



POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Edile - Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

Anno Accademico 2014 - 2015

**TECNICHE DI RECLADDING PER
L'EDILIZIA OSPEDALIERA ANNI '60 – '70**

Problemi, soluzioni, applicazioni al caso
dell'Ospedale San Carlo Borromeo di Milano

Relatore: Prof. Ing. Angelo Lucchini

Correlatore: Ing. Maria Alice Pizzoccheri

Tesi di Laurea di:

Lorenzo Contini 805490

Sommario

| | |
|---|-----|
| TECNICHE DI RECLADDING PER L'EDILIZIA OSPEDALIERA ANNI '60 – '70 | 1 |
| Sommario..... | 3 |
| Abstract (IT)..... | 5 |
| Abstract (EN) | 7 |
| 01 Introduzione | 9 |
| 1.1 L'esigenza di trasformazione..... | 9 |
| 1.2 La problematica energetica..... | 12 |
| 1.3 La riqualificazione del costruito..... | 17 |
| 02 Le specificità dell'edilizia ospedaliera anni '60 – '70..... | 23 |
| 2.1 L'evoluzione delle tipologie edilizie | 25 |
| 2.2 Le criticità dei metodi costruttivi del Novecento | 33 |
| 03 Il caso di studio: l'ospedale San Carlo Borromeo..... | 43 |
| 3.1 Il complesso ospedaliero | 45 |
| 3.3 L'edificio monoblocco | 47 |
| 3.2 Il piano operativo | 51 |
| 3.4 Le motivazioni e gli obiettivi..... | 53 |
| 3.4.1 Le prestazioni della facciata..... | 66 |
| 3.5 La conoscenza dell'oggetto | 99 |
| 3.5.1 Lettura del contesto..... | 102 |
| 3.5.2 Rilievo fotografico..... | 106 |
| 3.5.3 Ricostruzione dell'evoluzione storica..... | 107 |
| 3.5.4 Rilievo delle caratteristiche tipologiche | 109 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.5.5 | Rilievo delle caratteristiche dimensionali..... | 111 |
| 3.5.6 | Rilievo materico e delle tecnologie costruttive..... | 113 |
| 3.5.7 | Rilievo delle prestazioni residue..... | 117 |
| 3.5.8 | Rilievo dello stato di degrado..... | 135 |
| 04 | Le strategie di intervento per la riqualificazione delle facciate..... | 137 |
| 4.1 | Le possibili strategie di intervento | 138 |
| 4.2 | Condizioni e vincoli progettuali | 182 |
| 4.3 | Ipotesi di intervento | 190 |
| 4.3.1 | Ipotesi 01 | 191 |
| 4.3.2 | Ipotesi 02 | 209 |
| 4.3.3 | Ipotesi 03 | 223 |
| 4.3.4 | Ipotesi 04 | 231 |
| 05 | La manutenzione dell'involucro edilizio | 247 |
| 5.1 | Pulizia..... | 250 |
| 5.2 | Manutenzione | 252 |
| 5.3 | Operazioni eseguite in quota | 257 |
| 06 | Valutazioni economiche..... | 259 |
| 07 | Confronto | 273 |
| | Conclusioni..... | 277 |
| | Bibliografia e sitografia..... | 279 |
| | Indice delle figure | 283 |
| | Indice delle tabelle..... | 287 |
| | Indice dei grafici..... | 289 |
| | Indice delle schede | 291 |
| | Allegato A Elaborati grafici..... | 293 |
| | Allegato B Computo metrico delle ipotesi di intervento..... | 299 |

Abstract (IT)

Il tema affrontato nel presente elaborato è l'indagine di metodi per la riqualificazione delle chiusure verticali di un edificio ad uso ospedaliero, rappresentativo della porzione del patrimonio edilizio italiano edificato tra gli anni Sessanta e Settanta il cui involucro non è rispondente agli odierni standard prestazionali.

Lo scopo è quello di fornire, attraverso l'analisi e lo sviluppo progettuale applicati al caso di studio, delle linee guida valide per affrontare con metodo il progetto di redadding di fabbricati di edilizia ospedaliera ma anche, più genericamente, di edifici caratterizzati da un elevato grado di complessità derivante dalla loro altezza, estensione o forma.

Dopo una trattazione sintetica che illustra quando e come è opportuno effettuare un intervento di redadding e una breve analisi riguardo alle specificità delle strutture ospedaliere e alle criticità dei metodi costruttivi del Novecento, viene presentato il caso di studio – l'edificio Monoblocco dell'Ospedale San Carlo Borromeo di Milano – e riproposto il percorso di conoscenza dell'oggetto effettuato, finalizzato all'acquisizione delle informazioni necessarie per il progetto di redadding.

Fissati gli obiettivi prestazionali da raggiungere, analizzata la facciata esistente per quanto concerne lo stato di fatto tecnologico, materico e prestazionale, viene fornita una panoramica sullo stato dell'arte delle principali strategie di intervento, sulla base della quale vengono definite quattro proposte progettuali di riqualificazione applicate all'oggetto in esame, differenti per complessità tecnologica, esecutiva e per impegno economico:

- Cappotto su chiusura esistente
- Facciata ventilata su chiusura esistente
- Nuova chiusura con facciata ventilata
- Nuova chiusura con facciata continua a cellule prefabbricate

Le ipotesi sono state analizzate dal punto di vista tecnologico, prestazionale, economico, oltre che negli aspetti concernenti l'integrazione architettonica degli impianti e gli aspetti manutentivi, al fine di identificare la soluzione ottimale per il contesto di applicazione.

Il risultato è stata l'individuazione di due strategie di redadding alternative – la seconda e la quarta – la cui validità è funzione della tensione produttiva che connoterà il cantiere nel suo complesso.

Abstract (EN)

The issue addressed in the present study is the investigation of methods for the upgrading of the façades of an hospital building that is representative of the Italian building stock born between the sixties and seventies, whose envelope does not meet today's performance standards.

The purpose is to provide, through the analysis and the design development applied to the case study, the guidelines to deal systematically with the redadding of hospital buildings but also, in general, with buildings characterized by high complexity deriving from their height, extent or shape.

After a concise explication on when and how a redadding project should be carried out and a brief analysis regarding hospital buildings and the issues of the construction methods of the twentieth century, the case study is presented: the main building "Monoblocco" of San Carlo Borromeo hospital, in Milano.

The study process of the object, aimed at acquiring the necessary information for the redadding project, is reported together with the performance targets to be achieved and the analysis of the existing façade with regard to the actual status of technology, materials and performance levels.

An overview on the main strategies of intervention is then provided and four project proposals have been developed on the object under examination, different in technological complexity, executive complexity and financial commitment:

- ETICS cladding on the existing façade
- Rain screen cladding on the existing façade
- New façade with rain screen cladding
- New façade with unitized curtain wall cladding

The hypothesis have been analyzed concerning technology, performance and economics, but also architectural integration of the building systems and maintenance aspects, in order to identify the optimal solution for the application context.

The result was the identification of two redadding alternatives - the second and the fourth – to be chosen depending on the productive tension of the building site as a whole.

01

Introduzione

1.1 L'esigenza di trasformazione

Appare inevitabile, al giorno d'oggi, la condizione di dover lavorare in stretto rapporto con l'esistente. Che le motivazioni siano di tipo architettonico (modificazione delle esigenze funzionali, obsolescenza di immagine, esigenze di restyling), di tipo urbanistico (limitazione del consumo di suolo, esigenze di riqualificazione e ricucitura del tessuto urbano, modificazione della dislocazione delle funzioni) o di tipo tecnologico (inadeguatezza materiale, decadimento prestazionale), sempre più spesso i progettisti sono chiamati a operare sul costruito. Il settore del recupero, che fino a pochi anni fa era un settore di nicchia nonché materia specialistica applicata limitatamente a un patrimonio architettonico contraddistinto da un particolare valore storico-culturale, si è oggi ampliato a una grande parte degli interventi nel campo delle costruzioni.

Sarebbe infatti erroneo pensare che questo tipo di operazione possa essere riservata agli edifici che si distinguono per il pregio architettonico – conseguentemente interessati, nella maggior parte dei casi, da interventi di restauro o recupero conservativo più che da operazioni di riqualificazione o rifunionalizzazione – o a quei casi dove la rendita immobiliare giustifichi l'investimento. Al contrario, la grande maggioranza di immobili che necessitano di sostanziali interventi di aggiornamento o modifica è costituita da edifici di normale se non scarsa valenza estetica e architettonica: si pensi ad esempio ai complessi industriali o all'edilizia residenziale collettiva dei quartieri edificati durante le fasi espansive delle città italiane tra gli anni '60 e '70. Sempre più frequentemente vi è l'esigenza di intervenire con azioni progettuali su questo patrimonio "minore", costituito da fabbricati apparentemente banali ma, nel più dei casi, non più rispondenti ai requisiti minimi di qualità funzionale-spaziale, ambientale o tecnologica.

Se nel passato la risposta a questa problematica è stata lo smembramento del tessuto storico degradato e la sua sostituzione con nuovi fabbricati, oggi la demolizione e ricostruzione secondo un'immagine alternativa è una soluzione, ma certamente non l'unica né la migliore a priori che, anzi, spesso risulta poco praticabile sia perché compromette la salvaguardia dell'identità del tessuto urbano sia perché poco in linea coi principi di un approccio sostenibile: recuperare invece che demolire e ricostruire significa limitare il consumo di suolo, di materie prime e di energia, nel presente e nel futuro, e assolvere anche al non meno importante compito di preservare l'energia utilizzata in passato, chiamata "embodied energy" o "energia incorporata", ovvero la somma di tutte le risorse utilizzate per la realizzazione dell'edificio – dalla produzione dei materiali e prodotti edili a partire dall'estrazione materie prime fino alle operazioni di cantiere e messa in opera vera e propria – oltre che quella legata allo smaltimento dei prodotti finali della demolizione.

È invece importante osservare come la riqualificazione tesa all'aggiornamento prestazionale possa anche servire, per i fabbricati edificati negli anni del boom edilizio e dell'espansione esponenziale e incontrollata delle periferie delle grandi città, da opportunità per un'operazione più ampia, utile non solo al ripristino della qualità e della funzionalità degli spazi, ma anche a un processo di valorizzazione architettonica e di rinnovamento urbanistico.¹ È il caso, ad esempio, del progetto degli architetti tedeschi Stefan Forster Architekten per la riqualificazione di un grande quartiere di edilizia economica popolare costruito in Germania negli anni '70 con le tecnologie della prefabbricazione pesante.

Figura 1 – Stefan Forster Architekten, Riqualificazione di un quartiere di edilizia economica popolare, Leinfelden, Germania (www.stefan-forster-architekten.de)



¹ Grecchi, M. 2008, *Il recupero delle periferie urbane: da emergenza a risorsa strategica per la rivitalizzazione delle metropoli*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Se quando si interviene su un edificio significativo, ai vincoli insiti nell'operazione di riqualificazione (sito, orientamento, forma e dimensione dell'immobile già determinati) si sommano quelli di tutela storico-artistica del bene, l'intervento di recupero sul patrimonio minore lascia al progettista un maggior numero di gradi di libertà, assicurando maggiori margini di miglioramento prestazionale: sono queste, infatti, le operazioni che coinvolgono le più importanti trasformazioni sull'involucro, sulla volumetria o sugli impianti.

D'altronde la concezione dell'edificio come organismo utile e flessibile ha sempre spinto i progettisti, dall'antichità a oggi, a ripensare l'eredità dei propri predecessori adattandola alle esigenze della società del proprio tempo, talvolta spinti dall'urgenza o dall'utilitarismo con modificazioni prive di scrupoli, ma comunque molto vitali.



Figura 2 - Teatro di Marcellus a Roma²
(www.homolaicus.com,
www.laboratorioroma.it)

Oggi non possiamo fare a meno di tenere in riguardo l'importanza della conservazione della memoria del passato ed è auspicabile un approccio responsabile e graduale, di rispetto e dialogo nei confronti dell'esistente senza tuttavia farsi assalire dal timore di perdere più di quanto non si possa guadagnare:

*[la trasformazione] è il valore assoluto necessario a garantire la vivacità, lo scambio e la vivibilità che sono alla base dell'idea stessa di città e di architettura. Non va vista come qualcosa di negativo e maligno da cui difendersi a priori, ma come una forza che, se ben pilotata e indirizzata, può dare i suoi frutti e dimostrarsi benigna.*³

² Il teatro di Marcellus è un teatro della Roma antica, iniziato da Giulio Cesare e completato da Augusto già nel 17 a.c. quando venne utilizzato in occasione dei ludi secolari. Restaurato da Vespasiano e da Alessandro Severo, era ancora in funzione nel IV secolo, dopodiché iniziò a subire profonde trasformazioni strutturali. Data la posizione elevata nei pressi del Tevere, in un punto in cui era facile il guado, nel XII secolo fu mutato in fortezza medievale, inizialmente di proprietà dei Fabi e poi dei Pierleoni, quindi in palazzo signorile dai Savelli, nel Cinquecento: furono loro a far realizzare da Baldassarre Peruzzi il palazzo che si vede ancora oggi al di sopra delle arcate. Nel XVIII secolo ne divennero proprietari gli Orsini, duchi di Gravina, fino agli espropri degli anni trenta e ai successivi lavori di liberazione, con i quali furono eliminate le numerose botteghe e abitazioni che occupavano le arcate e lo spazio circostante. (www.laboratorioroma.it)

³ Zambelli, E., Brandolini, S., Masera, G., Nezirosi, D. & Ruta, M. 2004, *Ristrutturazione e trasformazione del costruito: tecnologie per la rifunionalizzazione e la riorganizzazione architettonica degli spazi*, Il Sole 24 Ore, Milano

1.2 La problematica energetica

Sostenibilità
energetica

Se fino a non molti anni fa la disponibilità di abbondante energia a basso costo era considerata scontata, attualmente tutti sono consapevoli del rilievo che la problematica energetica riveste. Il modello di sviluppo legato al costante incremento di produzione e consumo di energia, ritenuto l'unico possibile fino alla prima crisi energetica mondiale degli anni Settanta, è stato oggi ampiamente superato in favore di un approccio più responsabile nei confronti della limitatezza delle risorse energetiche presenti sulla terra e del crescente inquinamento ambientale legato alla produzione e al consumo di energia. I problemi posti dalla scarsità e dall'uso efficiente delle forme di energia disponibili hanno portato a guardare allo sviluppo economico futuro in un'ottica di sostenibilità, ovvero direzionando gli investimenti, lo sviluppo tecnologico, i cambiamenti istituzionali in modo tale da soddisfare i bisogni delle attuali generazioni, evitando di compromettere la capacità delle future di soddisfare i propri.

Risulta quindi evidente come tale approccio non possa non coinvolgere il settore edilizio: nel panorama complessivo, il settore civile (residenziale più terziario, che comprende uffici, esercizi commerciali, alberghi, ristoranti, scuole, ospedali, centri sportivi, ecc. a esclusione degli edifici industriali) è il primo nel consumo di risorse da fonti energetiche convenzionali, superando anche il settore industriale e di quello dei trasporti, con un assorbimento dovuto al riscaldamento, all'illuminazione, alle apparecchiature e attrezzature che si attesta, mediamente in Europa, intorno al 40%⁴. Se il problema è generale, per alcuni Paesi che, come l'Italia, importano la maggior parte delle risorse energetiche, gli elementi di criticità si acutizzano, tanto che l'energia diventa una vera e propria emergenza. Per far fronte a questa problematica e ridurre l'attuale dispendio è evidente come non sia sufficiente intervenire solamente sull'offerta di energia ma sia necessario agire anzitutto sulla domanda, ovvero sulle modalità con le quali tale energia viene consumata.

Evoluzione normativa

Per questo motivo, a seguito della crisi energetica del 1973, nacque il primo strumento normativo nazionale vincolante a orientare il mercato delle costruzioni verso una maggiore sostenibilità energetica, la **legge n. 373/1976** "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici" che per la prima volta introduceva il principio del risparmio energetico.

La successiva legge n. 9/1991 dedicata agli impianti per la produzione di energia elettrica e la **legge n. 10/1991** "Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", furono emanate con l'obiettivo di razionalizzare

⁴ Dall'Ò, G., Galante, A. & Ruggieri, G. 2008, *Guida alla valorizzazione energetica degli immobili: metodi, strumenti e tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*, Il Sole 24 Ore, Milano

l'uso dell'energia per la dimattizzazione invernale ma attuate solo in parte e con poca convinzione.

A partire dal 2000 i provvedimenti nazionali in materia di efficienza energetica si collocarono all'interno di un disegno più ampio e a lungo termine, volto ad armonizzare le strategie dei paesi dell'Unione Europea espresse nella direttiva EPBD (Energy Performance Building Directive). Il **primo Libro Verde** sull'efficienza energetica pubblicato nel 2000⁵ – riferimento tecnico-scientifico della Direttiva – delinea la strategia a lungo termine per avviare un processo di trasposizione locale dell'approvvigionamento energetico al fine di ridurre la dipendenza critica dai Paesi esteri all'UE e raggiungere una condizione di maggiore stabilità economico-politica. Avendo pochi margini di manovra per un aumento dell'offerta di energia a livello comunitario, essa mira a ribilanciare il mercato tramite una chiara azione sulla politica della domanda, ovvero promuovendo il contenimento dei consumi nel settore degli edifici e dei trasporti. Fu quindi il recepimento della **Direttiva 2002/91/CE** sul rendimento energetico in edilizia tramite il **D.Lgs. n. 192/2005**, modificato dal **D.Lgs. n. 311/2006**, a introdurre la certificazione energetica degli edifici come nuovo strumento per la razionalizzazione dell'uso di risorse non rinnovabili: determinando una metodologia di calcolo del rendimento energetico degli edifici codificata a livello nazionale o regionale, potevano per la prima volta essere imposti dei limiti massimi all'indice di prestazione energetica per la dimattizzazione invernale, da applicare sia a edifici di nuova costruzione che a edifici esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni. L'art. 17 del D.Lgs. n. 192/2005, "clausola di cedevolezza", chiarisce inoltre come le Regioni possano recepire in modo diretto la Direttiva EPBD o applicare una normativa di attuazione regionale che definisca requisiti minimi di efficienza energetica ancora più restrittivi rispetto a quelli derivanti dall'ordinamento nazionale e comunitario. Fu questo il caso di Regione Lombardia che, per prima a livello nazionale, con la **L.R. n. 24/2006** anticipava di due anni l'entrata in vigore dei requisiti prestazionali minimi previsti a livello nazionale e definiva una propria procedura di calcolo per la certificazione energetica.

Grazie alla certificazione, oltre ad essere applicate all'ambito edilizio le strategie di efficienza energetica volte a conseguire gli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto del 1997 per la riduzione delle emissioni di elementi inquinanti quali CO₂ e altri gas serra, era per la prima volta "visibile" la qualità energetica del costruito non solo ai tecnici del settore, ma anche a un generico acquirente o affittuario, influenzandone le scelte di mercato. Infatti, seppur altri sono i fattori che determinano il valore di un immobile – quali ad esempio la localizzazione, l'esposizione, le pertinenze, le finiture, lo stato di conservazione – la certificazione è utile a far comprendere da un lato quali sono i consumi di combustibile e quindi i costi di gestione di un immobile, dall'altro quali sono i margini di miglioramento raggiungibili tramite interventi tecnici o gestionali che consentano di limitare i consumi.

⁵ Commissione delle Comunità Europee, Libro Verde 2000, *Verso una strategia europea di sicurezza dall'approvvigionamento energetico*, Bruxelles

La **Direttiva 2006/32/CE** sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e la sua attuazione a livello nazionale, il **D.Lgs. n. 115/2008**, ebbero lo scopo di

- fornire gli obiettivi indicativi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare gli ostacoli e le imperfezioni del mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia
- creando condizioni favorevoli alla costituzione e alla promozione di un mercato di servizi energetici, e alla fornitura di programmi di risparmio energetico e di altre misure volte a migliorare l'efficienza energetica agli utenti finali

insistendo cioè sulla necessità di ampia divulgazione e informazione degli operatori del settore sugli strumenti, sui meccanismi, sui quadri finanziario e giuridico per la promozione dell'efficienza energetica, e che questi ultimi fungano da tramite per l'informazione degli utenti finali.

Lo sviluppo normativo successivo è stato sostanzialmente caratterizzato da un progressivo aggiornamento dei limiti prestazionali ammessi dalla legislazione nazionale, sempre più restrittivi (si pensi ai valori di trasmittanza termica U dei componenti di involucro introdotti dal D.Lgs. 192/2005, limitati dal D.Lgs. 311/2006 e confermati dal D.P.R. 59/2009 ma ulteriormente ridotti ai fini dell'accesso agli sgravi fiscali come da D.L. 63/2013 convertito nella L. n. 90/2013), volto al raggiungimento dell'obiettivo imposto dalla **Direttiva 2010/31/UE** di realizzazione di soli edifici a energia quasi zero a partire dal 31 dicembre 2018 se pubblici, dal 31 dicembre 2020 se privati.

Infine, le più recenti normative comunitaria (**Direttiva 2012/27/UE**) e nazionale (**D.L. n. 145/2013** "Destinazione Italia" e **L. n. 9/2014**) contengono novità riguardanti un programma per rendere più efficiente il patrimonio edilizio pubblico, gli obblighi di diagnosi energetica per grandi aziende energivore.

*La natura del
patrimonio edilizio
italiano*

A fronte del complesso quadro normativo, resta quindi il problema caratteristico del patrimonio edilizio italiano, costituito per i tre quarti da edifici realizzati prima dell'entrata in vigore della legge n. 373/76, al quale la mentalità nazionale non viene incontro: la casa in Italia è da sempre percepita come un bene duraturo, come un investimento di tutti ⁶ e questa prospettiva ha orientato le tipologie e i metodi costruttivi verso tecnologie solide e durature, anche se poco efficienti dal punto di vista energetico, caratterizzate da un ciclo di vita ben più lungo rispetto agli immobili in altri Paesi. La rielaborazione dei dati dei censimenti generali della popolazione e delle abitazioni dell'ISTAT dell'ultimo secolo effettuata da Dall'Ò, Galante e Ruggieri ⁷, che mette in relazione il numero delle abitazioni italiane con l'epoca di costruzione (Tabella 1), evidenzia infatti come il 75% delle residenze sia stato costruito in un periodo in cui

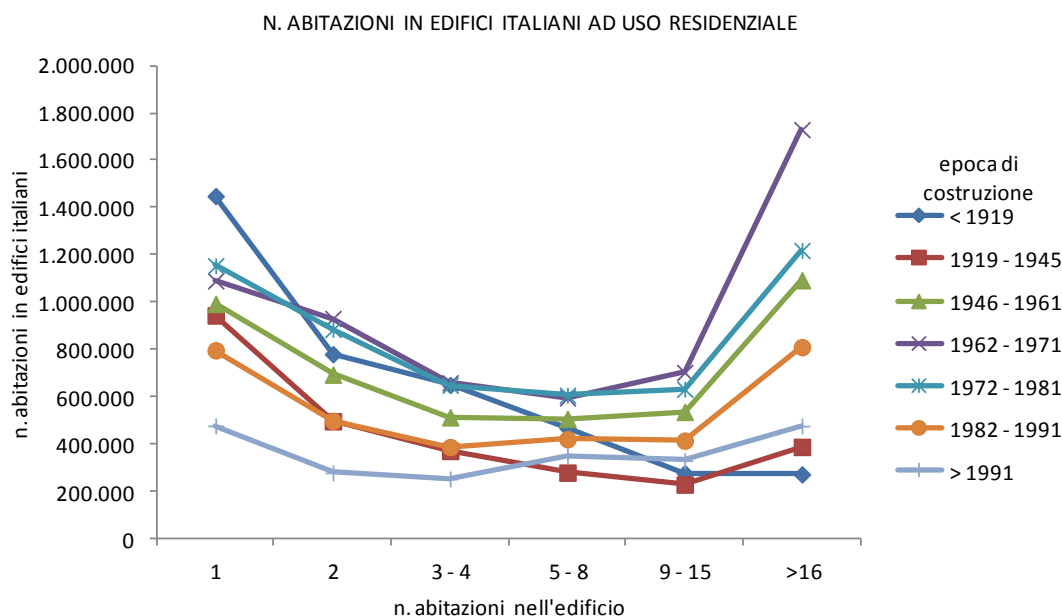
⁶ Nel censimento del 2001 sono risultate oltre 15 milioni le abitazioni occupate da persone residenti in proprietà, circa il 50% del totale.

