmente da un cordoncino di stoppa alloggiato nel traverso inferiore.

La mobilità dell'anta è assicurata da piccole cerniere in ottone e la chiusura è in genere a chiavistello.

Per consentire maggiori luci di apertura, il disegno dei profili viene progressivamente migliorato, ricavando un incastro a gola di lupo nei montanti e creando una qualche forma di battuta sul profilo inferiore, che rimane in ogni caso ben protetto da un ampio gocciolatoio che sporge verso l'esterno.



Figura 1.11. Ricostruzione di antica finestra a piccoli elementi (Trakay, LT)

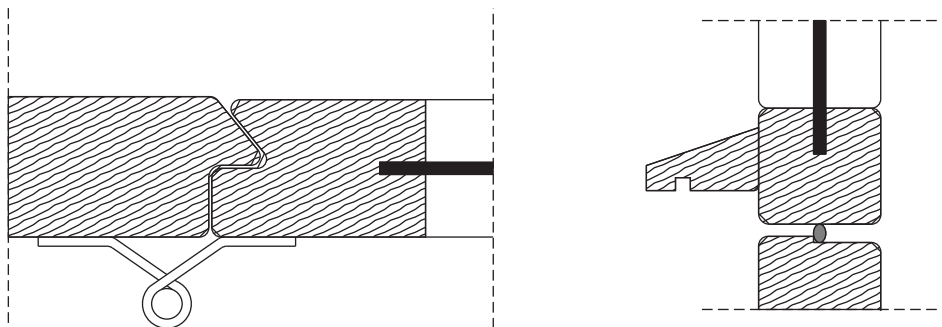


Figura 1.12. Battute a gola di lupo e gocciolatoio in vecchi serramenti

I sistemi di chiusura evolvono prima con l'introduzione di serrature a tavellino dotate di maniglia e successivamente con sistemi a più punti di chiusura, inferiori e superiori, comandati da un meccanismo a cremonese o a cariglione.

Si è già visto che la realizzazione di ampie superfici vetrate con profili in ferro caratterizza l'architettura del XIX secolo, sia quella industriale (opifici, fabbriche)

sia quella infrastrutturale (stazioni ferroviarie e marittime), tanto che il serramento in ferro e vetro è per antonomasia la chiusura della Rivoluzione Industriale.

Per quanto riguarda l'architettura civile, i nuovi sistemi costruttivi basati sull'utilizzo del calcestruzzo armato, che consente di svincolare la parte strutturale da quella di tamponamento, fanno aumentare le superfici apribili o comunque vetrate, che si dispongono spesso in nastri di luce continua attraverso tutta la parete, come nelle realizzazioni di Le Corbusier o di Mies van der Rohe.

Per le correnti realizzazioni civili, all'inizio del '900, compare un nuovo tipo di manufatto oscurante, lo scorrevole avvolgibile: questo tipo di movimentazione risolve il problema dell'ingombro in facciata – tanto più sentito quanto più i singoli appartamenti hanno a disposizione limitati spazi di affaccio e quindi i vani finestrati diventano contigui –, consente soluzioni architettoniche che prevedano riquadrature e modanature esterne delle finestre ed elimina la necessità di oscuranti scorrevoli entro muro, con le relative complessità esecutive e di manutenzione.

La soluzione di avvolgere la cortina oscurante in un apposito cassonetto viene dapprima mutuata dalle serrande per negozi (in francese *claire-voie*, da cui il termine dialettale ancor ben radicato in alcune regioni italiane), ma, a differenza di queste, presenta una cortina sostanzialmente cieca formata da lamelle di legno tra loro unite da gancetti metallici; la naturale evoluzione, con notevole miglioramento di pesi e costi avviene negli anni '70 con l'introduzione di cortine di pvc e di alluminio estruso.

Questo tipo di manufatto non riscuote lo stesso successo in tutti i paesi europei, mentre in Italia la tapparella sostituisce in modo massiccio gli altri sistemi



Figura 1.13. Serramento in ferro di un vecchio opificio ristrutturato



Figura 1.14. Sistemi oscuranti con avvolgimento all'esterno (Evora, POR) (foto di proprietà dell'autore)

oscuranti, soprattutto negli edifici cittadini e, in virtù del costo abbastanza contenuto, anche nell'edilizia popolare, nei paesi con clima freddo o ventoso, la tenuta all'aria è considerata insufficiente e la sua diffusione rimane marginale; al più, eventualmente, se ne preferisce l'applicazione completamente all'esterno, anche se questo comporta un impatto non sempre felice sull'estetica della facciata.

Per risolvere il problema della tenuta all'aria e per migliorare la prestazione complessiva dell'infisso, non è infrequente anche in Italia vedere l'applicazione esterna di un ulteriore serramento vetrato, di solito posto in opera nel corso di interventi di ristrutturazione; questi serramenti esterni hanno in genere il telaio in alluminio e la superficie vetrata più ampia possibile, composta da una lastra semplice.



Figura 1.15. Serramento esterno aggiunto come protezione

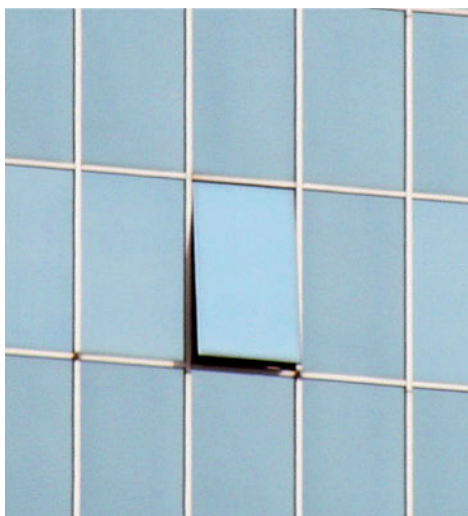


Figura 1.16a-b. Facciata continua con una sola finestrella aperta a tendina



Il monopolio di legno e ferro per la costruzione dei telai non è più assoluto: a partire dal dopoguerra appaiono le prime realizzazioni in alluminio, la cui resistenza agli agenti atmosferici si rivela da subito una caratteristica vincente.

Il materiale è leggero, facilmente lavorabile in profili di sezione opportuna, consente soluzioni molto apprezzate anche sul piano estetico e si sposa in modo naturale con il vetro, nell'evoluzione della *curtain wall* verso le facciate continue. Il secondo materiale che irrompe sulla scena dei profili per serramento è il PVC, che fa la sua comparsa al termine degli anni '60, prima con profili dedicati alle applicazioni meno importanti e successivamente con sistemi completi per serramenti civili e industriali.

Anche il PVC ha come punto di forza la sua inalterabilità nel tempo, ma, a differenza dell'alluminio, le proprietà meccaniche non consentono la realizzazione di manufatti di grandi dimensioni, per cui il suo settore di elezione è quello civile. Le ottime qualità di isolamento termico consentono di utilizzare telai in PVC anche in climi rigidi, dove, al contrario, il serramento con telaio metallico presenta chiari problemi. Non desta alcuno stupore pertanto che la penetrazione di questo materiale come sostituto del legno sia avvenuta più rapidamente e più massicciamente nei paesi nordeuropei.

Parallelamente alla crescita di questi due nuovi materiali per la realizzazione di infissi, coperture vetrate e facciate continue, le applicazioni in ferro che avevano conosciuto il loro massimo sviluppo nei primi anni Cinquanta del XX secolo



Figura 1.17. Finestre in PVC (fonte: archivio Alphacan Spa)