⁷ Dall'Ò, G., Galante, A. & Ruggieri, G. 2008, *Guida alla valorizzazione energetica degli immobili: metodi, strumenti e tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*, Il Sole 24 Ore, Milano

non era cogente alcun tipo di norma in ambito di rendimento energetico. Contemporaneamente emerge la natura marcatamente diffusa del nostro patrimonio immobiliare, costituito per il 42% da edifici mono e bifamiliari, ovvero dalla tipologia edilizia che risulta la meno efficiente dal punto di vista energetico a causa delle maggiori dispersioni attraverso l'involucro per via del più alto rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato.

| N. ABITAZIONI IN EDIFICI ITALIANI AD USO RESIDENZIALE PER EPOCA DI COSTRUZIONE E NUMERO DI ALLOGGI | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----|
| epoca di costruzione | numero di alloggi nell'edificio | | | | | | totale | |
| | 1 | 2 | 3 - 4 | 5 - 8 | 9 - 15 | >16 | | |
| < 1919 | 1.448.689 | 780.026 | 649.496 | 467.402 | 276.661 | 271.293 | 3.893.567 | 14% |
| 1919 - 1945 | 943.834 | 496.094 | 370.514 | 278.667 | 228.277 | 387.583 | 2.704.969 | 10% |
| 1946 - 1961 | 992.693 | 693.408 | 512.722 | 506.505 | 535.654 | 1.092.900 | 4.333.882 | 16% |
| 1962 - 1971 | 1.090.224 | 930.896 | 658.883 | 595.151 | 702.352 | 1.729.877 | 5.707.383 | 21% |
| 1972 - 1981 | 1.154.008 | 884.432 | 648.226 | 606.093 | 631.516 | 1.218.665 | 5.142.940 | 19% |
| 1982 - 1991 | 796.196 | 497.944 | 386.837 | 419.996 | 413.948 | 809.873 | 3.324.794 | 12% |
| > 1991 | 476.444 | 278.056 | 251.915 | 349.947 | 329.309 | 475.674 | 2.161.345 | 8% |
| totale | 6.902.088 | 4.560.856 | 3.478.593 | 3.223.761 | 3.117.717 | 5.985.865 | 27.268.880 | |
| | 25% | 17% | 13% | 12% | 11% | 22% | | |

Tabella 1 – Numero di abitazioni in edifici italiani ad uso residenziale per epoca di costruzione e n. di alloggi



È quindi evidente che in un contesto nel quale solo il 25% dell'edilizia residenziale risale a un'epoca successiva alle prime normative volte a minimizzare gli sprechi – peraltro inizialmente applicate di rado per scarsità di necessari decreti attuativi – solo una minima frazione del patrimonio edilizio italiano sia nata con una qualche attenzione ai consumi energetici. A proposito di consumi, infatti, circa l'80% dell'energia utilizzata nel settore

residenziale è da ricondurre a usi termici (di cui il 70% al riscaldamento degli ambienti e il 10% al riscaldamento dell'acqua sanitaria), il 15% ad altri usi elettrici e solo il 5% agli usi della cucina. Inoltre, circa il 20% degli usi elettrici va a coprire un fabbisogno che in realtà è termico (riscaldamento, acqua calda, preparazione dei cibi) costituendo uno spreco inaccettabile.⁸

Un grande margine di miglioramento nel breve e medio termine è dunque riconoscibile nella riqualificazione dello stock edilizio esistente, strategia sicuramente più incisiva in Italia che in altri Paesi europei dove prevale la logica demolizione-ricostruzione con un tasso di ricambio tradizionalmente più elevato: nel nostro paese una strategia che dovesse puntare esclusivamente sui nuovi edifici sarebbe poco efficace a fronte di un parco edilizio datato e contraddistinto da un tasso di turnover molto scarso.

*La riqualificazione
come valorizzazione*

Se il termine *risparmio* utilizzato inizialmente per trattare di problematiche energetiche era già stato soppiantato dalla più positiva *efficienza*, che evidenziava come l'obiettivo di ridurre gli sprechi fosse raggiungibile senza intaccare il comfort degli utenti, oggi si dovrebbe parlare di *valorizzazione energetica*, intendendo gli interventi di riqualificazione degli immobili non solo come risposta alla scarsità di risorse ma anche come strategia di mercato. È importante non guardare all'efficienza energetica come mera imposizione dall'alto di una regola da rispettare, come se riguardasse l'interesse pubblico dell'ente normatore e non il beneficio privato del cittadino utente, ma come investimento che, grazie al risparmio che genera, può dare un tasso di interesse tanto maggiore quanto maggiore è la bolletta energetica.

⁸ Dall'Ò, G., Galante, A. & Ruggieri, G. 2008, *Guida alla valorizzazione energetica degli immobili: metodi, strumenti e tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*, Il Sole 24 Ore, Milano

1.3 La riqualificazione del costruito

Alla luce di quanto detto riguardo al quadro normativo vigente e in previsione della sua futura evoluzione, rivolti verso uno scenario nel quale tutti gli edifici, di nuova costruzione e non, raggiungano lo standard di consumo netto di energia nullo, è evidente come il progetto di riqualificazione di un fabbricato sia da affrontare in prima istanza dal punto di vista energetico.

Non si dimentichi tuttavia che un progetto di riqualificazione nasce generalmente per rispondere a un ventaglio di esigenze solitamente più ampio, generatesi perché l'edificio, al pari di un qualunque essere vivente, invecchia. Qualunque sistema, per effetto degli agenti esterni o delle modalità d'uso degli ambienti subisce un processo lento ma inesorabile di decadimento prestazionale. Se è dunque il trascorrere del tempo la causa dell'intervento di ripristino del livello di qualità dell'immobile, possiamo individuare diversi scenari di degrado:

L'obsolescenza edilizia

Obsolescenza funzionale:

dovuta a modificazioni del modello d'uso dell'edificio (quindi della dislocazione delle funzioni già esistenti all'interno di esso), del tipo di utenza (quindi delle funzioni stesse), o dei requisiti minimi necessari al corretto svolgimento di tali funzioni (quindi delle caratteristiche architettoniche e impiantistiche da esse richieste) necessita la riorganizzazione dell'assetto spaziale e dimensionale. La risposta a questa problematica consiste generalmente nella modificazione dei volumi esistenti tramite aggiunte (corpi ascensore, corpi scala, balconi, sopralzi, colonne impiantistiche, ecc.), riduzioni o riarrangiamenti.

Obsolescenza tecnologica:

può essere caratteristica della struttura, dell'involucro o degli impianti. Il primo caso può ad esempio derivare da cambi della destinazione d'uso o dei livelli di sicurezza previsti dalle norme, quindi delle prestazioni richieste alla struttura, ma anche da azioni statiche o ambientali che ne causino un degrado. La soluzione sarà dunque un progetto di risanamento o adeguamento statico dello scheletro portante dell'edificio. Per quanto riguarda l'involucro, l'obsolescenza può ad esempio derivare dall'uso di tecnologie di bassa qualità e inadeguate alla vita utile prevista per l'edificio (si pensi ad esempio a quelle tipiche degli edifici costruiti nel secondo dopoguerra sotto la spinta dettata dall'urgenza di soddisfare velocemente e con pochi mezzi e economici la forte esigenza di abitazioni), o più generalmente da soluzioni valide in riferimento all'epoca in cui sono state progettate ma oggi inadatte a garantire i livelli di prestazione minimi. La conseguenza sono situazioni di discomfort ambientale e scarsa qualità energetica, risolvibili con interventi per macroaree (facciate, serramenti, copertura, ecc.) per integrare le tecnologie esistenti con nuovi strati funzionali e tecnologie evolute oppure procedendo alla sostituzione integrale di tali elementi tecnici. Se l'obsolescenza coinvolge

infine l'impianto mal funzionante e quindi non in grado di garantire il comfort ambientale o inadeguato sul piano normativo, della sicurezza, delle emissioni, ecc. la soluzione prevede generalmente la sostituzione dei vecchi componenti e l'introduzione di sistemi che sfruttino fonti rinnovabili per produrre energia.

Obsolescenza di immagine:

può essere dovuta alla modesta qualità figurativa dell'edificio, al decadimento estetico dei materiali di finitura o necessità di restyling della connotazione architettonica dell'immobile per fini commerciali. Il primo caso è ad esempio quello del sopracitato parco immobiliare edificato negli anni del boom economico successivo alla seconda guerra mondiale che, per via delle peculiarità morfologiche e tipologiche dei sistemi di prefabbricazione pesante, sono oggi causa di degrado estetico del tessuto urbano. L'ultimo caso citato potrebbe invece essere quello di aziende o attività commerciali la cui sede, punto vendita o stabilimento produttivo abbia un'incidenza sul diente anche a livello estetico: si pensi per esempio alla spiccata riconoscibilità degli stabilimenti IKEA resa possibile grazie al semplice ma caratteristico involucro giallo e blu o al redadding dello store Geox di via Torino a Milano, il cui prospetto ricoperto di lastre in acciaio inox forate e movimentate da motori computerizzati interpretano e riflettono i valori dell'azienda di leggerezza, stile e naturalezza, diventando esso stesso manifesto della filosofia basata su "la scarpa che respira". È il caso di società e aziende che puntano sul rinnovamento dell'involucro edilizio non solo per motivi prestazionali, ma anche per motivo di visibilità, prestigio, strategie di marketing o volontà di dare una certa immagine all'azienda (solidità, modernità, coinvolgimento nelle tematiche di salvaguardia ambientale, ecc.).

Figura 3 – Esempi di involucro funzionale all'attività commerciale all'interno dell'edificio. Punto vendita Ikea e store Geox in via Torino a Milano.



La soluzione a tale tipo di obsolescenza si può identificare ancora una volta in aggiunte, riduzioni o riarrangiamenti dell'organismo edilizio, che tuttavia richiedono nella maggior parte dei casi anche un aggiornamento della pelle dell'edificio. Per ovvie ragioni è auspicabile che l'intervento di ristrutturazione estetica sia in grado di dare nuova immagine a edifici ormai

obsoleti tramite soluzioni tecniche che contemporaneamente apportino migliorie in termini prestazionali.

Che esso consista in una modificazione o in una sostituzione delle facciate esistenti, a eccezione di quei casi appena citati in cui l'intervento è finalizzato a dare nuova immagine a un fabbricato, è chiaro come il dibattito da sempre aperto sulla filosofia architettonica da adottare non sia un punto irrilevante: mimetismo e conservazione o riplasmazione e trasformazione? Non si vuole in questa sede affrontare temi così inesauribilmente discussi: come già chiarito, non si questionerà sull'alterabilità o meno di edifici dotati di particolare pregio architettonico o storico, ma si tratterà delle architetture minori ormai obsolete, che meritano di essere riadattate funzionalmente e costruttivamente per una nuova utilità. Sarà allora possibile, in questo caso, metter mano sulla conformazione architettonica dell'oggetto dell'intervento per riportarlo in condizioni di efficienza tramite un progetto globale che spesso volte richiede ricomposizioni architettoniche integrali. Starà dunque alla sensibilità del progettista riconoscere la fattibilità di un intervento di rimodellazione completa, raccomandabile qualora l'edificio in questione venisse dichiarato anonimo se non addirittura sgradevole, o di un più cauto intervento che dialoghi col passato, laddove l'oggetto conservasse una qualità estetica ancora attuale ma non un'altrettanta buona qualità costruttiva o prestazionale. In un'ottica più conservatrice, il processo di riqualificazione punterà in questo caso alla conciliazione tra innovazione e preservazione, rinnovamento e salvaguardia, trasformazione delle tecnologie esistenti senza dimenticare la concezione originaria dell'oggetto da riprogettare.

È poi possibile che eventi non prevedibili accelerino il decadimento prestazionale: si tratta in questo caso di situazioni di **patologia edilizia** che richiedono un intervento immediato per bloccare il fenomeno e rimuoverne le cause. La discriminante più evidente tra una condizione di invecchiamento naturale e una patologica è infatti il tempo: mentre il primo caso sottende la possibilità di prevedere l'evoluzione che il fabbricato subirà nel tempo, il caso di fenomeni patologici è caratterizzato dall'improvvisa nascita di situazioni impreviste legate ad agenti esterni quali eventi eccezionali, piuttosto che a errori di progettazione, esecuzione, uso improprio o erronea manutenzione dell'edificio. In questi casi è necessario, prima del progetto di riqualificazione, percorrere un processo di diagnosi per individuare, a partire dal rilievo dell'anomalia visibile, i difetti che hanno causato il guasto e poter individuare la tecnica più adatta per l'intervento di risanamento.

In questa sede, tuttavia, non si tratterà di questo tipo di interventi: essi sono infatti concepiti per ripristinare le prestazioni e la funzionalità originarie dell'elemento in questione e non per apportare un incremento al suo livello prestazionale e qualitativo. Possono dunque essere inquadrati più precisamente nell'ambito delle materie che trattano di diagnostica e ripristino di patologie edilizie o della manutenzione, certamente ampie e complesse, per le quali si preferisce demandare l'approfondimento a testi specifici. Si suppone quindi in questa trattazione di dover operare in situazioni di "normale" obsolescenza o comunque a

La patologia edilizia

risanamento avvenuto, fermo restando il fatto che naturalmente alcune delle strategie in seguito trattate in seguito potrebbero essere la soluzione per il risanamento delle anomalie presenti, ma non è questo il loro scopo principale.

L'approccio integrato

Sebbene, come appena visto, le motivazioni che portano al progetto di riqualificazione di un edificio siano di svariata natura, nella maggior parte dei casi alcuni o addirittura tutti gli scenari illustrati sono concomitanti. Non è dunque pensabile affrontare l'operazione adottando un'unica soluzione tecnologica, ma è evidente la necessità di un approccio integrato tra interventi di tipo attivo e passivo, cioè concernenti le dotazioni impiantistiche o l'involucro edilizio: tramite la riqualificazione delle facciate sarà possibile ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio, mentre gli interventi sugli impianti consentiranno di produrre la residua parte di energia richiesta con la massima efficienza ovvero il minimo spreco. L'organismo edilizio è infatti costituito da un insieme di parti che concorrono in modo diverso al suo funzionamento che nel complesso sarà tanto più efficiente quanto più ognuna di esse assolve correttamente al proprio compito. L'intervento ottimale richiederà quindi di lavorare su tutti i livelli, adottando strategie diversificate ma tutte finalizzate all'aggiornamento prestazionale e alla riduzione della dipendenza energetica.

L'importanza che un intervento non sia fine a se stesso ma parte di una programmazione generale che possa anche essere attuata in tempi successivi risiede anche nella considerazione degli effetti che il singolo intervento può avere se non è parte di un "pacchetto" coerente di operazioni concatenate. Per conseguire un esito ottimale a livello di prestazioni e comfort, infatti, riqualificare un singolo aspetto dell'edificio può non essere sufficiente ma, anzi, controproducente. Si pensi ad esempio a un intervento sull'isolamento termico dell'involucro edilizio senza un'azione sulla regolazione dell'impianto: le dispersioni saranno ridotte ma, se il sistema di regolazione dell'impianto non è in grado di rilevare le differenti condizioni ambientali, il maggiore isolamento porta a un incremento della temperatura negli ambienti climatizzati, e quindi a situazioni di discomfort, anziché a un risparmio. Oppure si consideri un intervento che prevede la sostituzione dei serramenti esistenti, magari vecchi o in cattivo stato di conservazione, con serramenti nuovi la cui permeabilità all'aria è sicuramente inferiore: tale differenza può generare condizioni ambientali critiche per quanto riguarda l'umidità degli ambienti interni se la ridotta ventilazione non è compensata dall'installazione di un nuovo sistema di ventilazione meccanica.

Se per questi motivi è chiara l'importanza di programmare un intervento coerente che tocchi parallelamente sia i sistemi impiantistici che la pelle dell'edificio, è anche vero che l'operazione di valorizzazione energetica di un fabbricato non può che partire dall'aggiornamento prestazionale dell'involucro, qualora i due tipi di intervento fossero programmati e realizzati in tempi successivi ad esempio per motivi economici. Se, infatti, la revisione dei sistemi impiantistici prevedesse la sostituzione del generatore di calore esistente con uno di ultima generazione che, per avere i migliori rendimenti energetici, lavora con sistemi di emissione a bassa temperatura, sarebbe impossibile compensare le perdite termiche attraverso le chiusure

invariate fino al momento del secondo intervento. Al contrario, subordinare l'aggiornamento impiantistico al miglioramento prestazionale degli elementi costruttivi consente di dimensionare l'impianto sulla base di una domanda ridotta e di preservare il comfort ambientale nel lasso temporale tra i due interventi agendo sulla regolazione del sistema di riscaldamento esistente, riducendo i consumi e rientrando più velocemente nel costo iniziale dell'investimento.

Da quanto detto risulta evidente come le facciate, e l'involucro nella sua complessità, debbano essere oggetto di attenta analisi e accurata valutazione nella fase del progetto di riqualificazione di un edificio che spesso porta committenti e progettisti a dover ripensare completamente la pelle esistente dell'edificio, secondo il processo chiamato *recladding*. Sebbene il termine tragga origine dal sostantivo anglosassone *cladding*, rivestimento, esso non indica il solo processo di ristrutturazione mediante la sovrapposizione di appropriati pacchetti tecnologici alle chiusure esistenti), ma si è oggi esteso al più generico concetto di rifacimento parziale o totale delle pareti esterne di un edificio, anche tramite la sostituzione integrale della facciata qualora necessario, poiché la finalità è l'adeguamento delle prestazioni e della funzionalità dell'involucro alle mutate esigenze. Più precisamente si parla di *re-fitting* se la sostituzione riguarda solo alcuni elementi di facciata non più performanti o se l'intervento si limita all'aggiunta di elementi di completamento che contribuiscono a migliorare la prestazione energetica dell'edificio, quali schermature solari, pannelli fotovoltaici, ecc. Col termine *over-cladding* si intende invece la realizzazione di una nuova pelle più performante tramite semplice sovrapposizione di elementi tecnici, generalmente stratificati a secco, alla chiusura esistente dell'edificio.

Il retrofit delle facciate in alcuni casi può dunque diventare lo strumento per ripensare il funzionamento dell'intero edificio tramite strategie innovative che sfruttano elementi intelligenti e adattivi mirati a un comportamento sempre più energeticamente autosufficiente e dinamico dell'involucro, assicurando prestazioni sempre più elevate tanto da poter competere coi casi di nuova costruzione. Inoltre, non si deve trascurare l'importanza che un intervento di *recladding* può avere anche dal punto di vista architettonico in un'operazione di rinnovo urbanistico: esso oltre a migliorare le prestazioni dell'involucro può diventare l'occasione per modificare la configurazione architettonica finale degli edifici esistenti restituendo loro una nuova immagine e rendendoli più appetibili commercialmente, purché questo non nasca come semplice operazione di "maquillage" esteticamente valida ma priva di convenienza economica. Infatti, se da un lato è vero che gli interventi di riqualificazione che implicano una ristrutturazione dell'involucro trovano una loro più conveniente applicazione negli edifici che già si trovano nella condizione di dover subire una manutenzione delle facciate⁹, è pur vero che l'impegno economico per dei lavori che vadano oltre la manutenzione

*Il recladding
delle facciate*

⁹ Il Censimento ISTAT sopracitato sull'edilizia residenziale non indaga sulla qualità energetica ma più in generale sullo stato di conservazione che si riferisce alle condizioni fisiche dell'edificio, sia interne che esterne. A livello nazionale, su una scala di valutazione dello stato di conservazione percepito che varia tra ottimo, buono, mediocre e pessimo, il 17,4% delle abitazioni in edifici ad uso abitativo è ritenuto essere in uno stato di conservazione mediocre o pessimo. (Dall'Ò, Galante & Ruggieri 2008)

ordinaria e siano invece occasione di un più incisivo intervento di re cladding sarà conveniente solo nel momento in cui sia possibile ottenere un ritorno negli anni successivi in grado di ripagare il maggior investimento iniziale. In vista di un rifacimento della facciata obsoleta è quindi fondamentale valutare la possibilità di sfruttare l'occasione – che non si presenterà più per parecchi anni – per aumentare l'isolamento termico della facciata stessa e non limitarsi all'intervento percepito come necessario (ripristino estetico) ma che non comporta alcuna remunerazione diretta nel tempo (risparmio sui consumi energetici), rinunciando a quella parte di investimento che sarebbe in grado di ripagarsi. Viceversa, gli interventi di efficienza energetica che comportano lavori di aggiornamento dell'involucro o dell'impianto possono avvenire con minori costi quando già è previsto un intervento di riqualificazione: i costi relativi all'attività di risparmio energetico sostenuti in concomitanza, ad esempio, del rifacimento dell'intonaco o della sostituzione degli infissi, sono in realtà solamente degli extra-costi, in quanto le spese che incidono notevolmente sul totale, quali l'approntamento del progetto, l'allestimento del ponteggio, ecc., verrebbero affrontate comunque. Ovviamente un ragionamento analogo vale per gli impianti che devono essere rinnovati: la sostituzione di un componente impiantistico obsoleto o che non rispetta più le normative vigenti può essere una buona occasione per pensare a un progetto di riqualificazione globale.

Non si dimentichi tuttavia che in alcuni casi intervenire su alcuni elementi è sempre conveniente e consente di risolvere problemi di comfort locali, ma anche problemi energetici globali (si pensi ad esempio all'intervento per l'isolamento della soletta dell'ultimo piano di un edificio residenziale: esso consente di ridurre le dispersioni in una parte dell'edificio vulnerabile che normalmente comporta la necessità di sovra riscaldare l'intero stabile per garantire condizioni di comfort minimamente accettabili negli appartamenti dell'ultimo piano) mentre in altri casi il costo della riqualificazione energetica dell'involucro è eccessivo e, quindi, non giustificato economicamente. Sarà un'attenta analisi economica a sancire, di volta in volta, la fattibilità dell'intervento o a determinare le scelte tecnologiche e logistiche più convenienti per il caso specifico.

02

Le specificità dell'edilizia ospedaliera anni '60 – '70

Avendo già scelto di focalizzare l'attenzione, nel panorama dei possibili livelli di intervento per la riqualificazione di un edificio, sull'aggiornamento dell'involucro e in particolare delle facciate, il campo di indagine di questo lavoro sarà ristretto a una particolare categoria di immobili, rappresentata dagli edifici appartenenti al patrimonio edilizio ospedaliero edificato tra gli anni Sessanta e Settanta, di cui fa parte il caso di studio presentato nei successivi capitoli.

La struttura ospedaliera ha subito negli ultimi decenni profonde trasformazioni, diventando sempre più un'architettura ad alto contenuto tecnologico e organizzativo, paragonabile a una macchina complessa costituita da un hardware e da un software: essa consiste in un'articolata e sistemica *organizzazione* sanitaria, funzionale e amministrativa che si avvale di aggiornate tecnologie diagnostiche, terapeutiche e assistenziali all'interno di una idonea *struttura* fisica che deve necessariamente riflettere questa complessità per soddisfare appieno le esigenze mediche. Come disse già negli anni '70 il professor Germano Sollazzo, sovrintendente sanitario dell'Ospedale Maggiore e consulente medico per la progettazione dell'Ospedale San Carlo Borromeo, *“un ospedale che sorge incomincia a invecchiare dal momento in cui viene progettato, in quanto si adegua alle esigenze sanitarie di quel momento. Esso può perfino nascere vecchio, se molti anni trascorrono dal momento in cui viene concepito all'epoca della sua apertura. E si tenga presente che l'ospedale non invecchia perché i suoi reparti di degenza col passare del tempo mal si prestano alla giacenza dei malati ed all'assistenza infermieristica. [...] È l'evoluzione delle scienze mediche che ne segna il decadimento. La necessità di disporre di più numerosi locali per la sistemazione di nuovi laboratori e gabinetti d'indagine e di cura s'impone col passare del tempo; se la esigenza non può essere soddisfatta l'ospedale non*

risponde più alle richieste della progredita medicina. Occorre provvedere già in sede di progetto allo sviluppo tecnico, che c'imporrà la medicina del prossimo e meno prossimo avvenire.”¹⁰

Per far fronte alla difficoltà propria di un progetto ospedaliero contemporaneo è quindi fondamentale che i progettisti posseggano una cultura dell'innovazione, che deve tuttavia essere supportata da una conoscenza profonda della storia dei problemi complessi che presenta tale tipologia edilizia: l'ospedale non è solo un organismo frutto di attività tecnico-costruttive, ma il prodotto di un rapporto interdisciplinare molto stretto fra tutte le componenti tecniche e scientifiche interessate. Si potrà allora avere una migliore e più aderente lettura di un edificio ospedaliero qualora lo si collochi alla confluenza di due filoni: uno relativo all'organizzazione sanitaria dalla quale desume le caratteristiche della propria funzione, l'altro relativo ai metodi di produzione ed esecuzione, all'assetto economico e alla produttività del settore edile nell'epoca di realizzazione.¹¹

Per questo motivo, nelle pagine che seguono, si intende analizzare brevemente l'evoluzione tipologica dell'organismo ospedaliero alla luce delle politiche sanitarie che nelle diverse epoche storiche ne hanno determinato la conformazione fisica, per passare successivamente all'approfondimento degli aspetti più tecnici riferiti alle pratiche costruttive adottate nell'ultimo secolo, con particolare riferimento al contributo offerto dal calcestruzzo armato per la risoluzione dell'architettura ospedaliera. Solo ripercorrendo il cammino di ricerca e sperimentazione che ha nei secoli associato le politiche sanitarie alle determinazioni spaziali dell'organismo architettonico e del sistema urbano è possibile comprendere a fondo la definizione odierna di ospedale, ma anche leggere le linee di tendenza e intuire anticipatamente le trasformazioni in atto in campo medico affinché anche gli interventi di ultima realizzazione non si rivelino presto obsoleti vanificando rapidamente consistenti investimenti.

¹⁰ Chiappa, F. 1968, *L'Ospedale San Carlo Borromeo*, Edizioni de La Ca' Granda, Milano

¹¹ Associazione italiana tecnico economica, del cemento 1970, *Industrializzazione e prefabbricazione nell'edilizia ospedaliera*, AITEC, Roma

2.1 L'evoluzione delle tipologie edilizie

È naturale che ciascuna epoca dia frutto a tipologie edilizie che rispecchiano nella loro struttura e nelle loro tecnologie non soltanto l'approccio alla malattia, frutto delle conoscenze tecnico-scientifiche dell'epoca che li ha prodotti, ma anche, più in generale, il grado di sviluppo della società medesima.¹²

Se nell'antica Grecia i luoghi di salute collettiva erano i templi e nell'antica Roma erano le terme, l'*hospitale* inteso come "albergo dei poveri" dove accogliere l'umanità indigente e bisognosa di cure ebbe origine in età medievale. Fu infatti il cristianesimo dell'età carolingia, che si promulgava come "religione dei poveri" a gettare le basi etiche della *hospitalitas* come servizio caritatevole all'uomo ridotto in povertà e malattia, senza troppe distinzioni tra indigenza economica ed emergenza sanitaria. Intorno al X secolo, dunque, ogni grande monastero o convento era dotato di un'infermeria destinata ad accogliere gli strati della popolazione ridotti in condizioni di non autonomia: poveri, malati, bambini, vecchi, pellegrini.

Il Medioevo

Con l'anno Mille cominciava la rinascita delle città che, soprattutto se molto popolose e quindi esposte a scarse condizioni igieniche oltre che a frequenti carestie ed epidemie, disponevano di almeno un ospedale dapprima connesso ai luoghi religiosi, poi separatosi dal luogo di culto a formare l'ospedale civile, retto da congregazioni di laici che seguivano l'opera caritatevole monastica. Il senso di impegno civile per la comunità di appartenenza assunse importanza rapidamente, dando vita, nell'area padana, a una rete di numerosi ospedaletti, tra il XI e il XII secolo con il consolidarsi delle istituzioni comunali. A quest'epoca, tuttavia, le cure prestate erano ancora generiche e si limitavano a medicinali di base: l'attività dell'ospedale dell'epoca caritativa era essenzialmente una forma di assistenza più che di cura vera e propria, rivolta a poveri, pellegrini, orfani e inabili. Dal punto di vista organizzativo le funzioni svolte consistevano sostanzialmente nell'offerta di vitto e alloggio, rispecchiate nell'assetto edilizio semplice: le strutture erano di piccole e medie dimensioni, radicate sulla tradizione architettonica monastica, costituite da un insieme di spazi di servizio gravitanti attorno alla sala di degenza, un chiostro o un cortile con porticati e logge per la sosta dei degenti, una chiesa o una cappella. Data le piccole dimensioni fisiche e organizzative, di rado gli ospedali medievali diedero vita a manufatti architettonici rimarcabili o tipologicamente originali.

L'ingresso in ospedale dei medici si ebbe in età rinascimentale, quando cambiò la concezione stessa della struttura ospedaliera: la riforma avvenuta nel Quattrocento consiste nel passaggio definitivo da un modello di istituti misti ecclesiastico-laicali a un modello marcatamente laico, la cui amministrazione compete alla *civitas*. L'ospedale non veniva più visto come "luogo dei

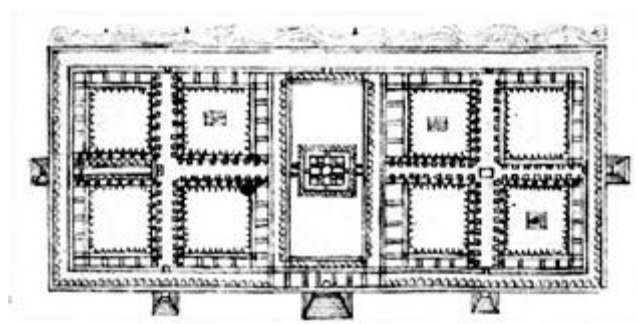
Il Rinascimento

¹² Ibid.

poveri”, dove il servizio al malato era erogato in modo caritatevole e misericordioso, ma come “fabbrica della salute” concepita e strutturata come tale. È l’ospedale dell’epoca assistenziale, che oltre ad arginare il male, lotta per sconfiggerlo. “La folla dei degenti non era più un indistinto genere umano [...] ma era un accorpamento di gruppi di individui patologicamente diversi, ciascuno con la sua specie di male”¹³. Le cure non erano più generiche ma specifiche e differenziate a seconda della terapia per guarire questa o quella malattia. Questa esigenza medica si tradusse anche in esigenza funzionale e spaziale: i malati acuti, ovvero guaribili nel breve periodo, venivano seguiti nelle strutture principali e baricentriche rispetto alla città, mentre quelli cronici, ovvero inguaribili e invalidi necessitanti di ricoveri di lunga durata, venivano accolti negli ospedali minori e decentrati. La riforma ospedaliera coincise quindi con il rinnovamento architettonico che determinò l’edificazione degli ospedali “grandi” o “maggiori” dell’Italia centro-settentrionale. La traduzione del programma politico in programma architettonico si concretizzò in un nuovo impianto distributivo e formale che voleva dichiarare la novità rispetto agli ospedali nati prima della riforma. Tale esigenza si esprime con l’edificazione di fabbricati imponenti e fuori scala rispetto al normale tessuto urbano, costituito da due nuclei quadrati (uno per gli uomini, uno per le donne) separati da un cortile con la chiesa e contenenti un corpo a crociera che forma quattro cortili minori.

L’ospedale milanese Ca’ Granda progettato da Antonio Averlino detto il Filarete e costruito nel 1456 fu lo schema di riferimento per tutta l’alta Italia fino all’età neoclassica. L’invenzione lombarda coinvolse sia l’organizzazione spaziale, riorganizzando gli spazi di degenza in parallelepipedi molto allungati a formare lunghe corsie che si intersecano in nodi strategici, sia una pionieristica attenzione agli aspetti igienici, collocando l’edificio sulla cerchia dei navigli per sfruttare l’acqua corrente e dotare le infermerie di latrine.

Figura 4 - Ospedale Ca' Granda di Milano (www.lombardiabeniculturali.it, www.labissa.com)



L'Ottocento e la prima metà del Novecento

Fu nell’Ottocento, tuttavia, che si ebbe l’affermazione dell’ospedale moderno, spinta dagli sviluppi delle conoscenze in ambito medico-scientifico da un lato, e dai mutamenti sociali e culturali dall’altro: “la *beneficenza* mossa dalla carità si mutò nel *dovere civile* di una assistenza ai malati evolvente in *diritto* di costoro alla tutela della propria salute”¹⁴. L’ospedale si trasforma così da luogo di soccorso agli aventi bisogno, la cui degenza è sovvenzionata dalla

¹³ Balestriero, R., Cosmacini, G., Crippa, M.A., Della Torre, S., Garnerone, D., Giustina, I., Saia, E., Simioli, A., Vicini, E. & Zanzottera, F. *L’Architettura della salute: Luoghi e storia della Sanità lombarda*

¹⁴ Ibid.

spesa pubblica, a luogo di “diagnosi perfezionata e terapia efficace” ambite anche dal ceto abbiente, “solvente in proprio” delle spese utili a fronte delle competenze e delle prestazioni mediche evolute, non più praticabili a livello ambulatoriale o domiciliare. Nel Novecento l’ospedale si aprì anche ai “semi-abbienti”, assistiti dalle mutue, e dal 1978 all’intera popolazione assistita dal Servizio Sanitario Nazionale. I medici attivi al di fuori dell’ospedale si collegavano costantemente ad esso per avere a disposizione la più vasta casistica di patologie e le più alte competenze con le quali confrontarsi, e per lo stesso motivo si fecero sempre più saldi i rapporti col mondo universitario. Con lo sviluppo di discipline mediche sempre più specializzate e le mutate conoscenze in ambito scientifico, oltre che le nuove esigenze igieniche (evitare la commistione dei malati per impedire il contagio tra gli stessi), mutarono i requisiti costruttivi e urbanistici per l’edilizia ospedaliera. Le grandi infermerie nate per il ricovero indifferenziato dei pazienti non erano più adatte ad accogliere indistintamente malati con esigenze di cure e organizzazione diverse. Erano necessari ricoveri suddivisi in spazi limitati, per organizzare i reparti in modo specializzato e separato in funzione delle patologie e delle esigenze dinamiche del degente. Il nuovo modello di ospedale, già ampiamente teorizzato e codificato dalla letteratura internazionale, prevedeva quindi un complesso costituito da padiglioni separati e distanziati, sistemi autosufficienti contenenti tutti i servizi diagnostici e generali necessari, progettati con attenzione all’aerazione e all’illuminazione naturale, principali temi del momento. Si passava così dalla ricerca di monumentalità e del simbolismo tipici dell’impianto a croce greca a una logica costruttiva puramente tecnica. Gli edifici indipendenti accoglievano quindi infermerie con un numero di letti contenuto inizialmente su pochi piani, successivamente a molti piani (da cinque a otto) per raggruppare gli spazi in un minor numero di edifici e razionalizzare i collegamenti e le reti impiantistiche, secondo il tipo a “poliblocco”.

Su queste considerazioni l’ing. Marcovigi progettò nel 1932 il complesso ospedaliero di Niguarda (riprendendo il progetto preliminare redatto Antonio Bertolaia e Virgilio Riva nel 1927) a seguito della decisione di inizio secolo di lasciare il quattrocentesco edificio della Ca’ Granda e trasferire l’attività ospedaliera in una nuova sede in grado di rispondere alle esigenze della scienza medica novecentesca.



Figura 5 - Ospedale Niguarda Ca' Granda di Milano (www.skyscrapercity.com)

Questa impostazione si rivelò tuttavia carente sotto diversi punti di vista. In primo luogo la tipologia a padiglioni venne messa in discussione alla luce dei progressi medici che erano riusciti a debellare i rischi di contagio, rendendo superflua l'eccessiva frammentazione delle strutture che comportava grossi limiti di gestione. Vi erano poi ostacoli urbanistici, derivanti dalla difficoltà nell'individuazione di aree sufficientemente grandi per accogliere nel fitto tessuto urbano la composizione di edifici più estesa rispetto agli ospedali tradizionali (la realizzazione dell'ospedale Niguarda avvenne infatti ai limiti del territorio comunale in una zona ancora poco edificata, al punto che la direzione del Ca' Granda pattuì col comune di Milano la cessione dell'antico ospedale sforzesco in cambio della realizzazione delle infrastrutture di servizio, dei collegamenti stradali e del trasporto tramviario per connettere il nuovo ospedale al centro della città). L'estensione delle cittadelle ospedaliere frammentate generava inoltre lunghi tempi di percorrenza, problemi gestionali dovuti ai collegamenti tra un padiglione e l'altro (talvolta scoperti) e problemi di sorveglianza. Inefficienze generali, non accettabili nel momento in cui si assisteva alla contemporanea nascita di un sempre crescente numero di laboratori di ricerca e analisi che andavano accolti in altrettanti padiglioni all'interno dei confini ospedalieri. Vi erano infine criticità in relazione all'impegno economico per i costi di costruzione e per i tempi di realizzazione. Nello stesso tempo, tra le due guerre mondiali si assistette al diffondersi di nuovi materiali – calcestruzzo armato, acciaio, vetro – e nuove tecnologie – produzione edilizia prefabbricata, veloci ascensori che rendevano i collegamenti verticali più rapidi di quelli orizzontali – che stimolarono definitivamente i progettisti a superare i limiti di altezza fino ad allora esistenti. Nel decennio successivo, infatti, il regime fascista promosse fortemente la realizzazione di nuove strutture ospedaliere, spesso tramite concorsi che si tramutavano in momenti di dibattito e confronto dai quali cominciava a emergere la preferenza per modelli di ospedale a “monoblocco” su molti piani. Preferenza confermata nel 1939 tramite un decreto legge che tracciava norme generali per la realizzazione di architetture ospedaliere.

Le strutture alte anche trenta piani diffusesi negli Stati Uniti nel primo decennio del Novecento e che avevano già raggiunto diversi paesi europei negli anni Venti e Trenta, seppur ridimensionate dall'imposizione di un'altezza massima di 15 piani, si diffusero in Italia a partire dagli anni Cinquanta. Il fenomeno fu lo stesso che coinvolse l'edilizia residenziale popolare nelle città settentrionali in espansione: l'industrializzazione dei processi edilizi condusse alla nascita di grandi ospedali monoblocco o pluriblocco, realizzati con l'impiego di soluzioni tecnologiche atte a rispondere velocemente a esigenze sanitarie e sociali riguardo all'offerta di quantità di strutture ricettive, in un paese ancora investito da tensioni politiche e controversie urbanistiche, ma non sempre alla qualità architettonica necessaria. Furono allora costruiti alti blocchi che riunivano su ogni piano degenze e servizi di diagnosi e terapia in un'unica unità operativa autosufficiente. Furono abbandonate le corsie a più posti letto, sostituite da camere che ospitavano un sempre più ridotto numero di pazienti.

Esempio meritevole di riguardo in questo scenario è l'ospedale San Carlo Borromeo edificato nei primi anni '60 su progetto dell'ing. Arturo Braga, composto da un edificio monoblocco di dodici piani fuori terra e altri corpi minori al fine contenere i costi in fase di esercizio e avere un più ampio margine per quelli in fase di costruzione.



Figura 6 - Ospedale San Carlo Borromeo di Milano

Tuttavia, a parte rare eccezioni, la letteratura specialistica segnala che nella maggior parte dei casi i progetti italiani di ospedali monoblocco o poliblocco della seconda metà del XX secolo non attestano particolare impegno di ricerca morfologica e architettonica, di organizzazione funzionale o di qualità ambientale offerta ai ricoverati.

La seconda metà del secolo fu anche il periodo della “rivoluzione tecnologica” per la diagnostica in campo elettrofisiologico, chimico-analitico e radiologico che comportò il diffondersi di apparecchiature sofisticate ad alto contenuto tecnologico che hanno trasformato l'ospedale in una macchina produttiva della salute, efficiente non solo dal punto di vista tecnico-scientifico ma anche da quello amministrativo, organizzativo e gestionale al pari di un'azienda. Caratterizzati da un grado di complessità sempre crescente in relazione ai progressi intrinseci della tecnologia, è palese al giorno d'oggi la rilevanza che tali impianti tecnologici rivestono all'interno dell'ospedale: da un lato essa è data dall'assoluta necessità di un loro funzionamento perfetto, dal quale dipende quello dell'intero organismo ospedaliero, dall'altro essa riguarda le ricadute che la vasta diffusione e integrazione all'interno dell'edificio comportano a livello architettonico e tecnologico. Per esempio, dei rapporti molto evidenti si creano tra la progettazione architettonica e quella dell'impianto di climatizzazione: i dati di input per la progettazione impiantistica, le esigenze spaziali, i successivi costi di realizzazione e gestione sono sensibilmente influenzati da alcune caratteristiche tipicamente architettoniche che hanno influenza sul comportamento termico dell'edificio: forma e orientamento dei corpi di fabbrica, tecnologia costruttiva, materiale e colore delle chiusure, rapporto tra superfici opache e superfici trasparenti, presenza o meno di schermi frangisole ecc. La concezione architettonica dell'edificio avrà quindi influenza sull'intensità con la quale i servizi tecnologici dovranno intervenire per garantire le condizioni di ambientali ottimali, ad esempio in termini di portate d'aria da trattare, che avrà a sua volta ricadute sulla progettazione architettonica

stessa: passaggi di canalizzazioni orizzontali e verticali (talvolta di sezione assai rilevante), controsoffittature, collocazione di bocchette per la distribuzione e la ripresa dell'aria, previsione di sottocentrali impiantistiche, ecc. sono tutti parametri di cui prendere atto sin dalle prime fasi progettuali, per garantire una corretta impostazione dell'organismo ospedaliero non soltanto sotto il profilo funzionale, ma anche sotto quello architettonico, che non può prescindere dalla concezione e dall'organizzazione del complesso degli impianti.¹⁵

Gli anni duemila

L'obiettivo degli ultimi anni e di quelli futuri, è infine riportare l'attenzione non solo sulla *quantità* di prestazioni erogate, sull'efficienza della macchina ospedaliera talvolta concepita in un'ottica strettamente funzionale e pratica, ma anche sulla *qualità* del servizio fornito all'utente in quanto persona dotata di bisogni umani e psicologici oltre che meramente legati alla diagnosi e cura della malattia. È la tesi sostenuta nel **Rapporto Sanità 2000**, che propone come fulcro del problema edilizio ospedaliero contemporaneo la centralità del malato in quanto persona e la necessità di elevare l'ospedale da spazio razionalmente funzionante a spazio abitabile a misura d'uomo.

Nel 2001 una Commissione ministeriale presieduta dall'allora ministro della sanità Umberto Veronesi e coordinata dall'architetto Renzo Piano, ha stilato in dieci punti una linea guida utile per la progettazione (o la riprogettazione) di strutture sanitarie centrate sulla persona e sulle sue esigenze, con lo scopo di elaborare un modello tipologico che potesse fungere da meta-progetto per le future realizzazioni ospedaliere. In quell'occasione e nei successivi saggi legati al Rapporto si riconosceva, a confronto con gli altri paesi europei, una "innegabile" mancanza di "attenzione alla qualità progettuale, distributiva e compositiva" dell'attività edilizia italiana in questo settore: *"L'edilizia sanitaria è un campo da esperti, ma esiste anche l'architettura: questa variabile, soffocata per anni grazie alle esigenze economiche e, come si usa dire, tecnologiche, è tornata in primo piano, si è parlato di modello distributivo, organizzativo, ma anche di immagine, di ambiente, di qualità degli spazi, sottolineando scelte di carattere progettuale e spaziale."*¹⁶

Si è quindi ragionato su ciascuno dei dieci principi informativi (umanizzazione, urbanità, socialità, organizzazione, interattività, appropriatezza, affidabilità, innovazione, ricerca, formazione) analizzando le implicazioni che essi imponevano in termini edilizi, per teorizzare il modello di un ospedale non solo pensato in termini di funzionalità, ma ponendo attenzione anche alla sua qualità architettonica in senso più ampio.

Per passare alla pratica, l'anno successivo Regione Lombardia ha previsto lo stanziamento di un grosso fondo (più di cinque miliardi di euro) per la realizzazione di nuove strutture all'avanguardia, poli attrattivi anche al di fuori dei confini regionali, ma anche per l'ottimizzazione delle strutture esistenti, al fine di indudere nel disegno anche il patrimonio

¹⁵ Associazione italiana tecnico economica, del cemento 1970, *Industrializzazione e prefabbricazione nell'edilizia ospedaliera*, AITEC, Roma

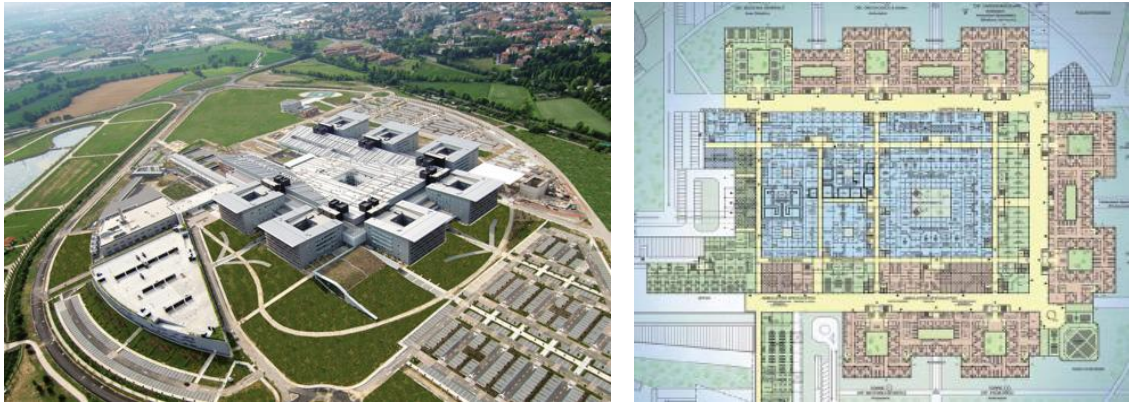
¹⁶ Ibid.

edilizio ospedaliero già costruito, risorsa da sfruttare prima di ricorrere alla “scorciatoia” dell’edificazione ex-novo.

In termini concreti, gli indirizzi contenuti del decalogo si realizzano materialmente tramite un nuovo modello edilizio “a piastra” o “a nudo”: la tradizionale staticità del corpo delle degenze con andamento lineare e orientamento ottimale secondo l’esposizione solare, oggi non appare più così indiscutibile – grazie anche all’efficienza raggiunta nel controllo dei parametri ambientali tramite i servizi tecnologici – e viene accantonata in ragione di forme più compatte che presentano indubbi vantaggi di carattere funzionale ed economico. Si configura quindi un modello architettonico costituito da un edificio centrale recante le unità di degenza su quasi tutti i quadranti del perimetro, con ampie possibilità di frazionamento e di taglio distributivo interno, per garantire collegamenti e interazioni veloci, facendo tesoro dell’esperienza maturata nel passaggio dall’ospedale a padiglioni a quello monoblocco, ma a sviluppo prevalente orizzontale per consentire una migliore separazione dei percorsi dedicati agli operatori, ai malati e ai visitatori e una maggiore flessibilità distributiva per assecondare future modifiche nella gestione delle funzioni e degli spazi. Viene meno anche l’impostazione tradizionale dei reparti, ormai superati perché le funzioni (sale operatorie, ambulatori, laboratori, ecc.) non sono più strettamente connesse alle specificità delle singole discipline, ma possono essere centralizzate in settori di *facility* con gruppi di terapia e di servizi accorpatisi per essere comuni a molteplici specializzazioni. Nell’ottica suddetta di umanizzazione dei servizi offerti al paziente, non più visto solo in qualità di malato avente diritto a prestazioni diniche ma come persona momentaneamente debilitata che tuttavia conserva i propri bisogni individuali di benessere psicofisico, le camere di degenza mirano al giorno d’oggi a uno standard alberghiero: dotate al massimo di due letti, di bagno privato, di attrezzature e apparecchiature utili non solo allo svolgimento delle attività diniche ma anche a quello della vita quotidiana (telefono, interfono, televisione, prese pc, connessione wi-fi, cassaforte, ecc.), di sistema di climatizzazione, esse sono ormai concepite per fare soggiornare con il malato in un luogo caldo e accogliente con la dovuta privacy.

Felice esempio è l’Ospedale Papa Giovanni XXIII di Bergamo, progettato nei primi anni duemila e concluso nel 2011, costituito da sette corpi di degenza disposti su tre lati della piastra centrale che ospita le aree ambulatoriali, i servizi di diagnosi e cura, i servizi generali e amministrativi e la “hospital street”. I fabbricati delle degenze organizzati sul perimetro del complesso, caratterizzati da grandi facciate continue, si contraddistinguono per la notevole leggerezza e trasparenza che garantiscono ai degenti un’ampia visuale sul parco e sui colli bergamaschi circostanti, e contemporaneamente conferiscono un senso di apertura dell’ospedale nei confronti della città e permettono all’utente che proviene dall’esterno di percepire l’ospedale come una struttura aperta al territorio e non più come struttura impermeabile nata per separare i malati dai sani.

Figura 7 - Ospedale
Papa Giovanni XXIII
di Bergamo
(www.arketipomagaz
ine.it,
www.graficaearte.it)



È questo valore di apertura quello che sottende i principi di socialità e urbanità espressi nel decalogo del nuovo tipo ospedaliero. Socialità e urbanità significano infatti integrazione con le dinamiche socio-culturali del contesto in cui l'ospedale è attivo, con attività culturali, di intrattenimento, commerciali, alberghiere, di ristorazione, ecc. per offrire cioè ai pazienti, ma anche al personale e ai visitatori, dei servizi generali pubblici che siano la naturale estensione dell'intorno urbano. L'attenta concezione e realizzazione di strutture ospedaliere permeabili, aperte, contenenti una rete di servizi e luoghi utili alla città, può allora tramutarsi in un'operazione di trasformazione del territorio, di rimodellazione delle dinamiche sociali urbane al pari di quanto possibile nel settore residenziale.

È quindi evidente come questi moderni paradigmi non dovrebbero limitarsi alle strutture di ultima generazione ma dovrebbe coinvolgere l'intero patrimonio ospedaliero esistente, contraddistinto da un assetto vetusto di fronte alle esigenze sanitarie di una società mutata. Ecco che in quest'ottica appare sempre più necessaria una progressiva opera di riqualificazione dei vecchi edifici in relazione al soddisfacimento di determinati standard derivanti dalle nuove esigenze per via delle moderne tecniche e dei recenti indirizzi assunti nei confronti della tutela della salute.

2.2 Le criticità dei metodi costruttivi del Novecento

Avendo analizzato le tipologie edilizie nella loro evoluzione, soprattutto per comprendere come i mutamenti storici, sociali e culturali abbiano influenza su tutti gli aspetti dello sviluppo umano e le logiche che sottenderanno le future evoluzioni, ci si vuole ora soffermare sui risvolti più tecnici riguardanti le pratiche costruttive adottate nel Novecento con particolare riferimento a quelle che coinvolgono l'involucro edilizio verticale, altrettanto dipendenti dall'epoca che le ha prodotte. La scelta di tale arco temporale è dettata in primo luogo da considerazioni statistiche: si noti infatti, come si può desumere dalla Tabella 1 che riassume i dati emersi dai censimenti generali della popolazione e delle abitazioni dell'ISTAT, che circa l'80% del patrimonio edilizio italiano è stato costruito tra gli anni '20 e gli anni '90, di cui la metà nel ventennio tra il 1962 e il 1981. È questa la parte del costruito edificata negli anni della speculazione edilizia per far fronte alla richiesta di alloggi e alla pressione migratoria generata dal boom economico, che spesso presenta caratteristiche prestazionali molto limitate, se non addirittura peggiori di quelle offerte dalle costruzioni di epoche precedenti. Si consideri inoltre che i beni architettonici costruiti da oltre settant'anni se di proprietà pubblica o cinquant'anni se di proprietà privata, qualora presentassero valore artistico, storico o archeologico sarebbero sottoposti alla tutela dei beni culturali: parlare di intervento di redadding sotto questa ipotesi sarebbe pressoché superfluo, in quanto le possibilità di intervento sarebbero limitate a un esiguo numero di strategie volte a lasciare inalterata l'immagine originaria del bene. D'altronde anche nei casi di edilizia non tutelata precedente al Novecento sarebbe limitativo parlare di riqualificazione delle facciate: costituite nella maggior parte dei casi da murature portanti, esse sono più spesso soggette a interventi di consolidamento strutturale che non a interventi di aggiornamento prestazionale, che sarebbero altrettanto circoscritti a operazioni di *overcladding*.

L'evoluzione tecnologica analizzata in questa sede parte dunque dal Razionalismo, quando si diffuse l'uso del calcestruzzo armato e della struttura portante a telaio, coincidente allo stravolgimento della concezione di chiusura verticale, che fino ad allora era anche elemento strutturale portante l'edificio. La nuova separazione tra parti portanti e parti portate e la necessità di alleggerire le seconde affinché fossero ridotti i carichi gravanti sulle prime, portò alla nascita di nuovi sistemi costruttivi "pluristrato". Fino al primo conflitto mondiale le murature portanti erano state pressoché l'unica tipologia costruttiva per le chiusure verticali, assolvendo in "monostrato" a tutte le prestazioni da esse richieste: dalla funzione strutturale, alla protezione dagli agenti atmosferici e dall'azione termica, esse rispondevano a tutti i requisiti costituite unicamente da un nudo in laterizio, pietra o blocchi prefabbricati al massimo rifinito superficialmente da uno strato di intonaco. La cessata necessità di un cuore

La struttura a telaio e le chiusure pluristrato

portante permise di muovere i primi passi verso l'attuale concetto di chiusura "pluristrato", scomponendo la chiusura in più layer verso lo spasmodico obiettivo di ridurre i carichi del sistema portato dalla nuova tipologia strutturale.

Le prime soluzioni del periodo razionalista, tuttavia, furono guidate da un forte pensiero architettonico al quale non seguiva di pari passo una verifica e un'adeguata "modellazione ingegneristica", in una lettura fondamentale sbagliata dei metodi costruttivi dei periodi precedenti: la volontà di cancellare il passato in un'ottica di pulizia e rigore per proporre un'architettura internazionale al posto di tradizioni e consuetudini locali, che al contrario erano quasi sempre generate da condizioni climatiche più che da scelte puramente formali, ha introdotto soluzioni tecnologiche più complesse ma non sufficientemente analizzate e sperimentate nel loro funzionamento. L'aver considerato solo decoro alcuni elementi di facciata, annullato ogni sporto o gronda, introdotto l'uso di strati sottili discontinui, ha portato a commettere errori che causarono situazioni di forte degrado non tanto per errata concezione della sezione corrente – seppur povera da un punto di vista prestazionale – ma piuttosto insiti nell'ingenuità di dettaglio in tutti i punti particolari di discontinuità.¹⁷

Nascevano ad esempio le prime pareti di tamponamento in laterizio forato a sezione sempre più sottile, talvolta dotate di intercapedine più come conseguenza delle scelte architettoniche volte a mascherare la struttura portante dell'edificio che non per il ben più valido scopo funzionale di interrompere la continuità materiale tra esterno e interno. Bisognerà infatti attendere tempi successivi per l'implementazione della tecnologia con sistemi per la raccolta e lo smaltimento dell'acqua meteorica eventualmente raccolta al piede dell'intercapedine, o per l'introduzione dello strato coibente per compensare le scarse capacità di isolamento, ridurre i disperdimenti dell'involucro e quindi i consumi energetici.

La prefabbricazione

Gli scarsi livelli qualitativi non ebbero esiti molto migliori nemmeno con le grosse realizzazioni del dopoguerra negli anni '60 e '70, ancora contrassegnate da errori costruttivi e impiego di materiali scadenti: l'esigenza di soddisfare l'enorme domanda di alloggi dovuta alla situazione economico-sociale di quegli anni ha quasi sempre portato a sottovalutare il livello qualitativo. Per far fronte alle crescenti pressioni, gli istituti preposti alla realizzazione dell'edilizia sovvenzionata dovettero adattare la loro attività, generalmente legata a interventi di piccola scala, a interventi di grande dimensione, aggiornando in fretta i propri metodi costruttivi: vennero importati anche in Italia i sistemi di prefabbricazione pesante, con brevetti già ampiamente sperimentati nel resto d'Europa (soprattutto in Francia). Iniziò così l'attuazione di piani pluriennali di edilizia prefabbricata che, ad esempio, a Milano portarono all'edificazione di 23.000 alloggi nei soli cinque anni tra il 1963 e il 1968, costituiti da alti edifici in linea o a torre realizzati con l'impiego di pannelli strutturali stratificati in calcestruzzo armato, isolante termico (nei casi migliori) e finiture interne ed esterne, di dimensioni pari al locale che racchiudono.

¹⁷ Grecchi, M. 2008, *Il recupero delle periferie urbane: da emergenza a risorsa strategica per la rivitalizzazione delle metropoli*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Tuttavia, sono proprio questi edifici prefabbricati a rivelarsi oggi maggiormente degradati e presentare forti problemi di obsolescenza sia di tipo funzionale, che tecnologica, che di immagine:

- l'inaffidabilità dei pannelli strutturali dà luogo a cellule rigide che vincolano l'assetto distributivo degli ambienti che non può essere variato.
- lo scarso livello qualitativo degli elementi, legato all'esiguità degli spessori, ai primi processi produttivi, alle dimensioni dei pannelli, ai dettagli di interfaccia non è sufficiente a garantire gli odierni standard qualitativi per il comfort ambientale.
- la conformazione rigida, la ripetitività, l'anonimato anche dal punto di vista formale, generano una sensazione di disorientamento, di non luogo, di scissione tra l'utente e il proprio alloggio in quanto uguale a tutte le altre unità abitative dell'immobile, in un quartiere dove anche tutti gli edifici sono uguali.¹⁸

Altri metodi prevedevano invece l'installazione di unità prefabbricate o di soli pannelli di tamponamento non portanti, ma non sono comunque esenti dalle medesime problematiche. Risultato di questo fenomeno sono oggi i grandi quartieri prefabbricati, la cui qualità architettonica, prestazionale e urbanistica risulta di scarsissimo livello, situati nelle periferie delle grandi città ma anche in aree urbane nel frattempo divenute pregiate.

In modo del tutto analogo, disposizioni in materia ospedaliera diedero vita a un programma imponente per la costruzione di nuovi ospedali estremamente costoso e complesso, la cui realizzazione entro tempi e costi contenuti fu possibile solo in relazione alle moderne tecniche di industrializzazione edilizia: normalizzazione e modularità degli elementi costruttivi significavano riduzione dei tempi di montaggio, dei costi di produzione, delle tolleranze, semplificare la sostituzione di elementi danneggiati, ecc. Non si può tuttavia parlare della prefabbricazione in campo ospedaliero distinguendola da quella impiegata negli altri settori: se è vero che certe esigenze sono diverse a seconda della tipologia edilizia, è anche vero che il motivo principale del suo utilizzo nasce dall'esigenza di una maggiore produttività nel preciso momento storico. Se tale tecnica costruttiva rappresentava una soluzione economicamente valida e preferibile alle altre perché più rapida e maggiormente flessibile, anche l'edilizia ospedaliera fu talvolta oggetto di esperimenti azzardati delle più recenti realizzazioni tecniche, non sempre abbastanza testate per essere in grado di offrire gli stessi vantaggi nel controllo dei parametri minimi per il benessere ambientale, tra l'altro richiesti da un'utenza particolare – quella degli ammalati – per la quale i campi di tollerabilità hanno limiti più restrittivi rispetto a quelli generalmente accettati per i soggetti sani.

¹⁸ Non affrontando in questa sede il tema della riqualificazione spaziale e funzionale, che richiederebbe una più ampia disamina per la quale si rimanda a trattazioni specifiche in materia, di seguito si analizzeranno i maggiori fattori di criticità riguardanti le chiusure verticali opache e trasparenti e le possibili strategie risolutive riguardo alle ultime due cause di obsolescenza.

Come si è già accennato, i fenomeni di degrado oggi riscontrabili in questa tipologia edilizia possono derivare da una progettazione non ottimale della sezione corrente o dei dettagli in tutte le zone di discontinuità dei pannelli.

La sezione corrente

Nel primo caso, la carenza più evidente è quella prestazionale: per quanto concerne la **trasmissione del calore**, l'assenza dello strato isolante, raramente utilizzato prima degli anni '70 quando la crisi petrolifera catturò l'attenzione sulle problematiche energetiche, dà ovviamente luogo a elevate dispersioni termiche e a condizioni di discomfort negli ambienti interni all'edificio legati all'asimmetria radiante tra le superfici interne (magari dotate anche di pannelli radianti per il riscaldamento) e le chiusure esterne, soprattutto se costituite da materiali leggeri e ampie superfici finestrate. Grossi flussi termici sono anche sinonimo di basse temperature superficiali interne, causa dei fenomeni condensativi qualora si presentassero particolari condizioni di temperatura e umidità relativa dell'aria interna. Inoltre, in presenza di pareti relativamente leggere e di spessore sottile, la scarsa capacità termica non consente di attenuare le oscillazioni veloci della temperatura esterna, causando indesiderate variazioni dello stato termico degli ambienti confinati. Un'ulteriore criticità legata al comportamento igrotermico delle pareti è quella legata ai fenomeni di condensazione interstiziale, riscontrabili in presenza di pareti con intercapedine. Non tutte le pareti prefabbricate, infatti, erano costituite da pannelli pieni: alcuni prodotti dell'industria sono infatti caratterizzati dalla presenza di intercapedini d'aria allo scopo di migliorare l'isolamento termico o sono concepiti come sottili lastre prefabbricate da essere poi completate, sul lato interno, con una controparete in forati realizzata in situ, al pari delle parti a cassetta. La diffusività termica di tali intercapedini è tuttavia elevata e l'aria in esse contenuta tende a raffreddarsi rapidamente durante la stagione invernale e durante le ore notturne. La temperatura della superficie della parete esterna sul lato dell'intercapedine si abbassa altrettanto rapidamente, spesso al di sotto del punto di rugiada, favorendo la condensazione del vapore acqueo, che tra l'altro viene assorbita progressivamente dalle pareti aumentandone la conduttività. Tale problema fu peraltro accentuato quando si cominciarono a riempire le intercapedini con materiali coibenti che, seppur di esiguo spessore, trattenevano il calore e abbassavano ulteriormente la temperatura dell'interfaccia interna critica. Generalmente realizzati sotto forma di materassini morbidi, col tempo e con l'assorbimento della condensa interstiziale essi si spostavano o schiacciavano ai piedi dell'intercapedine perdendo di efficacia. Il problema dell'**isolamento acustico** è analogo, per alcuni versi, a quello dell'isolamento termico. I materiali pesanti dotati di buon peso specifico danno i migliori risultati sia per quanto riguarda la resistenza offerta al passaggio dell'onda termica che di quella sonora, che invece risulta critica in presenza di pareti prefabbricate leggere. In questi casi però, l'utilizzo di una controparete rende l'attenuazione più efficace: l'incremento del potere fonoisolante, infatti, cresce con l'aumento della massa delle pareti ma in maniera non proporzionale ad essa e può invece essere incrementato nettamente grazie all'utilizzo di due pareti analoghe e indipendenti, soprattutto se caratterizzate da pesi e spessori leggermente differenti. Il rischio

di una parete doppia è invece rappresentato dall'accoppiamento acustico (soprattutto per basse frequenze), scongiurabile tramite l'interposizione di un materiale assorbente in intercapedine che impedisca fenomeni di risonanza (che, come si è precedentemente accennato, venne impiegato solo a partire dagli anni Settanta). Altrettanto sfavorevoli sono gli accoppiamenti meccanici, ad esempio tra struttura e pannelli o tra le due murature di una parete doppia, che riducono l'indice di isolamento acustico (soprattutto per alte frequenze).¹⁹

Un'altra problematica della sezione corrente risiede nel degrado delle finiture: in linea generale si può però affermare che l'origine di quasi tutte le loro patologie sia da ricercare in un'erronea modalità di preparazione del supporto, di collegamento o di posa in opera (oltre che essere causate da variazioni delle condizioni atmosferiche del contesto che ne hanno accelerato il guasto). Riguardo alle superfici in **intonaco**, le criticità più importanti possono infatti essere ricondotte all'applicazione in grandi aree senza soluzione di continuità, troppo estese in relazione all'elasticità della malta cementizia, o alla carenza di adesione col supporto, che può causare rigonfiamenti e distacchi. Anche un supporto troppo discontinuo può indurre tensioni nell'intonaco e causare, alla lunga, gli stessi fenomeni di degrado. Le criticità dei **rivestimenti in pietra**, posati con semplice malta, sono di solito riconducibili a un'erronea calibrazione delle dimensioni e dello spessore delle lastre (quindi del loro peso) non adeguati alle condizioni climatiche o alla resistenza meccanica del supporto. Negli anni Sessanta, con l'avvento dei pannelli prefabbricati di facciata si diffusero soluzioni di finitura spesso costituite da piccole **tessere** in vetro, ceramica, gres o dinker che potevano facilmente essere integrate nella catena produttiva in stabilimento. La costruzione dei pannelli, infatti, aveva inizio con la posa del rivestimento sul fondo della cassaforma metallica e proseguiva con il loro fissaggio con boiaccia di cemento, la posa del primo strato di calcestruzzo armato, dei pannelli termoisolanti e terminava col getto della seconda parete in calcestruzzo dotata dei ganci di sollevamento e dei ferri di chiamata (se richiesti). Non è raro che l'errata posa combinata alle dilatazioni e contrazioni termiche differenziali del supporto, dei giunti e delle piastrelle, magari perfettamente lisce sul lato interno, causasse infiltrazioni e distacchi.



Figura 8 - Distacco delle tessere di rivestimento dei pannelli prefabbricati (www.skyscrapercity.com)

¹⁹ Tuttavia, è importante osservare che in campo ospedaliero molta parte della difesa acustica dai rumori esterni si basa sulla possibilità di allontanare l'edificio dalle fonti di rumore esterno (l'intensità sonora che si propaga in campo libero varia con l'inverso del quadrato della distanza della sorgente sonora) o di creare cortine anti-rumore.

Nei casi in cui il calcestruzzo sia stato impiegato “faccia a vista”, i maggiori degradi sono riscontrabili nell’errato spessore del copriferro, spesso troppo esiguo per impedire l’ossidazione dei tondini dovuta all’assorbimento dell’acqua meteorica, con conseguente espulsione di parti anche non irrilevanti della crosta esterna. Infatti, per la normativa italiana, molto più permissiva di quella tedesca, inglese e francese, erano consentiti copriferri di soli 8 mm, che con l’umidità relativa del 60% non permettevano una protezione superficiale superiore ai 10 anni ²⁰. L’usura superficiale causata dagli agenti atmosferici e dall’inquinamento assieme all’evidenza dell’impossibilità di ripristinare l’aspetto originario senza che siano visibili antiestetici rattoppi hanno presto messo fine all’illusione dei maestri dell’Architettura Moderna che vedevano nel calcestruzzo il materiale artificiale per eccellenza, in grado di preservare immutate le proprie qualità a tempo indeterminato.

Per quanto riguarda le porzioni di **involucro trasparente**, porte e finestre rappresentano nella maggior parte dei casi un punto di debolezza della chiusura. Prive di taglio termico, doppi vetri o addirittura guarnizioni in gomma, esse forniscono resistenze alla diffusione del calore e del suono estremamente ridotte rispetto a quelle con cui oggi si progetta.

I nodi Per quanto riguarda invece i nodi, essi sono la maggior causa di processi di degrado se non progettati e realizzati in modo ottimale, in quanto coinvolgono tutti quei punti di interfaccia tra elementi che comportano una discontinuità fisica che si traduce in sollecitazioni e stati tensionali localizzati, accostamento di materiali che potrebbero essere incompatibili o particolari fasi operative per la loro connessione in cantiere, e eventualmente difficili.

La discontinuità più evidente è rappresentata dal **perimetro** dei pannelli prefabbricati: talvolta sagomato per garantire la continuità della chiusura, talvolta no, l’incontro di due elementi costituisce sempre un punto soggetto a tensioni differenti rispetto al resto della campitura, soprattutto quando gli elementi che convergono sono esposti a diversi orientamenti o diverse condizioni di carico (si pensi ad esempio al giunto d’angolo tra due pareti prefabbricate). Non è raro che queste sollecitazioni si manifestino in fessurazioni, distacchi e conseguenti infiltrazioni in caso di pioggia. È poi evidente come dalle modalità costruttive e di posa in opera delle pareti derivino carenze a livello di tenuta all’aria e all’acqua e di isolamento termico ed acustico: ad esempio, un buon isolamento può essere inficiato da una fessura di soli 0,5 mm, la cui presenza non sarebbe remota nel caso di pannelli non correttamente sagomati per la realizzazione di giunti a tenuta su tutto il perimetro o nel caso di formazione di fessure a seguito della deformazione dei materiali dopo la posa in opera.

Un altro dettaglio problematico che genera analoghe conseguenze è spesso riconoscibile nel nodo **unione** tra la **struttura** in calcestruzzo armato e la **chiusura** verticale. Quando essa è un tamponamento inserito nel telaio portante, la principale difficoltà riguarda la creazione di un supporto continuo e stabile per il rivestimento: ogni materiale è soggetto in modo diverso a fenomeni di dilatazione e compressione, subendo movimenti relativi rispetto ai diversi

²⁰ Grecchi, M. 2008, *Il recupero delle periferie urbane: da emergenza a risorsa strategica per la rivitalizzazione delle metropoli*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

materiali adiacenti; se il sistema murario non viene correttamente legato alla struttura, non si crea la dovuta continuità necessaria a garantire che, per effetto dei movimenti che si generano nei due materiali (c.a. e laterizio) dovuti ai carichi o alle escursioni termiche, il rivestimento (intonaco o piastrelle) non sia soggetto alla formazione di fessurazioni, distacchi, infiltrazioni con degrado continuo nel tempo.



Figura 9 – Fessurazione in corrispondenza del collegamento tra muratura di tamponamento e struttura portante (www.waler.it)

Nelle soluzioni isolate, invece la criticità maggiore è dovuta al fenomeno dei **ponti termici** in corrispondenza di discontinuità dello strato termoisolante. Nei casi di tamponamenti in laterizio eseguiti in situ, infatti, l'isolamento era tradizionalmente inserito nell'intercapedine della muratura a cassetta, interrompendosi quindi in corrispondenza di travi e pilastri; in questa circostanza, oltre alle perdite di calore localizzate sono accentuati i rischi condensativi e i fenomeni di alterazione cromatica della facciata in presenza di temperature e condizioni di saturazione differenziate.



Figura 10 - Alterazione cromatica differenziata tra muratura di tamponamento e struttura portante (www.waler.it)

Nondimeno, anche tutte le prime soluzioni prefabbricate isolate realizzate a partire dagli anni Settanta presentarono problemi legati alla discontinuità termica: i pannelli costituiti da due pareti in calcestruzzo armato inframmezzate da uno strato di coibente in polistirene espanso (tra l'altro di spessore irrisorio, generalmente variabile tra i 2 d i 4 cm) erano comunque attraversati da nervature inglobanti un'armatura reticolare per assicurare il collegamento e la trasmissione del carico della lastra esterna (portata piano per piano) a quella interna (portante). Nella maggior parte dei casi anche le estremità superiore e inferiore del pannello

sono particolarmente conformate per permettere la giunzione dei pannelli, ma non la continuità dell'isolamento termico.

È infine implicito che anche il nodo tra i solai dei **balconi** e la struttura interna fosse realizzato senza soluzione di continuità, con possibili ripercussioni sugli elementi al contomo tra cui la chiusura verticale.

Uno dei nodi che percentualmente presenta il maggior numero di degradi è tuttavia rappresentato dal **raccordo vano – serramento**: in una zona molto limitata si interfacciano una grande quantità di elementi (il muro, il rivestimento, il serramento, il davanzale con eventuali comici, il sistema di oscuramento, ecc.) ed è facile comprendere come si possano verificare malfunzionamenti legati alla realizzazione di dettagli in cui convivono materiali differenti, con differenti caratteristiche di durata e di comportamento. Non si dimentichi inoltre la complessità geometrica del vano finestra, composto da una serie di superfici orizzontali e verticali di dimensioni anche molto ridotte, tutte però esposte agli agenti atmosferici.²¹

Alla luce di queste considerazioni è intuitivo comprendere come un intervento di redadding possa giocare un ruolo fondamentale nella risoluzione delle problematiche esposte: interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria possono risanare il guasto, senza tuttavia rimuovere il problema alla radice. Il ripristino della finitura superficiale, delle fessure tra elementi discontinui, delle insalubri manifestazioni di condensazione negli ambienti, rappresenteranno sempre una soluzione temporanea se non accompagnate da un intervento più significativo che miri alla rimozione del problema insito nell'errata concezione o realizzazione dell'elemento ammalorato, che tra l'altro comporterà solo extra costi laddove fosse già programmata un'operazione di manutenzione. Si tratta dunque, raddrizzando i passi falsi di un passato incautamente attivistico e speculativo, di accrescere il valore patrimoniale di oggetti esistenti con investimenti piuttosto contenuti, prolungandone la vita utile e restituendo nuova vitalità a porzioni di città povere dal punto di vista funzionale e ambientale. Un simile approccio è coerente con una visione dell'organismo edilizio in quanto entità in continua evoluzione, in grado di mutare con l'evoluzione degli standard della qualità della vita e adattarsi alle necessità dei fruitori. Si presenterà sempre la necessità di adeguare gli elementi tecnici dell'involucro ai nuovi tempi: col trascorrere degli anni essi sono caricati di richieste di performance via via superiori per garantire altrettanto crescenti livelli di comfort attesi dagli utenti, scanditi dal costante progresso normativo.

Si tenga tuttavia presente che per risolvere queste carenze, non è certamente sufficiente un rilievo materico, che poteva bastare trattando di edifici appartenenti ai secoli precedenti: se fino all'Ottocento la risoluzione dei nodi era affidata alle esperte maestranze che si rifacevano a pratiche costruttive consolidate secondo lo stato dell'arte, col Razionalismo il progetto si sostituì alla pratica basata sulla consuetudine degli operatori, determinando continue

²¹ Una fessura di soli 0,2 mm che segua tutto il contorno di una porta può ad esempio causare un abbattimento dell'isolamento acustico dell'ordine dei 10 dB.

invenzioni e variazioni delle soluzioni costruttive. È quindi fondamentale, per affrontare correttamente il progetto di redadding, un'attenta capacità di lettura del funzionamento delle singole parti e dell'insieme, per programmare gli obiettivi della fase di rilievo e consentire la ricostruzione dei dettagli esecutivi, quasi mai disponibili tra i documenti originari reperibili.

03

Il caso di studio: l'ospedale San Carlo Borromeo

Da quasi cinquant'anni l'Ospedale San Carlo Borromeo offre con i suoi 1000 posti letto attività assistenziale alla popolazione della zona ovest di Milano. Progettato dall'ing. Arturo Braga (capo ingegnere dell'ufficio progetti dell'Ospedale Maggiore) con la collaborazione dello studio Gio Ponti – Fomaroli – Rosselli in materia architettonica, dell'ing. Gian Felice Bertolini per quanto riguarda gli impianti tecnici e del prof. Germano Sollazzo in qualità di consulente per la parte sanitaria, aprì le porte al primo malato il 30 giugno 1966 dopo tre anni dall'inizio delle opere di costruzione.



Figura 11 - Ubicazione dell'edificio rispetto alla città di Milano

La sua realizzazione si colloca quindi all'interno del fenomeno di sviluppo della periferia milanese principalmente avvenuto negli anni '70 – '80, per lo più lungo i maggiori assi viari o in concomitanza della realizzazione degli stessi, con particolare predilezione di schemi costruttivi caratterizzati da condomini multipiano adiacenti fra loro in aree solo parzialmente urbanizzate. Questo stile non ha risparmiato il nord-ovest milanese dove insiste l'Azienda Ospedaliera San Carlo, in una zona che mostra bene la condizione ambientale e sociale delle periferie e dei quartieri con scarsa identità, vivibilità, socialità e mobilità, la cui attenta lettura sottolinea il ruolo di riferimento che l'ospedale possiede al suo interno.

Il periodo storico di costruzione dell'edificio ospedaliero ha inoltre determinato l'utilizzo di tecniche costruttive e materiali che se nella maggior parte dei casi ha contribuito alla stabilità e durevolezza della struttura, in altri ha tuttora generato alcune criticità di gestione in occasione dei necessari interventi di manutenzione. Pur potendo essere annoverato tra le migliori realizzazioni ospedaliere degli anni Sessanta, l'Ospedale San Carlo Borromeo, a distanza di più quarant'anni dalla sua inaugurazione, necessita comunque di una serie di interventi di notevole impatto volti prevalentemente all'adeguamento normativo della struttura e di impianti e apparecchiature ormai obsoleti. Inoltre il complesso, nato prima del 1976, anno dell'emanazione della prima normativa sul risparmio energetico degli edifici, è pressoché privo di qualsiasi accorgimento atto a ridurre le dispersioni termiche dell'involucro: l'intervento su un tale tipo di fabbricato dovrà quindi essere visto come occasione per riqualificare un tassello del patrimonio edilizio italiano che contribuisce sfavorevolmente ai consumi energetici.

Dal mese di giugno 2014 Regione Lombardia ha perciò autorizzato l'azienda Ospedaliera a procedere nella progettazione preliminare dell'intervento in oggetto sui due edifici principali del presidio ospedaliero per l'adeguamento alla normativa in materia di sicurezza, prevenzione incendi, sicurezza sismica, regolamento edilizio, impianti elettrici e speciali, impianti di climatizzazione, risparmio energetico, ecc.

3.1 Il complesso ospedaliero

Nell'assetto iniziale l'attività ospedaliera era organizzata in due edifici principali: nell'edificio monoblocco erano ubicate l'attività di degenza e l'attività operatoria, mentre l'edificio adiacente per i servizi di accertamento e cure, denominato "quadrato", è stato adibito alle attività diagnostiche, ambulatoriali, di pronto soccorso e di laboratorio.

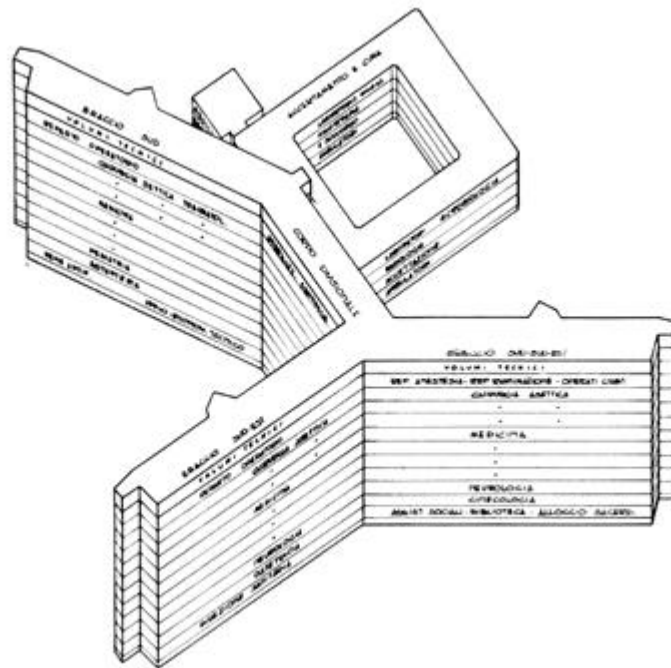


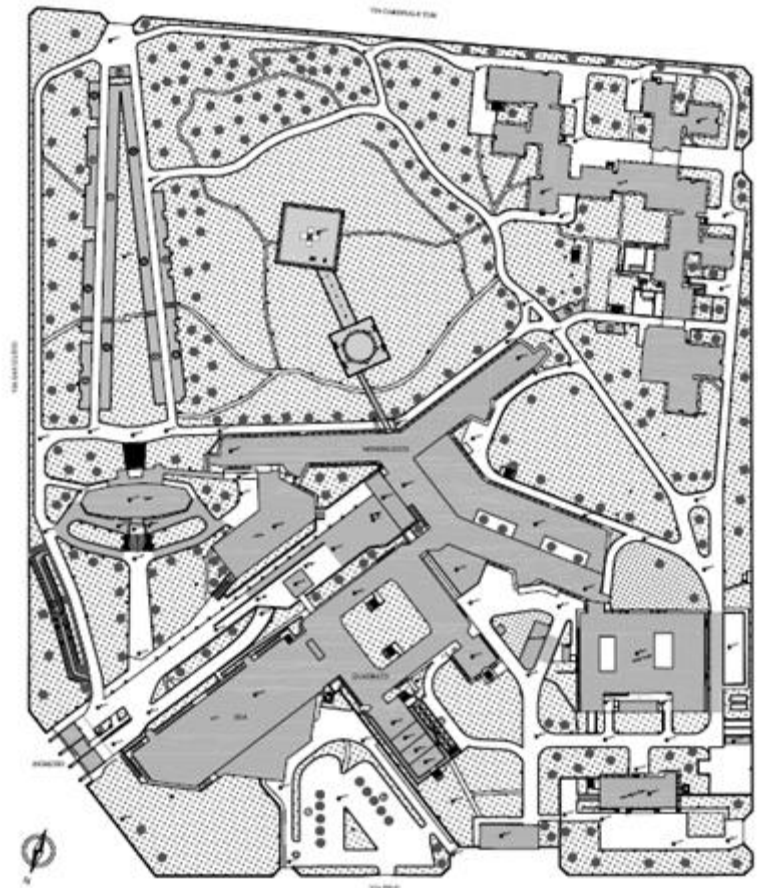
Figura 12 -
Assonometria
dell'edificio
Monoblocco e
dell'edificio
Accertamento
e Cure

Ulteriori fabbricati minori ospitano servizi generali quali la chiesa con le sale per spettacoli e riunioni, un piccolo centro con negozi, bar, ristorante per i visitatori, sale da pranzo per i medici e personale, una grande fascia a verde: lo studio dell'urbanistica e dell'architettura del complesso ospedaliero, infatti, è stato affrontato dall'Amministrazione ospedaliera con lungimirante visione del futuro non solo sotto il profilo della massima funzionalità dei principali servizi sanitari, ma anche della massima funzionalità dei servizi generali, sociali, culturali e religiosi aventi lo scopo di fare dell'ospedale un complesso "residenziale" che, lungi dal ricordare qualsiasi elemento di segregazione, potesse offrire un clima distensivo e sereno al malato, visitatore o parente. Completano il complesso un edificio per i servizi tecnici, un piccolo edificio per il servizio mortuario, il villaggio dei pensionati e convitti e una serie di ambienti e locali destinati al funzionamento della struttura (guardiane, cabine di trasformazione, box gas medicali ecc.).

L'impostazione originaria è stata modificata soltanto nel 2000 con la realizzazione di un nuovo fabbricato contiguo al quadrato, la palazzina DEA, destinata ad ospitare il nuovo pronto

soccorso, un nuovo blocco operatorio per le urgenze, la terapia intensiva, l'unità coronarica e alcuni reparti di degenza funzionalmente collegati al pronto soccorso. Se da un lato la struttura ha visto sensibilmente potenziata l'offerta sanitaria legata all'emergenza-urgenza, dall'altro ha visto di fatto lo stravolgimento dei percorsi interni, con sovraccarico funzionale dei collegamenti sia verticali sia orizzontali.

Figura 13 - Pianta del complesso ospedaliero



Negli anni a seguire, la riduzione dei posti letto di degenza, determinata sia dal progressivo mutare dei setting assistenziali tradizionali sia dall'evoluzione normativa, accompagnata da un mancato adeguamento della struttura a questa evoluzione, ha gravato ulteriormente sull'organizzazione generale del presidio con un considerevole impegno anche in termini di personale d'assistenza. A tali criticità si è poi aggiunta la pressione normativa in materia di accreditamento istituzionale e in materia di sicurezza impiantistica e prevenzione incendi.

Questo insieme di fattori ha quindi determinato la necessità di ripensare la struttura nella sua globalità, cogliendo l'occasione per una più generale ottimizzazione delle risorse sia strumentali sia di personale, tramite un intervento generale di riqualificazione che riporterà ciascun edificio costituente il presidio ospedaliero alla specifica vocazione originaria: nell'edificio monoblocco verranno collocati tutti i reparti di degenza ordinaria in elezione, mentre nell'edificio accertamento e cura troveranno collocazione unicamente attività sanitarie per pazienti esterne e comunque a ciclo diurno.

3.3 L'edificio monoblocco

I limiti gestionali e le inefficienze generali riscontrati negli ospedali a padiglioni separati nella seconda metà del Novecento, assieme alla diffusione dell'impiego del calcestruzzo armato e della prefabbricazione, diedero vita a un nuovo assetto per le strutture ospedaliere di cui è figlio anche l'ospedale San Carlo Borromeo: l'impostazione a "monoblocco" su molti piani.



Figura 14 - L'edificio Monoblocco nel 1966 (da Chiappa F., L'Ospedale San Carlo Borromeo)

Il blocco principale del complesso ospedaliero è infatti un fabbricato che conta 14 piani, di cui uno completamente interrato, uno seminterrato e 12 fuori terra. Accedendo al piano rialzato dove si trovano i servizi generali (accoglienza, uffici, direzione sanitaria, le gallerie di sosta dei visitatori, alloggi sacerdoti, banca, ecc.) oltre che il blocco parto e il blocco dialisi, si raggiungono le varie divisioni di degenza assieme ai relativi spazi per l'attività ambulatoriale distribuiti tra il 1° e il 9° piano. Questi piani furono pensati dai progettisti costituiti dalla medesima pianta per tutte le divisioni di degenza (salvo poche particolari divisioni che hanno proprie caratteristiche alle quali non si può rinunciare) "per non precludere la possibilità di mutare la distribuzione dei compiti assistenziali in progetto e adeguare la struttura alle future esigenze"²². Al 10° piano si trovano il servizio dialisi e due blocchi operatori composti da 4 sale ciascuno (di cui uno attualmente dismesso), dotati di doppia galleria per separare il più nettamente possibile i percorsi degli operandi da quelli del personale, soluzione che ha

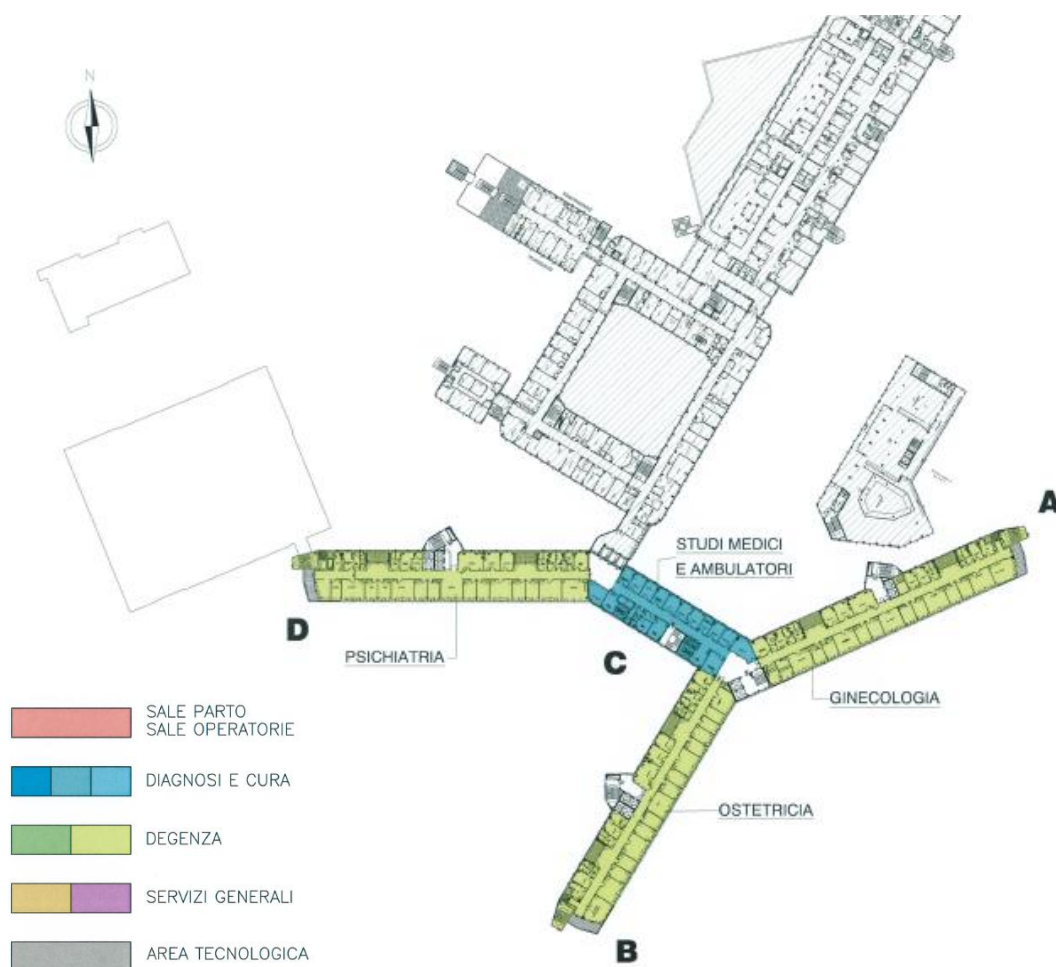
La distribuzione funzionale

²² Chiappa, F. 1968, *L'Ospedale San Carlo Borromeo*, Edizioni de La Ca' Granda, Milano

richiesto una maggiore altezza del piano di circa 2 metri rispetto a quelli sottostanti ottenuta con la costruzione a sbalzo una delle due gallerie. L'11° e ultimo piano ospita i locali tecnici nei quali sono state installate le apparecchiature per gli impianti di condizionamento dei reparti operatori, gli impianti di aspirazione (vuoto), le cabine degli ascensori, ecc. Il piano seminterrato invece si allarga a piastra per accogliere i principali servizi generali (farmacia, archivi, magazzini, dispense, cucina ecc.), mentre nel piano sotterraneo si trovano le sottostazioni termiche, idrauliche ed elettriche con le canalizzazioni dei vari impianti e depositi.

La forma dell'edificio è conseguenza dell'organizzazione dei piani di degenza: il tema era quello di creare divisioni di 90 letti ripartiti in 3 sezioni sullo stesso piano, che – a norma di regolamento – dovevano presentare le fronti delle camere di degenza orientate entro il quadrante sud sud-est. Ne è scaturita la caratteristica forma a Y formata da 4 segmenti: tre assegnati alle sezioni (A, B e D) ben orientate e indipendenti tra loro, convergenti in un quarto "corpo divisionale" (C) destinato alla direzione dei reparti, dove hanno sede studi dei medici e ambulatori.

Figura 15 -
Distribuzione
funzionale della
pianta dell'edificio
Monoblocco



Particolare cura è stata rivolta allo studio della sezione di degenza che si presenta con due funzioni essenzialmente diverse: sul lato esposto a sud la sequenza delle camere dei malati, sul lato esposto a nord i locali di servizio, le scale, i gruppi di elevatori, le logge ²³. Questa particolare differenziazione delle funzione degli spazi interni si riflette anche nella composizione delle diverse facciate, costituite da pannelli prefabbricati che hanno permesso di avere gli edifici con le fronti ultimate quasi contemporaneamente alle strutture: sulle fronti delle degenze sono stati utilizzati pannelli con paramento a vista in graniglia di marmo martellinata dotate di un'aletta sporgente allo scopo di proteggere i serramenti in alluminio dalla radiazione solare e dalle intemperie; sulle fronti dei servizi sono stati invece utilizzati pannelli rivestiti con piastrelle di gres smaltato incorporate ad essi all'atto del getto. Le parti strutturali lasciate a vista sono invece in cemento spuntato.



Figura 16 - Pianta piano tipo dell'edificio Monoblocco allo stato di fatto

Il riscaldamento e il raffrescamento delle degenze e degli ambienti di tipo ordinario (studi medici, uffici ecc.) del Monoblocco è affidato a terminali di tipo radiante a soffitto alimentati da numerosi montanti serviti da una dorsale di mandata posizionata al piano sotterraneo, raccolti al piano sottotetto e convogliati ai collettori di ritorno posizionati nelle sottocentrali di distribuzione. I servizi igienici sono riscaldati mediante radiatori di tipo tradizionale alimentati da una serie di montanti con un analogo sistema a colonne verticali. Il riscaldamento e il raffrescamento del blocco operatorio e degli altri ambienti per i quali si richiedono elevati ricambi d'aria vengono invece realizzati con impianti a tutt'aria esterna. Le UTA destinate al blocco operatori ed ai locali sterilizzazione del 10° piano sono posizionate all'interno del sottotetto soprastante, mentre il controllo dell'aria di rinnovo delle degenze è affidato a delle unità di trattamento posizionate al piano sotterraneo. Prima di giungere in ambiente, ad ogni piano, è stata prevista una batteria di post-riscaldamento posizionata in zona baricentrica. Due montanti di estrazione sono stati previsti agli estremi di ogni sezione (A, B, D) con estrattori centralizzati posizionate nel sottotetto dell'edificio.

Impianto di riscaldamento e raffrescamento

Per quanto riguarda l'impianto idrico sanitario, l'edificio risulta servito da una rete di alta pressione e di bassa pressione in funzione del piano, derivata dalle sottocentrali di produzione di a.c.s. e di surpressione idrica. I montanti di acqua calda, fredda e ricircolo sono posizionate in

Impianto idrico sanitario

²³ Da qui deriva la denominazione "facciata degenze" e "facciata servizi" che per brevità si utilizzerà d'ora in poi riferendosi rispettivamente alla facciata esposta a sud e alla facciata esposta a nord.

appositi cavedi all'interno del perimetro dell'edificio. Da questi, per ogni piano, vengono derivati i singoli stacchi destinati ai vari punti di utilizzazione.

Impianto antincendio

Discorso analogo vale per quanto concerne la rete idrica antincendio destinata alle manichette UNI 45 distribuite all'interno dell'edificio, alimentata da una centrale di surpressione.

*Impianto gas
medicali*

L'edificio è infine servito da reti di gas tecnici e medicali (vuoto, ossigeno, aria compressa medica e protossido di azoto) alimentate da apparecchiature di produzione (compressori, pompe per vuoto, miscela O₂-N₂, ecc.) posizionate in maniera distribuita e con una certa ridondanza all'interno del presidio.

Impianto elettrico

In merito agli impianti elettrici, l'ospedale è alimentato da una rete di MT ad anello che interconnette attualmente 4 cabine MT/BT di cui una, ubicata nel piano sotterraneo del monoblocco, è dedicata all'alimentazione del monoblocco, dell'edificio a accertamento e cure, e dei restanti edifici escluso il DEA. La distribuzione dell'energia elettrica per i servizi di sicurezza ha invece origine da gruppi di statici di continuità UPS all'interno di locali tecnici dedicati, ubicati in prossimità delle utenze critiche e in alcuni casi al secondo interrato del blocco di competenza. Le utenze sono poi alimentate da linee di distribuzione dell'energia elettrica suddivise a seconda della classificazione dei carichi in *illuminazione e forza motrice normali*, per le utenze alimentate da una sola linea, con possibilità di sgancio in caso di assenza della rete di alimentazione esterna, e in *illuminazione e forza motrice preferenziali*, per le utenze alimentate da una sola linea, senza possibilità di sgancio in caso di assenza della rete di alimentazione esterna.

La distribuzione dell'energia elettrica per i servizi normali è realizzata mediante linee radiali, mentre quella dell'energia elettrica per i servizi preferenziali è realizzata mediante linee ad anello con giunzioni entra-esce. Entrambi i tipi di linea alimentano direttamente i quadri elettrici di zona posti al piano sotterraneo degli edifici monoblocco e accertamento e cure all'interno di locali tecnici dedicati, attigui ai cavedi montanti elettrici che servono i quadri elettrici di distribuzione ai vari piani. Esistono poi altri anelli di distribuzione dell'energia elettrica di riserva utilizzabili sia per i servizi di illuminazione che per i servizi di forza motrice, normali o preferenziali, che consentono di alimentare un singolo quadro elettrico di zona alla volta, in caso di guasto in un qualunque tratto delle linee di distribuzione dell'energia elettrica.

A partire dall'anno 2012 l'edificio monoblocco ha comunque visto la realizzazione di diversi interventi di ristrutturazione ed adeguamento normativo, quali la realizzazione del nuovo atrio e di una nuova sala parto al piano rialzato, la ristrutturazione dei corpi A e B del 2° piano per la sezione di pediatria, la sostituzione completa di parte degli impianti elevatori, la compartimentazione antincendio dei vani scala e dei cavedi verticali, l'installazione di un nuovo impianto di rivelazione incendi, la sostituzione dei quadri elettrici di zona, il completo rifacimento delle centrali termica e frigorifera a servizio del presidio con l'installazione di una nuova centrale di cogenerazione, che verranno ovviamente conservati, valorizzati e completati dai nuovi interventi.

3.2 Il piano operativo

La definizione delle strategie di intervento per un progetto di redadding non è sempre immediata poiché spesso, in misura anche maggiore rispetto a un intervento di nuova costruzione, esistono vincoli di natura tecnica, logistica, economica o legati al tipo di committenza. Per l'organizzazione del percorso progettuale è quindi utile delineare preventivamente un *piano operativo* al fine di stabilire un metodo di lavoro razionale e coerente con tutte le sfaccettature del problema. Si riporta di seguito una proposta di piano operativo, strutturato secondo diverse fasi ordinate in sequenza cronologica:

1. **Definizione delle motivazioni e degli obiettivi:** si chiariscono le esigenze che portano a intervenire sull'oggetto in questione e i livelli di miglioramento che si intendono raggiungere a seguito dell'intervento.
2. **Conoscenza dell'oggetto:** si esegue una valutazione complessiva dello stato di fatto dell'edificio, dal punto di vista architettonico, tecnologico, materico, prestazionale, energetico, ecc. per comprendere lo stato attuale e i fattori di criticità da risolvere, in modo da avere un quadro completo utile alla definizione di strategie di intervento.
3. **Definizione delle possibili strategie di intervento:** si analizzano separatamente i possibili interventi effettuabili a livello di involucro, di impianto o di utilizzo di fonti rinnovabili.
4. **Valutazioni economiche:** si confrontano le possibili strategie di intervento sulla base del costo in termini assoluti ma anche in relazione al beneficio energetico ed economico a cui portano, paragonando cioè i costi di realizzazione della soluzione con i risparmi ottenibili nella gestione.
5. **Scelta delle strategie di intervento:** tra le strategie di intervento alternative analizzate, si scelgono le più consone al caso in esame e si costruiscono dei "pacchetti" di interventi integrati. A tale scopo è importante considerare non solo i requisiti per l'applicabilità di una strategia ma anche gli effetti che una scelta piuttosto che un'altra genera in termini di parametri ambientali e operativi.
6. **Progettazione degli interventi:** da parte di un progettista competente.
7. **Realizzazione degli interventi:** da parte di un'impresa.
8. **Certificazione energetica:** da parte di un tecnico competente.
9. **Gestione e manutenzione:** per garantire il mantenimento delle prestazioni elevate negli anni.

A partire da questi presupposti, applicando la logica progettuale sopra delineata al caso di studio reale, si fornirà al lettore una metodologia utile alla progettazione di interventi di redadding di fabbricati di edilizia sanitaria ma anche, per estensione, di edifici genericamente “complessi” in termini di superficie, altezza o forma. Di seguito verrà dunque presentato più specificatamente l’edificio in esame chiarendo le motivazioni e gli obiettivi dell’intervento in progetto e verranno ripercorse le indagini per conoscere l’oggetto, necessarie all’acquisizione di tutte le informazioni utili alle successive fasi del piano operativo.

3.4 Le motivazioni e gli obiettivi

Il primo step nell'affrontare il progetto è chiarire quali sono le motivazioni che sottendono l'intervento e gli obiettivi che con esso si vogliono raggiungere. Nei casi più "semplici" in cui l'intervento è limitato alla riqualificazione delle facciate, lo scopo è generalmente abbastanza chiaro e tipicamente coincide con la risoluzione di quelle carenze energetiche e prestazionali di cui si è precedentemente parlato, concomitante o meno col ripristino di fenomeni di degrado. Sempre più spesso, tuttavia, l'intervento di redadding è solo un aspetto di un'operazione più ampia di riqualificazione di un immobile o complesso di edifici al fine di dare loro nuova vita: in questi casi, assume particolare importanza l'acquisizione di tutte le informazioni riguardanti le funzioni che si svolgeranno al suo interno, sia che esse rimangano invariate sia che vengano attribuite all'immobile nuove destinazioni d'uso, assieme a quelle riguardanti le modifiche architettoniche, strutturali e impiantistiche che si intendono apportare.

Per quanto concerne l'Ospedale San Carlo Borromeo, da un punto di vista generale è possibile individuare i principi che hanno orientato le scelte progettuali per la riqualificazione del presidio, dettate non solo dagli aspetti citati a inizio capitolo, ma anche da precise scelte strategiche e di programmazione a lungo termine, che hanno dovuto trovare una mediazione sia con i vincoli propriamente tecnici sia con quelli di tipo finanziario imposti dal governo regionale:

Principi generali

- conservazione e valorizzazione del patrimonio edilizio esistente e delle opere di ristrutturazione già effettuate;
- mantenimento in attività del presidio ospedaliero durante i lavori di ristrutturazione;
- riduzione del costo complessivo e dei tempi di realizzazione legata alle scelte relative alle tecniche costruttive e all'indipendenza delle installazioni impiantistiche dai sistemi edilizi;
- ripristino della separazione tra spazi ambulatoriali e spazi di degenza;
- razionalizzazione dei percorsi interni con la separazione fra i percorsi dell'emergenza, dei degenti, degli utenti esterni, dei visitatori;
- riqualificazione delle aree di degenza in un quadro d'elevata qualità alberghiera: superamento dell'organizzazione delle degenze per singole unità operative e realizzazione di reparti di degenza multidisciplinari e omogenei per intensità di cura, in linea con i requisiti di accreditamento, con un maggiore contenuto in termini di comfort alberghiero e soluzioni innovative relative all'interazione operatori-pazienti;
- potenziare i servizi ambulatoriali e di day-hospital favorendo la gradualità della cura;

- flessibilità nell'uso dell'ospedale, legata alla realizzazione di un contenitore adattabile a future esigenze grazie alla modificabilità e adeguabilità dell'organismo oltre che alla spostabilità e riutilizzabilità di materiali e componenti;
- massimizzazione della qualità ambientale degli spazi interni mediante scelte di sistemi di componenti edilizi che favoriscano il controllo passivo delle condizioni ambientali di comfort termoisometrico e acustico (basato sul tipo e qualità dei materiali) a vantaggio di una riduzione dell'intervento attivo degli impianti, finalizzato al miglioramento della compatibilità ambientale del sistema e alla riduzione dei costi complessivi in termini di sostenibilità;
- durabilità, manutenibilità (anche in termini di igiene e pulibilità), riparabilità degli elementi tecnici e quindi economia di esercizio dei sistemi edilizi, integrati con quelli strutturali e impiantistici, legata alle scelte dei materiali di rivestimento e finitura.

Riqualificazione funzionale

Come precedentemente accennato, gli interventi di riqualificazione del presidio mirano in primo luogo alla riorganizzazione funzionale dei reparti: le attività di degenza e quelle di accertamento e cura, che nel tempo sono andate mescolandosi su pressoché tutti i piani, verranno nettamente ripartite tra l'edificio monoblocco e l'edificio quadrato secondo la concezione originaria del complesso ospedaliero.

Il monoblocco ospiterà quindi tutti i reparti di degenza ordinaria in elezione, che verranno tuttavia riorganizzati ai piani più bassi dell'edificio, secondo una scelta concordata e definita con il Comando dei Vigili del Fuoco di Milano che, seppure in un edificio adeguato alle normative di prevenzione incendi, ha ritenuto di voler richiedere la collocazione dei pazienti non deambulanti autonomamente ai piani inferiori per garantire maggiore sicurezza in caso di esodo. Partendo da questo vincolo, le sezioni di degenza sono state ricollocate dal 1° al 6° piano dell'edificio composte da camere di massimo 3 posti letto con servizio igienico annesso, ambienti per la cura dei pazienti (studio per la visita e la medicazione, bagno assistito), ambienti dedicati al personale (studio caposala, studio medico, ambiente per il lavoro degli infermieri, ambiente tisaneria-relax, wc personale) e di servizio (deposito sporco, deposito pulito, deposito attrezzature, vuotatoio) e ambienti dedicati ai visitatori (sala d'attesa, soggiorno, wc utenti). Ad ogni piano trovano poi trovano collocazione ulteriori spazi di supporto specifici all'attività di reparto quali ad esempio ambulatori specialistici, sale di monitoraggio e refertazione, camere bianche, palestre, ecc. oltre che segreterie, locali per l'accettazione e le attività amministrative. Parte della pianta è infine dedicata a filtri e spazi calmi previsti dalle vigenti norme in materia di prevenzione incendi e ovviamente a vani tecnici e sottocentrali impiantistiche (Tabella 01).

Anche i blocchi operatori, originariamente collocati al 10° piano, vengono riprogettati nel corpo D del 5° e 6° piano per ridurre i tempi di trasporto degli operandi e perseguire un'ottimizzazione in termini di risorse sia umane che strumentali. Essi saranno dotati di 3 sale

operatorie ciascuno a cui fanno riferimento i letti chirurgici del piano, di percorsi e corridoi sporco-pulito separati, di spazi per la preparazione e la vaggio chirurgici, di spazi preparazione e risveglio dei pazienti, di filtri e spogliatoi attrezzati per l'accesso al blocco.

Al piano 7° è prevista la completa demolizione dell'esistente e la realizzazione di un intero piano destinato ad ospitare le nuove sottocentrali impiantistiche a servizio delle parti di fabbricato oggetto di completa ristrutturazione, mentre i rimanenti piani saranno oggetto di una ristrutturazione solo parziale: al piano seminterrato e rialzato degli ambulatori sostituiranno i servizi generali, uffici amministrativi e studi medici, che verranno concentrati ai piani 8°, 9° e 10°; al piano sotterraneo e all'11° rimarranno attive le sottocentrali necessarie ad alimentare i piani non oggetto di completa ristrutturazione.

Riqualificazione tecnologica

Struttura

L'intervento di riqualificazione del complesso ospedaliero coinvolgerà anche la struttura esistente dell'edificio con interventi che riguarderanno da un lato l'adeguamento strutturale richiesto dalla rinnovata distribuzione funzionale, dall'altro il miglioramento del comportamento dello scheletro portante in materia di sicurezza sismica. La struttura del fabbricato, dimensionata negli anni '60 per le azioni verticali e per quella orizzontale del vento, non rispetta naturalmente gli attuali principi di gerarchia delle resistenze e di duttilità globale e locale alla base della moderna progettazione sismica. Analogamente i giunti strutturali furono concepiti solamente per consentire un'adeguata dilatazione o contrazione delle strutture orizzontali, ma risultano oggi inadatti a evitare fenomeni di martellamento delle strutture in caso di evento sismico. Tuttavia, non essendo previsti lavori di sopraelevazione, ampliamento o modifica che rendano l'edificio sostanzialmente diverso dall'esistente né variazioni nella destinazione d'uso, l'intervento sarà limitato a un *miglioramento* atto ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme (condizione invece necessaria in un intervento di *adeguamento*). Se il progetto di riqualificazione oggetto del progetto preliminare comprende opere edili, architettoniche, impiantistiche e antincendio da effettuare ai piani 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6° e 7° del fabbricato, l'adeguamento strutturale riguarderà, per ogni motivo, l'intero edificio monoblocco dalle fondazioni alla copertura. Poiché la verifica delle proprietà meccaniche dei materiali costituenti i pilastri e le travi portanti sarà effettuata a campione in una fase successiva, l'intervento di rinforzo è stato attualmente ipotizzato come di seguito riportato.

L'intervento sui pilastri verrà effettuato mediante incamiciatura della sezione resistente esistente col getto armato di una scorza dello spessore medio di circa 8 cm, estesa sull'intero perimetro della colonna a meno di rari casi (per esempio in prossimità dei giunti strutturali) e resa continua dallo spiccatto fondazioni sino in copertura mediante opportune operazioni di legatura alle strutture di impalcato interferenti. L'uso di opportuni copriferrì per la nuova incamiciatura in ca. permetterà di ottenere anche il richiesto grado di resistenza al fuoco.

Gli interventi sugli impalcati riguarderanno invece l'adeguamento di porzioni di solaio ai nuovi carichi e alle nuove forometrie associati al nuovo layout architettonico e impiantistico per i piani 5°, 6° (blocchi D) e 7°. In queste aree gli impalcati dovranno essere preventivamente analizzati e opportunamente rinforzati tramite il posizionamento, all'estradosso del solaio, di un nuovo graticcio di travi metalliche con relativo solaio di calpestio. Modifiche alle forometrie esistenti saranno invece ottenibili mediante la chiusura delle asole secondarie presenti e l'apertura di nuove asole nei solai in latero-cemento (non nelle travi e nei pilastri).

Gli interventi di adeguamento dei giunti strutturali a tutti i piani richiedono invece l'introduzione di elementi che portino il giunto ad annullare le sue componenti di spostamento in corrispondenza di azioni istantanee come quelle del vento e del sisma, ma di conservare l'utilità dei giunti strutturali in condizioni di esercizio e per carichi di lenta applicazione come le dilatazioni termiche. Questo cambiamento strutturale può essere ottenuto con l'introduzione, su ognuno dei giunti che frazionano l'edificio e per tutti gli impalcati in elevazione, di una doppia serie di connettori meccanici: dispositivi di connessione a taglio per garantire il trasferimento delle azioni orizzontali nella direzione parallela al giunto, consentendo le dilatazioni termiche nella direzione perpendicolare; dispositivi di vincolo dinamico (shock transmitters) per la connessione assiale delle porzioni di impalcato che si affiancano lungo il giunto tramite sistemi cilindro-pistone a comportamento fluido-viscoso che consentano alle parti strutturali connesse di muoversi liberamente senza indurre significative azioni aggiuntive quando soggette a basse velocità traslazionali (es. variazioni termiche), costituendo invece una connessione rigida tra esse durante un evento sismico.

Opere edili

Il progetto di riqualificazione dell'Ospedale San Carlo Borromeo nasce, assieme alla necessità di una più efficace distribuzione funzionale degli ambienti, dall'esigenza effettuare una serie di interventi sul complesso edilizio per adeguarlo a diversi aspetti normativi qui brevemente riassunti:

- *opere di adeguamento alla normativa in materia di regolamento edilizio e sicurezza:* adeguamento altezza corrimano dei vani scala e parapetti in facciata, resistenza allo scivolamento di pedate e percorsi di esodo esistenti, vetrare di sicurezza;
- *opere di adeguamento alla normativa in materia di prevenzione incendi:* adeguamento vani scala, realizzazione filtri antincendio, spazi calmi e monta lettighe antincendio e di soccorso, compartimentazione sottocentrali impiantistiche, attività specifiche e depositi, adeguamento percorsi di esodo e realizzazione vie di fuga, adeguamento/integrazione impianto rivelazione incendi esistente, adeguamento/integrazione rete idranti, interventi edili ed impiantistici necessari per la rispondenza alla normativa antincendio vigente;
- *opere di adeguamento alla normativa in materia di risparmio energetico:* adeguamento rivestimento di facciata e serramenti esterni al fine di renderli

rispondenti alle vigenti normative in materia di risparmio ed efficienza energetica degli edifici vigenti;

- *opere di adeguamento alla normativa in materia di abbattimento delle barriere architettoniche*: eliminazione delle barriere architettoniche per garantire accessibilità, percorribilità e uso in sicurezza dell'intero complesso anche da parte di persone disabili, portatrici di handicap di diverso tipo e livello e in generale persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, consentendo loro di raggiungere l'edificio, le sue singole unità ambientali, di entrarvi agevolmente, e di fruire spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia;
- *opere di adeguamento alla normativa per la prevenzione delle malattie professionali*: sono stati considerati tutti i fattori di rischio ambientali che hanno delle ricadute sulla sicurezza degli operatori e tutta la progettazione edile ed impiantistica è stata verificata nel rispetto degli indicatori previsti dai metodi di valutazione maggiormente diffusi del rischio da movimentazione manuale dei carichi e/o pazienti, quali MAPO, NIOSH che hanno portato sia alla definizione degli spazi e volumi architettonici, sia alla decisione di installare ausili, sollevatori fissi, di passa malati nei blocchi operatori.

Tale complesso di interventi diffusi, assieme alla necessità di ridistribuire funzionalmente la maggioranza degli ambienti di piano ha portato a decidere per una ristrutturazione completa del fabbricato che comporta la demolizione dei tavolati, dei serramenti interni ed esterni, dei sottofondi, dei pavimenti, dei rivestimenti, delle controsoffittature e della distribuzione impiantistica esistente, seguita dal completo rifacimento degli stessi secondo le specifiche di progetto, concomitante alla realizzazione di opere complementari quali l'installazione di nuovi impianti elevatori e monta lettighe antincendio, la sostituzione completa degli impianti elevatori non adeguati alle vigenti normative, la manutenzione straordinaria della copertura e il completo rifacimento delle colonne di scarico delle acque meteoriche, riportandole all'esterno del fabbricato.

La scelta dei nuovi sistemi ed elementi tecnici che realizzano l'edificio ospedaliero è avvenuta secondo una rigorosa metodologia che ne verifica la rispondenza agli specifici requisiti prestazionali e ai costi di investimento iniziale, in rapporto all'intero ciclo di vita del complesso ospedaliero, analizzandone i tempi di realizzazione e di entrata in servizio, i costi di esercizio di manutenzione e gestione, ed alla flessibilità d'uso dell'edificio. Relativamente si è quindi ricorso a materiali e tecniche realizzative che consentano facilità di montaggio (riduzione tempi di esecuzione ed incidenza manodopera) e che a lungo termine permettano un facile riassetto funzionale del complesso ospedaliero. La scelta dei materiali è stata distinta fra area "ospedaliera", direttamente riconducibile a funzioni mediche, e area "di supporto", non direttamente connessa alle funzioni mediche. Le caratteristiche dei nuovi elementi tecnici possono essere così riassunte:

Chiusure verticali opache

Per quanto riguarda i sistemi di chiusura verticali opachi, le opere previste nell'appalto riguardano la realizzazione di rivestimento a cappotto esternamente all'attuale rivestimento di facciata, realizzato da intonaco interno in gesso e sabbia posato su paramento interno in muratura di laterizio, isolamento termico, intercapedine non ventilata, paramento in calcestruzzo di vermiculite ed elemento prefabbricato di finitura esterna in calcestruzzo.

Chiusure verticali trasparenti

I serramenti esistenti in alluminio, senza taglio termico e con vetro semplice saranno sostituiti completamente con serramenti in alluminio elettrocolorato a taglio termico con vetrocamera e pellicole basso emissive, selettive, componenti gassose specifiche, per contenere le dispersioni termiche nel periodo invernale e garantire un elevato confort termico nel periodo estivo. Essi saranno dotati di dispositivo di apertura ad anta-ribalta e sistema di oscuramento composti da veneziana che consente la schermatura parziale o totale dei serramenti dall'irraggiamento solare diretto. Saranno previste finestre e parapetti che consentano la visuale anche alla persona seduta, garantendo comunque i requisiti di sicurezza e protezione dalla caduta verso l'esterno.

Chiusure orizzontali opache

Per la soletta vano tecnico (unica chiusura oggetto di intervento) si prevede l'adozione di strati tecnologici di coibentazione ed impermeabilizzazione posati a secco.

Partizioni verticali

Le partizioni interne opache saranno realizzate in genere con due doppie lastre di cartongesso sostenute da orditura metallica e integrate da interposti strati fonoassorbenti, mentre le pareti rivolte verso locali umidi avranno lastre in cartongesso idrorepellente. La compartimentazione tagliafuoco sarà realizzata o con l'utilizzo di lastre ignifughe o con pannelli in gesso fibra. Le superfici verticali interne, ove non rivestite, saranno rifinite da pitturazioni con idropittura o con smalti acrilici, lavabili e facilmente pulibili, mentre laddove siano previsti rivestimenti, essi saranno realizzati tramite teli in pvc o piastrelle di ceramica per tutta l'altezza dei locali fino al controsoffitto. Gli zoccolini battiscopa saranno coordinati col pavimento: nei locali con pavimento in pvc sarà realizzato a sguscia risvoltando sulle pareti il telo del pavimento, garantendo così il massimo della pulibilità e dell'igiene. I locali con pavimento in gres avranno zoccolino in gres con sguscia. Le porte interne avranno telaio con profilo in alluminio ed anta con pannello in polistirene rivestito sulle due facce con lastra in laminato plastico; esse avranno luce netta minima pari a 85 cm, potranno avere apertura a battente o scorrevole esterno muro oppure rototraslante qualora la mancanza di spazio le rendesse necessarie; i serramenti saranno di facile utilizzabilità anche per persone con ridotte o impedito capacità motorie o sensoriali: sarà garantita facile manovrabilità/percezione di meccanismi di apertura e chiusura, con maniglie del tipo a leva opportunamente curve ed arrotondate.

Partizioni orizzontali:

Riguardo alle partizioni orizzontali, a seguito della rimozione delle finiture esistenti e della demolizione dei massetti per i primi 2 cm di spessore al fine di regolarizzare la superficie di posa delle nuove pavimentazioni, saranno posati sottofondi "acustici" costituiti da uno strato isolante in telo di fibre e granuli di gomma vulcanizzata risvoltato lungo le pareti, uno strato di massetto alleggerito con argilla espansa, e uno strato di finitura in sabbia e cemento atto a ricevere la pavimentazione finale. Le pavimentazioni saranno distinte per grandi aree

funzionali: sarà fatta una distinzione tra le pavimentazioni interne ai reparti di degenza, ai servizi di supporto, ai depositi puliti ed ai percorsi generali dell'ospedale e quelle dei locali di servizio quali servizi igienici, spogliatoi, tisanerie, locali lavaggio, depositi sporco e locali tecnici. Le prime saranno in materiale resiliente in PVC, resistente all'abrasione e all'usura, all'acqua, agli agenti chimici, mentre nella seconda categoria di locali saranno previste pavimentazioni in grès porcellanato con finitura antidrucciolo nei locali ove può esserci presenza di acqua (docce, wc, ecc.). I pavimenti saranno di norma orizzontali e complanari tra loro, non sdruciolevoli e privi di irregolarità sia nel loro sviluppo che nell'articolazione dei giunti e dei cambi di pavimentazione; lo spigolo di eventuali soglie sarà arrotondato. Sarà garantita nelle parti comuni degli edifici una chiara individuazione dei percorsi anche mediante una adeguata differenziazione nei materiali e nel colore delle pavimentazioni.

L'intradosso dei solai esistenti sarà poi rifinito tramite la realizzazione di controsoffitti realizzati in pannelli o doghe, altamente modulari e di facile manutenzione, integrazione o variabilità e saranno in genere di tipo "chiuso", tali cioè da non consentire il passaggio di polvere del vano sopra racchiuso. Essi saranno di due tipi: fissi, quando non richiedano l'ispezionabilità del vano, in genere in doghe metalliche o lastre di cartongesso, idrorepellenti se poste in locali umidi, avvitate ai profilati metallici di sostegno, garantendo così il massimo della pulibilità e dell'igiene; smontabili quando sia richiesta l'ispezionabilità del vano, in genere per la manutenzione degli impianti.

In merito alle finiture, la scelta di materiali di finitura dai colori caldi, con una serie di combinazioni di superfici ruvide e metalliche assumono, nell'allestimento dei luoghi di cura e ricerca, nei luoghi di degenza e nell'apparato connettivo, un ruolo fondamentale dal punto di vista dell'umanizzazione: il malato deve essere sempre posto in un ambiente a misura d'uomo, sicuro, caldo e confortevole, il meno "istituzionale" possibile. Per questo motivo, a differenza della loro funzione dinamica, l'idea progettuale ha cercato di ricreare una piacevole atmosfera "domestica" e ambienti gradevoli che contribuiscano alla pronta guarigione del paziente, suscitando al contempo sensazioni di rispondenza alle necessità funzionali, di igiene e sicurezza. Gli ambienti, sin dall'ingresso principale, si propongono piacevoli con colori accostati in modo da non creare contrasti forti affinché gli spazi risultino luminosi, creando effetti caldi e gradevoli. Al color bianco puro, che evoca immediatamente un senso di pulizia, verranno perciò accostati dei colori, dall'avorio al beige, dal grigio chiaro all'azzurro, dal giallo al verde acqua, sia nei corridoi sia nelle aree dedicate alle attività di ricreazione e nei reparti e nelle stanze di degenza. Saranno colori brillanti e stimolanti nel primo caso e toni più rilassanti e distensivi nel secondo. Tutte le unità ambientali saranno dotate di arredi fissi tali da consentire il transito della persona su sedia a ruota e l'agevole utilizzabilità di tutte le attrezzature in essa contenute. Essi saranno di spigoli vivi e predisposti in maniera tale che almeno una parte di essi sia utilizzabile da persona su sedia a ruote, consentendole di espletare i suoi servizi.

Finiture

Per eliminare i rumori sia verso l'esterno sia verso l'interno, oltre alle normali chiusure verticali e orizzontali opache di cui sopra nel locale impianti si adotteranno tutti gli accorgimenti possibili per consentire il rispetto dei limiti di legge diurni e notturni: barriere acustiche fonoassorbenti, basamenti e soffitti desolati, supporti antivibranti sotto le apparecchiature.

Impianti

Durante l'intervento è prevista la realizzazione di nuovi impianti tecnologici a servizio dei piani oggetto di completa riqualificazione che funzioneranno in parallelo a quelli esistenti a servizio dei piani interessati da una ristrutturazione solo parziale, in maniera tale da garantirne la continuità operativa del blocco. Si è infatti valutato che in relazione alla vetustà degli impianti esistenti e alla non rispondenza alle necessità attuali (tubazioni di piccolo diametro, cavi non rispondenti alle vigenti normative, ecc.) risulta indispensabile alimentare le aree oggetto di intervento con impiantistica completamente rinnovata nei collegamenti tra le centrali primarie e le nuove sottocentrali del 7° piano e nei terminali dal 1° al 6° piano. Al piano sotterraneo e all'11° rimarranno invece attive le sottocentrali necessarie ad alimentare solo i terminali impiantistici esistenti ai piani non oggetto di completa ristrutturazione.

Le condizioni ambientali saranno ottenute con differenti soluzioni impiantistiche a seconda dei requisiti termoigrometrici e igienici richiesti dalla funzione svolta, distinguibili in:

- *requisiti elevatissimi*: per gli ambienti in cui si svolgono le attività dinamiche più delicate quali blocco operatorio, U.C.C. immunodepressi, preparazione antiblastici e sale risveglio; sono ottenuti con impianti di condizionamento a tutt'aria esterna e accurato controllo delle condizioni termoigrometriche, delle portate, del livello di pressione e della qualità dell'aria ambiente;
- *requisiti medi*: per stanze di degenza, ambulatori e studi medici; sono ottenuti con impianti di condizionamento del tipo misto ad aria primaria e pannelli radianti a soffitto con riscaldamento invernale e raffrescamento estivo;
- *requisiti normali*: per spogliatoi; sono ottenuti con impianti di condizionamento del tipo misto ad aria primaria e radiatori per il riscaldamento invernale;
- *requisiti bassi*: per servizi igienici, magazzini e depositi; sono ottenuti con impianti di riscaldamento invernale e aspirazione forzata.

In generale, ai terminali in ambiente è dunque affidato il compito di sopperire alle dispersioni invernali e ai rientri estivi di calore sensibile, mentre alle UTA è demandata la funzione di rinnovo dell'aria, trattata per essere immessa in ambiente in condizioni neutre.

I nuovi terminali di erogazione sono costituiti da pannelli radianti modulari a soffitto per effettuare sia il riscaldamento che il raffrescamento di base. Nei servizi igienici delle degenze sono previsti corpi scaldanti sotto forma di scaldasalviette, mentre per i vani scala sono previsti

radiatori. Le zone di comunicazione (ascensori e scale) sono dimatizzate tramite impianto a ventilconvettori posizionati in controsoffitto.

Ai terminali sarà affiancato un sistema di trattamento e ricambio dell'aria progettato secondo le destinazioni d'uso dei vari ambienti e reparti. Le canalizzazioni si distribuiranno dapprima nei vani tecnici, quindi entro cavedi verticali e infine, mediante percorsi a soffitto, si collegheranno a tutti gli organi di mandata e ripresa aria del piano, dotati di serrande di regolazione posizionate sulle canalizzazioni di mandata (Tabola 02).

Il sistema di regolazione sarà gestito e monitorato dal sistema di gestione BMS (Building Management System) dell'intera struttura ospedaliera, non lasciando agli utenti finali la possibilità di intervenire per regolare la temperatura.

Così come previsto per i fluidi tecnici, si procede all'alimentazione del 7° piano con la rete di acqua potabile, da qui distribuita ai piani sottostanti. Si prevede di produrre acqua calda a uso sanitario a questo piano mediante serbatoi di accumulo (bollitori) accessoriati di scambiatori incorporati, alimentati dalla linea acqua surriscaldata che provvederà a scaldare l'acqua dei serbatoi fino alla temperatura di accumulo di 65°C. L'acqua calda sanitaria così prodotta ed accumulata nei serbatoi sarà immessa nelle reti di distribuzione alla temperatura di 50°C, ottenuta a mezzo di valvola di miscela, e mantenuta in circolazione continua a mezzo delle pompe di ricircolo. Poiché l'acqua calda potabile delle sottocentrali idriche e delle reti di distribuzione, che alimenta tutte le varie utenze alla temperatura di circa 45°C costituisce terreno di coltura per il proliferare del batterio della legionella pneumophila, è stato previsto un sistema di dosaggio di prodotto battericida al fine di proteggere sia i bollitori di accumulo che le reti di distribuzione. La produzione di acqua calda sanitaria pensata del tipo ridondante con serbatoi installati in parallelo in maniera tale da poter essere bypassati per manutenzioni senza interrompere l'erogazione dell'alimentazione idrica.

Impianto idrico sanitario

Dalle centrali esistenti saranno derivate due nuove linee di acqua refrigerata e di acqua surriscaldata che convoglieranno i fluidi tecnologici alle nuove sottocentrali di scambio e rilancio previste in progetto al 7° piano e al piano 11° in sola predisposizione.

Sottocentrali

Al piano settimo il fluido caldo (135 °C) viene convogliato ad una serie di scambiatori di calore per abbassare la temperatura (80 °C per i circuiti ad alta temperatura, 40 °C per i circuiti a bassa temperatura) e distribuito alle UTA (batterie di pre e post riscaldamento) e ai terminali radianti (radiatori e soffitti radianti). Un'altra quota dell'acqua surriscaldata a 135°C sarà invece convogliata senza ulteriori scambi ai produttori indiretti di vapore pulito da destinare all'umidificazione a bassa pressione degli ambienti mediante iniezione nelle apposite sezioni delle unità trattamento aria e ai produttori di acqua calda sanitaria. Per la distribuzione dei fluidi caldi sono state previste tre batterie di pompaggio (gruppi pompe acqua surriscaldata, gruppi pompe acqua calda ad alta temperatura e gruppi pompe acqua calda a bassa temperatura).

Il fluido refrigerato (7 °C) viene convogliato a una batteria di pompaggio per la distribuzione dei fluidi alle UTA (batteria di raffreddamento) e ai terminali radianti (soffitti radianti), previa miscelazione per raggiungere temperature più alte atte a prevenire fenomeni di condensazione.

Per garantire massima flessibilità di utilizzo e limitare il fermo impianto per manutenzioni ordinarie e/o straordinarie, si è optato per l'installazione di unità trattamento aria di dimensioni ridotte asservite alla dimattizzazione di alcuni settori o utenze caratterizzati da funzioni sanitarie omogenee. Tutte le unità saranno dislocate al 7° piano (fatta eccezione di quella destinata esclusivamente all'unità U.C.C. e di quella destinata esclusivamente al locale di preparazione farmaci antitumorali, rispettivamente al 2° e al 1° piano). L'aria verrà aspirata dall'esterno dei fabbricati da più prese poste in copertura, purificata con idonei filtri, trattata termoisolometricamente, immessa in ambiente, ripresa ed espulsa all'esterno sempre in copertura. Sarà ammessa la presa e l'espulsione d'aria esterna in facciata solo per le UTA destinate alle degenze ed ai locali di tipo ordinario. L'umidificazione dell'aria di tutte le centrali UTA viene effettuata con l'utilizzo del vapore "pulito" prodotto nella nuova sottocentrale.

Durante la fase dei lavori bisognerà altresì provvedere al riposizionamento delle macchine attualmente dedicate al ricambio dell'aria del piano 2° (pediatria sezione A e B) non oggetto di intervento, collocandole al piano impianti, e alla realizzazione della rete aerologica di collegamento tra la macchina e la distribuzione aria già posizionata nel controsoffitto dei due reparti.

Impianto di distribuzione

Al fine garantire la continuità operativa dell'edificio monoblocco durante l'intervento di riqualificazione e per via della vetustà degli impianti esistenti, non rispondenti alle odierne esigenze, è prevista la realizzazione di nuove colonne impiantistiche che funzioneranno parallelamente a quelle esistenti a servizio dei piani interessati da una ristrutturazione solo parziale. Tutte le tubazioni di distribuzione fluidi caldi/freddi esistenti (idrico-sanitari, riscaldamento, dimattizzazione), realizzate a incasso nella muratura, verranno progressivamente affiancate da nuove colonne montanti per l'adduzione di acqua calda e fredda ai terminali di nuova costruzione e per lo scarico di acque piovane e acque nere dei nuovi servizi igienici, che potranno essere collocate sia esternamente al fabbricato sia al suo interno in nuovi vani verticali, senza necessità di smurare le tubazioni esistenti dal piano primo fino alla copertura. I nuovi montanti dovranno pertanto essere predisposte e servire anche i piani 8°, 9° e 10° oggetto di ristrutturazione parziale. Anche i servizi igienici esistenti verranno collegati alle nuove colonne al fine di permettere la completa dismissione delle tubazioni di adduzione e scarico fluidi esistenti a tutti i piani dell'edificio monoblocco dal 1° all'11°.

Per quanto concerne la rete di distribuzione dei gas medicali si prevede una derivazione dalle dorsali esistenti alla base del monoblocco (O₂ e aria compressa medica. Per i settori oggetto di intervento non viene previsto l'uso di protossido di azoto). Una nuova cabina di pompaggio sarà prevista al 7° piano per la produzione di vuoto per i piani oggetto di intervento e per l'intero monoblocco a regime.

L'intero edificio sarà protetto, agli effetti della prevenzione incendi, oltre che dalle compartimentazioni, anche da un impianto fisso di spegnimento ad acqua, costituito da idranti antincendio disposti in maniera tale da coprire tutta la superficie dei piani. Ad integrazione saranno anche installati estintori portatili del tipo a polvere in genere e a gas atossico in alcuni ambienti particolari, uniformemente distribuiti ai piani ad alcuni in locali a rischio specifico (vani tecnici, depositi, e cc.).

L'impianto sarà collegato alla centrale antincendio dell'ospedale e verrà realizzato riqualificando l'esistente, riposizionando i terminali in posizione adeguata e riprogettando le colonne montanti.

Come tutte le tipologie impiantistiche presenti in una struttura sanitaria, anche gli impianti elettrici ricoprono un'importanza fondamentale, sia per la loro utilità legata intrinsecamente alle attività curative (apparecchiature elettromedicali), sia per il grado di sicurezza che tali installazioni devono avere per l'utilizzo dell'utente finale che ne usufruisce. Le tipologie di distribuzione e consegna dell'energia elettrica che saranno presenti nella struttura ospedaliera oggetto di intervento sono di tre tipi:

- *Energia normale:* quella fornita dall'ente erogatore e pensata per alimentare carichi e apparecchiature la cui attività è routinaria;
- *Energia di emergenza:* prodotta da generatori autonomi dalla rete il cui tempo di risposta non è immediato e che comunque va a sopperire a un possibile black-out causato ad attività e apparecchiature di importanza elevata;
- *Energia di sicurezza o di continuità assoluta:* prodotta da UPS ed accumulatori (batterie) il cui tempo di risposta è immediato e che va a sopperire a un possibile black-out causato ad attività ed apparecchiature di importanza vitale.

Per la vetustà degli impianti esistenti di distribuzione e la difficoltà di alimentare i reparti oggetto d'intervento dal quadro generale di distribuzione esistente per via della mancanza di dispositivi di protezione adeguati alla potenza elettrica richiesta, è stato pensato di alimentare tali impianti partendo da una nuova cabina di trasformazione MT/BT e da nuove apparecchiature a servizio del sistema di sicurezza.

Sarà dunque realizzata una cabina elettrica in calcestruzzo per contenere le apparecchiature necessarie per trasformare la media tensione in bassa tensione e alloggiare il generatore di emergenza. Dalla cabina fino al lato ovest della sezione D del monoblocco sarà realizzato un cavidotto per poi proseguire con un cavedio esterno in verticale fino all'ultimo piano. Ai piani secondo, quinto, sesto e settimo saranno realizzate delle aperture per poter raggiungere le apparecchiature che saranno collegate direttamente dalla cabina di trasformazione, mentre per le altre linee sarà utilizzato il settimo piano come locale tecnico per l'alloggiamento di quadri elettrici di distribuzione, impianti tecnologici e apparecchiature riguardanti gli impianti speciali. Dal livello settimo al livello primo all'interno del fabbricato saranno realizzati cavedi verticali ricavati nel vano corsa di alcuni degli attuali ascensori che verranno smantellati, per

poter posare le vie cavi per l'allacciamento dei quadri di reparto. Ad ogni piano saranno poi realizzati due locali tecnici con caratteristiche REI 120, per l'installazione dei quadri elettrici di reparto e gli apparecchi relativi agli impianti speciali. Oltre a tali cavedi sarà inoltre realizzato un nuovo cavedio nella scala centrale della sezione D, con lo scopo di alloggiare le vie cavi provenienti dalla cabina MT/BT esistente, per collegare l'alimentazione di riserva ai gruppi di continuità e i quadri elettrici dei nuovi ascensori antincendio.

Gli impianti meccanici saranno alimentati e gestiti da propri e indipendenti impianti elettrici che attingeranno l'energia necessaria tramite conduttori provenienti dai quadri generali di bassa tensione degli impianti elettrici generali. Da essi si dipartiranno le linee di collegamento, siano esse di potenza che di ausiliari che di trasmissione dati, e di alimentazione di tutti i motori ed apparecchiature elettriche degli impianti termomeccanici, ivi comprese quelle della regolazione automatica elettronica, le linee di terra, i collegamenti equipotenziali, le linee di tutte le regolazioni di zona, le linee di tutti gli allarmi e segnalazioni ed ogni altra linea relativa alle apparecchiature termomeccaniche. Si prevede in questa fase di realizzare i quadri di regolazione e gestione, nonché i quadri di potenza asserviti agli impianti meccanici, in locale dedicato da prevedersi al settimo piano.

Riqualificazione d'immagine

Si è discusso in precedenza in merito al concetto odierno di qualità del servizio sanitario, che al giorno d'oggi non riguarda più soltanto le prestazioni mediche erogate da una struttura ospedaliera ma un insieme più complesso di requisiti atti ad aumentare l'umanizzazione e la centralità del paziente. Ciò porta a dover pensare a un ospedale non solo in termini di funzionalità, perseguendo una qualità "tecnica" che riguarda l'adeguatezza degli spazi e dei servizi di accoglienza, ma anche ponendo attenzione alla sua qualità architettonica finalizzata a mettere l'utente in uno stato di benessere fisico, mentale e sociale. Tra gli aspetti che possono influire sul benessere psicologico dell'utente, infatti, la percezione dello spazio interno ed esterno assume un peso rilevante, divenendo strumento attivo in grado di rasserenare e rassicurare il paziente invece che oggetto neutro e passivo, legato alla sola logica funzionale.

La riqualificazione funzionale e tecnologica dell'edificio Monoblocco sarà quindi sfruttata per riqualificare contestualmente anche l'immagine del complesso ospedaliero. Tale aggiornamento comporterà quindi la scelta di materiali e finiture di tutti i componenti edilizi atti a soddisfare le suddette esigenze psicologiche dell'individuo che si trova in un momento di debolezza e sconforto, sia dell'ambiente interno che di quello esterno: l'aspetto esteriore di un edificio, infatti, è come un biglietto da visita che contribuisce a definire la percezione psicologica dell'utente, quasi come se potesse riflettere esternamente il livello qualitativo ambientale e funzionale presente al suo interno oltre che quello del servizio sanitario fornito. Le nuove facciate del San Carlo, immutate dagli anni '60, dovranno perciò essere aggiornate anche in termini estetici, in modo da accogliere l'utente fornendo una prima immagine di sé – e, per estensione, di tutto l'ospedale – più attuale e solida, riflesso di una struttura sanitaria al passo coi tempi e con l'evoluzione delle tecniche mediche, accogliente e rassicurante. Ciò potrà comunque avvenire nel rispetto dell'immagine originaria dello stabile, instaurando un dialogo tra presente e passato attraverso accorte scelte riguardanti la scansione dei prospetti, le proporzioni dei pieni e dei vuoti, la pulizia d'immagine, i colori dei materiali di finitura, ecc.

3.4.1 Le prestazioni della facciata

La redazione di un programma prestazionale in relazione alle attività e alle condizioni di comfort degli ambienti interessati dal progetto sarà utile a definire le risposte che ogni subsistema deve fornire per garantire la qualità finale dell'oggetto. Quest'ultima è infatti definita dalla UNI 10838:1999 – "Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia" come "l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'organismo edilizio o di sue parti che conferiscono ad essi la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni, esigenze espresse o implicite". In altre parole essa rappresenta il grado di rispondenza delle prestazioni di un prodotto ai requisiti e alle esigenze che ne hanno guidato la concezione, la progettazione e la costruzione, secondo un approccio esigenziale-prestazionale.

*L'approccio
esigenziale-
prestazionale*

L'approccio prestazionale è la pratica di pensare e operare in termini di obiettivi piuttosto che di mezzi. Si tratta cioè di definire il comportamento (la prestazione) che un oggetto (l'edificio) deve fornire a prescindere dalla tecnologia con cui sarà realizzato, piuttosto che descrivere l'oggetto in base alle specifiche caratteristiche tecnologiche come prevedrebbe un approccio di tipo oggettuale. La specificazione di prestazione è però l'esito di un processo di analisi più ampio che passa prima attraverso l'individuazione delle esigenze, dei requisiti e delle prestazioni, così definiti dalla UNI 10838:

- esigenza: ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica;
- requisito: traduzione di un'esigenza in fattori atti a individuare le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e/o di sollecitazione;
- prestazione: comportamento reale dell'organismo edilizio e/o delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione;
- specificazione di prestazione: espressione del requisito secondo valori di variabili e/o attributi univocamente determinati che definiscono l'obiettivo di qualità da perseguire attraverso il progetto.

In altre parole, la lettura del tipo di utenza in termini di categorie e numeri, delle modalità di utilizzo degli ambienti, delle attività che in esso si svolgono, sarà fondamentale per comprendere le esigenze necessarie all'utilizzo dell'edificio, ovvero i bisogni dell'utenza finale. Ad esempio, alcune tra le esigenze richieste dall'utenza di un edificio per uffici saranno quelle di *comfort termico* e di *salubrità dell'aria*.

Tali esigenze saranno trasposte a livello tecnico in requisiti, ovvero in richieste rivolte a un dato elemento tecnico affinché questo possieda determinate caratteristiche che soddisfano le

sudette esigenze, in prefissate condizioni d'uso e in presenza di determinati fattori esterni. Proseguendo con l'esempio cominciato, l'esigenza *comfort termico* sarà tradotta nel requisito di *isolamento termico*, mentre l'esigenza *salubrità dell'aria* sarà tradotta nel requisito di *ventilazione*.

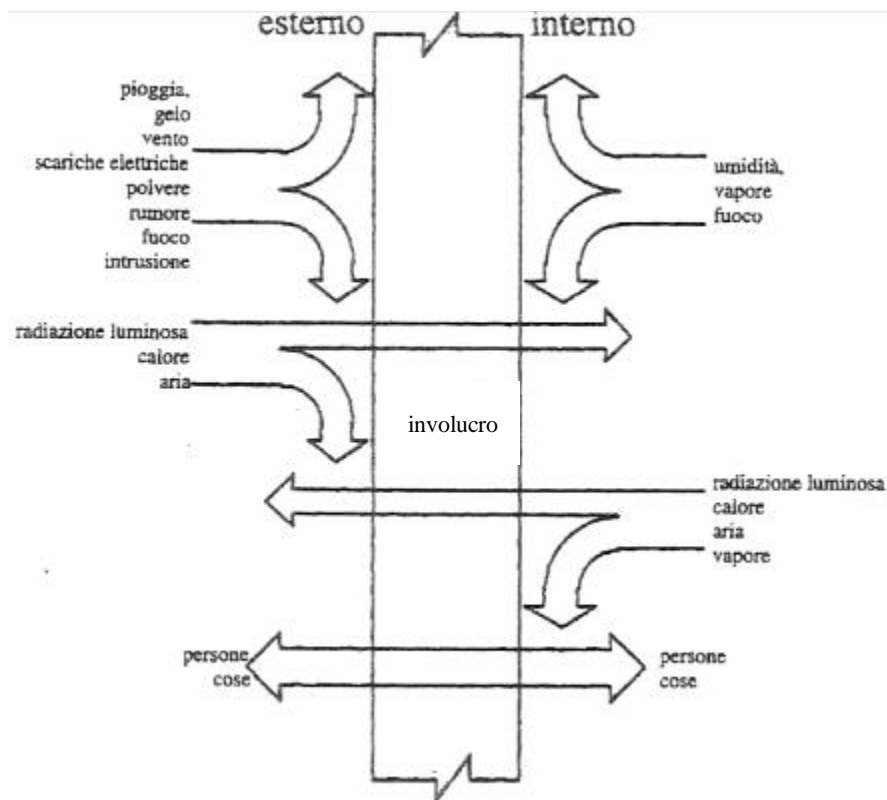
Infine, stabilite quali elementi tecnici e/o spaziali del sistema edilizio sono atti a soddisfare i requisiti individuati, essi saranno tradotti in specificazioni di prestazione per attribuire all'elemento valori quantitativi e misurabili che siano indice del livello di soddisfacimento del requisito. Assieme ai valori che devono essere assicurati saranno indicati i metodi di verifica, le procedure unificate di calcolo, le prove sperimentali standardizzate in opera e/o laboratorio, o criteri di giudizio tendenzialmente univoci. La normativa vigente sarà perciò un ausilio essenziale fornendo un riferimento nella determinazione delle specificazioni di prestazione di ogni unità tecnologica, tenendo comunque presente che le verifiche imposte dalle normative rappresentano sempre livelli minimi inderogabili non necessariamente sufficienti a garantire gli obiettivi di progetto. Per esempio, la specificazione di prestazione del requisito *isolamento termico* sarà l'imposizione di un valore limite di *trasmissione termica* U [W/m^2K] per ogni pacchetto di involucro, mentre la traduzione del requisito *ventilazione* sarà l'individuazione di un *tasso di ricambio dell'aria* a seconda della tipologia di utenza degli ambienti, esprimibile in vol/h , utile alla determinazione della portata di aria esterna di rinnovo.



Il caso specifico di un elemento di involucro rappresenta un'unità tecnologica piuttosto complessa, in quanto esso, in qualità di filtro complesso e multifunzionale tra esterno e interno, deve assolvere a un ampio insieme di prestazioni, quali:

Le prestazioni dell'involucro

- trasmissione dei carichi permanenti e accidentali alla struttura portante;
- separazione e definizione degli spazi interni rispetto all'esterno;
- difesa degli spazi interni dagli agenti esterni;
- regolazione della trasmissione dei flussi energetici tra interno ed esterno;
- regolazione dei flussi luminosi e della visibilità tra interno ed esterno;
- regolazione della ventilazione degli spazi interni;
- regolazione del passaggio di persone e cose tra interno ed esterno.



La norma UNI 8289:1981 – “Esigenze dell’utenza finale. Classificazione” definisce 7 classi di esigenza dell’utenza finale:

- sicurezza: insieme delle condizioni relative all’incolumità degli utenti, nonché alla difesa e alla prevenzione di danni dipendenti da fattori accidentali, nell’esercizio del sistema edilizio;
- benessere: insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute e allo svolgimento delle attività degli utenti;
- fruibilità: insieme delle condizioni relative all’attitudine del sistema edilizio ad essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività;
- aspetto: insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti;
- gestione: insieme delle condizioni relative all’economia di esercizio del sistema edilizio;
- integrabilità: insieme delle condizioni relative all’attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro;
- salvaguardia dell’ambiente: insieme delle condizioni relative al mantenimento e al miglioramento degli stati dei sovrasistemi di cui il sistema edilizio fa parte.

Nella norma non vengono tuttavia disarticolate le classi di esigenza in singole esigenze, che quindi non risultano ben definite.

La norma UNI 8290-2:1983 – “Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti” definisce invece 63 requisiti, ad esempio:

- affidabilità: capacità di mantenere sensibilmente invariata nel tempo la propria qualità in condizioni d'uso determinate;
- anigroscopicità: attitudine a non subire mutamenti di aspetto e/o morfologia, di dimensione e comportamento in seguito ad assorbimento di acqua o di vapor d'acqua;
- asetticità: attitudine ad impedire l'impianto e lo sviluppo dei germi patogeni;
- assenza dell'emissione di odori sgradevoli;
- assenza dell'emissione di sostanze nocive;
- assorbimento acustico: attitudine di un oggetto a trasformare parte dell'energia di una radiazione sonora su di esso incidente, in altre forme di energia;
- ecc.

Essi non vengono tuttavia attribuiti né alle diverse classi di esigenza (dovrebbero in realtà essere riferiti alle esigenze, che però non sono state definite) né agli elementi tecnici e/o spaziali e tantomeno vengono indicate le modalità di stima o misura delle prestazioni, cioè non sono definite le singole specificazioni.

Rapportando dunque le esigenze espresse nella UNI 8289 ai requisiti espressi nella UNI 8290-2 si sono evidenziate in una tabella riassuntiva le specifiche richieste a un elemento di partizione perimetrale verticale che racchiuda ambienti in cui si svolgono attività sanitarie:

Tabella 2 -
Correlazione esigenze-
requisiti per
l'involucro di facciata
di un edificio a
destinazione d'uso
ospedaliera

| CORRELAZIONE ESIGENZE-REQUISITI PER L'INVOLUCRO DI FACCIATA DI UN EDIFICIO A DESTINAZIONE D'USO OSPEDALIERA | ESIGENZE (UNI 8289) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----------|-------------|-------------------------|------------------|----------|-----------------|-----------|---------|------------|---------|---------|----------|--------------|-----------|----------------------------|
| | sicurezza | | | | benessere | | | | | fruibilità | aspetto | | gestione | | integrità | salvaguardia dell'ambiente |
| | di stabilità | al fuoco | dell'utenza | di protezione da azioni | termoigrometrico | acustico | ottico-luminoso | olfattivo | tattile | | interno | esterno | economia | manutenzione | | |
| REQUISITI (UNI 8290) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Affidabilità | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Anigrosopicità | | | X | | X | | | | | | X | X | | | | |
| Asetticità | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| Assenza dell'emissione di odori sgradevoli | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| Assenza dell'emissione di sostanze nocive | | | X | | | | | | | | | | | | | X |
| Assorbimento acustico | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| Assorbimento luminoso | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| Attitudine all'integrazione impiantistica | | | | | | | | | | X | X | | X | X | | |
| Attrezzabilità | | | | | | | | | X | X | X | | | X | | |
| Comodità d'uso e manovra | | | X | | | | | | X | | | | | | | |
| Comprensibilità delle manovre | | | X | | | | | | X | | | | | | | |
| Controllo del contenuto energetico intrinseco | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| Controllo del fattore solare | | | | | X | | | | | | | X | | | | X |
| Controllo del flusso luminoso | | | | | | X | | | | | | | | | | X |
| Controllo del rumore prodotto | | | | | | X | | | | | | | | | | X |
| Controllo dell'aggressività dei fluidi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo della combustione | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo della condensazione interstiziale | | | X | | X | | | | | X | X | | X | | | |
| Controllo della condensazione superficiale | | | X | | X | | | | | X | X | | X | | | |
| Controllo dell'inerzia termica | | | | | X | | | | | | | X | | | | X |
| Controllo della portata | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo della pressione di erogazione | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo della scabrosità | | | X | | | | | X | | X | X | | | | | |
| Controllo della temperatura dei fluidi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo della temperatura di uscita dei fumi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo delle dispersioni (fluidi, gas, elettricità) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo delle dispersioni di calore per rinnovo d'aria | | | | | X | | | | | | | X | | | | X |
| Controllo delle dispersioni di calore per trasmissione | | | | | X | | | | | | X | X | | | | X |

| | ESIGENZE (UNI 8289) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|----------|-------------|---------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|---------|------------|---------|---------|----------|--------------|-----------|----------------------------|
| | sicurezza | | | | benessere | | | | fruibilità | aspetto | | gestione | | integrità | salvaguardia dell'ambiente |
| | di stabilità | al fuoco | dell'utenza | di protezione da azioni termoisolante | acustico | ottico-luminoso | olfattivo | tattile | | interno | esterno | economia | manutenzione | | |
| REQUISITI (UNI 8290) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Controllo delle tolleranze | | | | | | | | | X | X | | | | X | |
| Degradazione biologica dei liquami | | | | | | | | | | | | | | | |
| Efficienza | | | | | | | | | | | | | | | |
| Facilità di intervento | | | | | | | | | | | X | X | | | |
| Idrorepellenza | | | X | | | | | | X | X | | | | | |
| Impermeabilità ai fluidi aeriformi | | | X | X | | X | | | | | | | | | |
| Impermeabilità ai fluidi liquidi | | | X | X | | | | | X | X | | | | | |
| Integrazione | | | | | | | | | X | X | X | X | X | | |
| Isolamento acustico | | | | | X | | | | | | | | | | |
| Isolamento elettrico | | | X | X | | | | | | | | | | | |
| Isolamento termico | | | | X | | | | | | | | | | | X |
| Limitazione dei rischi di esplosione | | | | | | | | | | | | | | | |
| Manutenibilità | | | | | | | | | X | X | | X | | | |
| Pulibilità | | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Reazione al fuoco | | X | | | | | | | | | | | | | |
| Recuperabilità | | | | | | | | | | | X | | | | X |
| Regolabilità | | | X | X | | X | | X | | | | X | X | | |
| Resistenza agli agenti aggressivi | | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Resistenza agli attacchi biologici | | | X | X | | | | | X | X | | X | | | |
| Resistenza al fuoco | | X | | | | | | | | | | | | | |
| Resistenza al gelo | | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Resistenza alle intrusioni | | | X | | | | | | | | | | | | |
| Resistenza all'irraggiamento | | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Resistenza meccanica | X | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Riparabilità | | | | | | | | | X | X | | X | | | X |
| Smaltimento di gas nocivi | | | X | | | | | | | | | | | | |
| Sostituibilità | | | | | | | | | X | X | | X | | | |
| Stabilità chimico reattiva | | | X | | | | | | X | X | | X | | | |
| Stabilità morfologica | | | | | | | | | X | X | | X | X | | |
| Tenuta agli aeriformi | | | X | X | | X | X | | | | | | | | |
| Tenuta all'acqua | | | X | X | | | | | X | X | | | | | |
| Tenuta alla grandine | | | X | X | | | | | X | X | | | | | |
| Tenuta alla neve | | | X | X | | | | | X | X | | | | | |
| Tenuta alle polveri | | | X | X | | | | | X | X | | | | | |
| Ventilazione | | | X | X | | | | | | | | | | | X |

Basandosi sulle definizioni date dalla normativa appare evidente come alcuni requisiti siano fondamentali nella definizione delle caratteristiche che un elemento di facciata deve possedere (es: resistenza meccanica, resistenza al fuoco, tenuta agli agenti atmosferici), altri requisiti siano non strettamente necessari per l'elemento tecnico ma comunque utili a migliorarne le prestazioni in opera (es: attitudine all'integrazione impiantistica, facile manutenibilità), mentre altri ancora non siano richiesti da un componente di chiusura in quanto inerenti ad altre unità tecnologiche come i sistemi impiantistici (es: controllo della combustione, controllo della temperatura dei fluidi).

Emerge inoltre una differenza tra requisito a requisito relativamente al grado di controllo che il tecnico può avere in fase progettuale e relativamente alle possibili specifiche di prestazione: per requisiti come la resistenza meccanica, l'isolamento termico o l'isolamento acustico esistono infatti ampie basi teoriche e sperimentali che consentono al progettista di effettuare dimensionamenti, calcoli e verifiche al fine di prevedere esattamente la prestazione che potrà fornire l'oggetto di studio e attribuite ad esso chiare specifiche di prestazione; ci sono poi altri tipi di requisito, quali ad esempio la tenuta all'acqua o la sostituibilità agevole di componenti edilizi, sui quali il progettista ha un controllo "limitato" in quanto la prestazione in opera dipende sostanzialmente da scelte riguardanti i materiali, la tecnologia costruttiva o la modalità di posa, ma la cui prestazione non può essere calcolata analiticamente.

Di seguito si procederà quindi con la traduzione del primo tipo di requisiti in specifiche di prestazione cui le facciate riqualificate dell'Ospedale San Carlo Borromeo saranno chiamate a rispondere e nei confronti delle quali saranno svolte le verifiche. Ovviamente anche il secondo tipo di requisiti sarà di fondamentale importanza nella definizione della più consona strategia da adottare per il progetto di redcladding, nelle prime fasi decisionali così come nella progettazione puntuale dei dettagli tecnologici. Il progetto sarà quindi redatto in relazione al controllo o implementazione delle seguenti prestazioni:

3.4.1.1 Resistenza meccanica

L'involucro dell'edificio nella maggior parte dei casi non contribuisce alle caratteristiche portanti della struttura dell'edificio ma risulta essere un elemento con una funzione statica autonoma e come tale deve comunque essere soggetto ad una verifica di tipo statico. Una facciata, che sia di nuova costruzione o costituita da una tecnologia preesistente e da una stratigrafia applicata a posteriori, deve quindi garantire un'adeguata resistenza meccanica e stabilità evitando il crollo parziale o completo dell'intera opera e ammettendo deformazioni in esercizio entro certi limiti.

A tale scopo, al progettista spetta il compito di dimensionare ogni elemento che la compone in base alle azioni sollecitanti agenti su di essi, tipicamente dovute alle azioni permanenti – peso proprio di tutti gli elementi che costituiscono la struttura della facciata e peso portato di tutti gli elementi non strutturali: il tamponamento (opaco o trasparente) ed eventuali sistemi di schermatura – e ai carichi variabili distribuiti – il vento considerato come una pressione

ortogonale alla facciata e l'azione sismica – o concentrati – la pressione di un corpo che urta la chiusura. Le verifiche verranno condotte agli stati limite ultimi e di esercizio: i primi hanno lo scopo di garantire la sicurezza nei confronti del collasso, verificando che le azioni massime di progetto siano minori di quelle resistenti, mentre i secondi hanno la finalità di garantire la sicurezza in fase di esercizio, controllando che la deformazione degli elementi sotto l'effetto del carico sia inferiore al limite dettato dalle normative vigenti.

In merito al progetto di redadding che prevede l'aggiunta di strati o elementi alla facciata esistente, sarà inoltre necessario verificare la resistenza di quest'ultima e la compatibilità coi nuovi carichi ad essa applicati. Nel successivo sviluppo progettuale applicato al caso di studio non saranno tuttora effettuate analisi di tipo strutturale se non limitatamente considerazioni di carattere generale, demandando tale tipo di verifica a un successivo livello di progettazione.

Per quanto riguarda gli elementi di involucro trasparenti in particolare, la normativa UNI EN 12210 – “Finestre e porte. Resistenza al carico ciclico del vento. Classificazione” definisce una classificazione dei livelli di resistenza al vento, essendo questa la prestazione più rilevante per un serramento. Il test consiste nell'inserire il serramento in un cassone e nel creare, mediante apposite macchine di compressione, le condizioni di pressione P_1 , P_2 e P_3 . P_1 è la pressione statica ovvero il carico di vento di progetto da calcolarsi secondo la metodologia prevista dalla Circolare 4 luglio 1996 n°156AA.GG./STC, P_2 è la pressione pulsante pari a $0,5 P_1$ per 50 cicli, P_3 è definita pressione di sicurezza posta pari a $1,5 P_1$. Il serramento sottoposto alle pressioni P_1 e P_2 non deve presentare né difetti visibili ad occhio nudo alla distanza di 1 metro e con illuminazione naturale né rotture o deformazioni permanenti che provochino il degrado funzionale del serramento. Al termine del test la permeabilità all'aria del serramento non deve aumentare oltre il 20%. Alla pressione P_3 il serramento sottoposto a prova deve rimanere chiuso e non sono ammessi distacchi di parti nonostante siano accettabili eventuali difetti nei singoli componenti (flessioni e svergolamenti negli accessori, fessurazioni nei telai).

Sono quindi definite 5 classi di resistenza al vento in funzione del carico di vento di progetto P_1 . E' prevista inoltre la classe E_{xxxx} da attribuire a serramenti che debbano essere testati a carichi del vento superiori a quelli previsti per la classe 5. Pertanto un serramento resistente a 2300 Pa sarà classificato E_{2300} mentre ad uno resistente alla pressione di 3000 Pa verrà attribuita la classe E_{3000} .

| Classi di resistenza al vento | P_1 | $P_2 = 0,5 P_1$ | $P_3 = 1,5 P_1$ |
|-------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------|
| 0 | | Serramento non classificato | |
| 1 | 400 | 200 | 600 |
| 2 | 800 | 400 | 1200 |
| 3 | 1200 | 600 | 1800 |
| 4 | 1600 | 800 | 2400 |
| 5 | 2000 | 1000 | 3000 |
| E_{xxxx} | xxxx | | |

Tabella 3 - UNI 12210
– Classi di resistenza al vento

Sono inoltre definite tre classi (A, B, C) connotate rispettivamente dai valori della freccia massima di inflessione di 1/150, 1/200 e 1/300 della lunghezza dell'elemento di telaio considerato. Le classi di resistenza al vento e le classi di freccia relativa frontale devono poi essere combinate in una classificazione globale come illustrato nella tabella che segue.

Tabella 4 -
Classificazione
combinata:
resistenza al vento +
freccia massima

| Classe di resistenza al vento del serramento | Classi della freccia relativa frontale | | |
|---|--|--------------------|--------------------|
| | classe A (1/150) | classe B (1/200) | classe C (1/300) |
| 1 | A1 | B1 | C1 |
| 2 | A2 | B2 | C2 |
| 3 | A3 | B3 | C3 |
| 4 | A4 | B4 | C4 |
| 5 | A5 | B5 | C5 |
| E _{xxxx} | AE _{xxxx} | BE _{xxxx} | CE _{xxxx} |

La scelta delle classi di prestazione ambientale da richiedere ai serramenti estivi deve essere operata sulla base delle caratteristiche tipologiche e costruttive dell'edificio e del contesto geografico-ambientale in cui è inserito: tipo di esposizione (zona riparata, esposta, ecc.), zona di vento, distanza dalla costa, altezza sul livello del mare, condizioni climatiche dell'ambiente esterno, orientamento.

I criteri di scelta delle prestazioni possono essere tratti dal documento UNCSAAL (unione nazionali costruttori serramenti alluminio acciaio leghe) UX23, risultato di uno sviluppo e un aggiornamento di quanto già codificato nella norma tecnica UNI 7979, poiché rispetto al 1979, anno in cui fu pubblicata, sono cambiati sia i prodotti, oggi più performanti di ieri, sia le regole tecniche (nuovi metodi di prova e di classificazione), sia le caratteristiche del contesto ambientale. I carichi di vento non sono più quelli in vigore nel 1979, anzi risultano essere stati decisamente incrementati. I criteri di scelta sono stati visualizzati a mezzo di prospetti in cui le diverse classi di prestazione definite dalle nuove norme europee appaiono combinate con le condizioni ambientali e contestuali più significative.

Le classi di resistenza al vento proposte nel prospetto 9 derivano dal confronto tra le classi della UNI EN 12210 e i valori dei carichi di vento di progetto calcolati seguendo la metodologia della Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC ipotizzando di considerare un edificio stagno e una parete sopravento e di porre unitario il valore del coefficiente dinamico c_d . Per le singole zone di vento sono state anche considerate delle limitazioni sull'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge l'edificio di progetto. Tali valori devono essere integrati con l'indicazione della classe della freccia frontale.

Tabella 5 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di resistenza al vento per serramenti in zona di vento 1

| Esposizione dell'edificio | | Classi di rugosità del terreno | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|---|------|--|----------|--|---------|--------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|
| | | Classe A Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 metri | | Classe B Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive | | Classe C Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ecc.); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D. | | | | Classe D Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ecc.). | | | |
| | | d, distanza dalla costa (Km) | | d, distanza dalla costa (Km) | | d, distanza dalla costa (Km) e altitudine (m) | | | | d, distanza dalla costa (Km) e altitudine (m) | | | |
| Zona di vento | Altezza edificio (m) | d≤30 | d>30 | d≤30 | d>30 | d≤10 | 10<d≤30 | d>30 e z≤500 | d>30 e z>500 | d≤30 | d>30 e z≤500 | d>30 e z>500 | d>30 e z>750 |
| 1 (B _s ≤1000) | 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 20 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | 40 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 60 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 80 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |

B_s è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge l'edificio di progetto.

Ai nuovi serramenti in progetto sarà dunque richiesta una classe di resistenza al vento B3.

3.4.1.2 Permeabilità all'aria e tenuta all'acqua

Essendo l'involucro dell'edificio l'elemento di separazione fisica tra ambiente esterno e interno, ad esso è affidato il compito di garantire i due requisiti ambientali che concernono la permeabilità all'aria – definita come la quantità d'aria che attraversa i giunti di un elemento per effetto di una differenza di pressione fra superficie esterna ed interna – e la tenuta all'acqua – ovvero la capacità, in presenza di una differenza di pressione, di evitare il passaggio dell'acqua fino a raggiungere parti interne dell'edificio che non sono state progettate per essere bagnate. Per gli elementi tecnici di involucro, come un serramento o una facciata continua, entrambi questi parametri sono misurati sperimentalmente in laboratorio al fine di attribuire una classe di prestazione in relazione alle condizioni di prova.

Le classi di permeabilità all'aria sono riportate nella UNI EN 12207 relativamente ai m³ di aria che passano attraverso il serramento in funzione dei metri lineari dei giunti o dell'intera superficie.

| Classi | Note |
|--|--|
| 4 <i>(livello massimo della prestazione)</i> | Il serramento appartiene a questa classe nel caso in cui la perdita massima a 100 Pa sia di 3 m³/hm² se riferita all'intera area del serramento oppure di 0,75 m³/hm se riferita alla lunghezza dei giunti apribili del serramento. La curva permeabilità-pressione riferita ai metri lineari di giunto apribile o alla superficie totale è contenuta nello spazio 4 di Fig. 1. La pressione di prova massima prevista per l'attribuzione in questa classe è 600 Pa . |
| 3 | Il serramento appartiene a questa classe nel caso in cui la perdita massima a 100 Pa sia di 9 m³/hm² se riferita all'intera area del serramento oppure di 2,25 m³/hm se riferita alla lunghezza dei giunti apribili del serramento. La curva permeabilità-pressione riferita ai metri lineari di giunto apribile o alla superficie totale è contenuta nello spazio 3 di Fig. 1. La pressione di prova massima prevista per l'attribuzione in questa classe è 600 Pa . |
| 2 | Il serramento appartiene a questa classe nel caso in cui la perdita massima a 100 Pa sia di 27 m³/hm² se riferita all'intera area del serramento oppure di 6,75 m³/hm se riferita alla lunghezza dei giunti apribili del serramento. La curva permeabilità-pressione riferita ai metri lineari di giunto apribile o alla superficie totale è contenuta nello spazio 2 di Fig. 1. La pressione di prova massima prevista per l'attribuzione in questa classe è 300 Pa . |
| 1 <i>(livello minimo della prestazione)</i> | Il serramento appartiene a questa classe nel caso in cui la perdita massima a 100 Pa sia di 50 m³/hm² se riferita all'intera area del serramento oppure di 12,50 m³/hm se riferita alla lunghezza dei giunti apribili del serramento. La curva permeabilità-pressione riferita ai metri lineari di giunto apribile o alla superficie totale è contenuta nello spazio 1 di Fig. 1. La pressione di prova massima prevista per l'attribuzione in questa classe è 150 Pa . |

Tabella 6 - UNI 12207 - Classi di permeabilità all'aria per serramenti

Le classi di tenuta all'acqua sono invece definite nella UNI EN 12208 – “Finestre e porte. Tenuta all'acqua. Classificazione”, in funzione del tempo per cui non presentano infiltrazioni d'acqua, quando sottoposti a getti d'acqua con determinati livelli di pressione. Per fissare le idee, alla classe 1 appartengono i serramenti che sottoposti per 15 minuti a getto d'acqua alla pressione di 50 Pa non presentano infiltrazioni, mentre nel massimo livello prestazionale (classe 9) rientrano quelli che risultano impermeabili dopo 55 minuti di la vaggio alla pressione di 600 Pa. Oltre i 600 Pa di pressione ai campioni che non presentano infiltrazioni d'acqua per un minimo di 5 minuti deve essere attribuita la classe E con indicato a pedice la pressione di prova. Pertanto un serramento impermeabile alla pressione di 750 Pa sarà classificato E₇₅₀ mentre ad uno che non presenta infiltrazioni d'acqua alla pressione di 900 Pa verrà attribuita la classe E₉₀₀. Le classi dipendono infine dalla presenza o meno di schermi o protezioni, come per esempio logge o porticati, attribuendo una lettera A oppure una lettera B a seconda che si tratti di serramenti pienamente esposti o parzialmente protetti.

Tabella 7 - UNI 12208
- Classi di tenuta
all'acqua per
serramenti

| Classificazione | | Pressione (Pa) | Specificazioni |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------|--|
| Serramenti pienamente esposti | Serramenti parzialmente protetti | | |
| 0 | 0 | - | Non classificabile |
| 1A | 1B | 0 | Infiltrazione d'acqua per 15 minuti |
| 2A | 2B | 50 | Come nella classe 1 + 5 minuti (totale 20 minuti) |
| 3A | 3B | 100 | Come nella classe 2 + 5 minuti (totale 25 minuti) |
| 4A | 4B | 150 | Come nella classe 3 + 5 minuti (totale 30 minuti) |
| 5A | 5B | 200 | Come nella classe 4 + 5 minuti (totale 35 minuti) |
| 6A | 6B | 250 | Come nella classe 5 + 5 minuti (totale 40 minuti) |
| 7A | 7B | 300 | Come nella classe 6 + 5 minuti (totale 45 minuti) |
| 8A | * | 450 | Come nella classe 7 + 5 minuti (totale 50 minuti) |
| 9A | * | 600 | Come nella classe 8 + 5 minuti (totale 55 minuti) |
| E _{xxxx} | * | >600 | Dopo i 600 Pa si procede per passi di 150 Pa alla volta e la durata di ogni passo sarà di 5 minuti |

*: Per pressioni superiori a 300 Pa il metodo di prova B che simula la condizione di parziale protezione dei serramenti non è applicabile. A quelle pressioni si deve far riferimento al metodo di prova A relativo a serramenti pienamente esposti.

Nell'intervento di redadding, la quantificazione di queste due prestazioni può essere tutt'altro che banale, a fronte di pacchetti tecnologici esistenti per i quali raramente esiste una classificazione né è semplice testare sperimentalmente le caratteristiche, mentre è più semplice nel momento in cui i lavori prevedano la sostituzione parziale o totale delle chiusure. In questo caso, al tecnico che progetta la riqualificazione compete la scelta delle classi di prestazione ambientale da richiedere ai nuovi elementi di facciata, che deve essere effettuata sulla base delle caratteristiche tipologiche e costruttive dell'edificio e del contesto geografico-ambientale in cui è inserito: zona di vento, classe di rugosità del terreno, zona climatica, altezza dell'edificio, esposizione del serramento.

Per l'edificio in esame, si definiscono le classi di permeabilità all'aria e tenuta all'acqua in base ai prospetti proposti dal documento UX24.

| Tipo di esposizione dell'edificio | | Classi di rugosità del terreno (Circolare 4/7/96 n°156 AA.GG./STC; cfr. Prospetto 6) | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--|-------------|---|--|-------------|---|---|-------------|---|
| | | Classe D Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati: aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ecc. | | | Classi B e C Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ecc.), aree urbane in cui meno del 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 metri, aree suburbane, industriali, boschive. | | | Classe A Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 metri | | |
| | | Zone climatiche** | | | Zone climatiche** | | | Zone climatiche** | | |
| Zona di vento (cfr. Fig. 1 Prospetto 5) | Altezza dell'edificio (m) | A B | C D E | F | A B | C D E | F | A B | C D E | F |
| 1 | 10 | - | 2 | 3 | - | 2 | 3 | - | 2 | 3 |
| | 20 | - | 3 | 3 | - | 3 | 3 | - | 2 | 3 |
| | 40 | - | 3 | 3 | - | 2 | 3 | - | 3 | 3 |
| | 60 | - | 4 | 4 | - | 3 | 3 | - | 3 | 3 |
| | 80 | - | 4 | 4 | - | 4 | 4 | - | 4 | 4 |
| | 100 | - | 4 | 4 | - | 4 | 4 | - | 4 | 4 |

Tabella 8 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di permeabilità all'aria

| Tipo di esposizione dell'edificio | | Classi di rugosità del terreno (Circolare 4/7/96 n°156 AA.GG./STC; cfr. Prospetto 6) | | | | | |
|---|---------------------------|--|----------------------|---|----------|---|----------|
| | | Classe D Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati: aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ecc. | | Classi B e C Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ecc.), aree urbane | | Classe A Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 metri | |
| | | esposizione del serramento | | esposizione del serramento | | esposizione del serramento | |
| Zona di vento (cfr. Fig. 1 Prospetto 5) | Altezza dell'edificio (m) | piena | parziale | piena | parziale | piena | parziale |
| 1 | 10 | 5A | 5B | 4A | 4B | 4A | 4B |
| | 20 | 6A | 6B | 5A | 5B | 5A | 5B |
| | 40 | 7A | 7B | 6A | 6B | 6A | 6B |
| | 60 | 8A | 8A*** | 7A | 7B | 7A | 7B |
| | 80 | 9A | 9A*** | 8A | 8A*** | 8A | 8A*** |
| | 100 | E _{xxx} | E _{xxx} *** | 9A | 9A*** | 9A | 9A*** |

Tabella 9 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di tenuta all'acqua

I nuovi serramenti dovranno avere almeno classe di permeabilità all'aria 3 e classe di tenuta all'acqua 7A.

Se si ritenesse necessaria, nelle successive fasi di progettazione, l'installazione di facciate continue, sarà possibile determinare le classi di resistenza al vento, permeabilità all'aria e tenuta all'acqua in modo del tutto analogo, utilizzando rispettivamente le classi proposte dalle normative EN 13116, UNI EN 12152 e UNI EN 12154 assieme ai criteri di scelta proposti dal documento UX28.

3.4.1.3 Benessere termoigrometrico

Il comfort termoigrometrico, coincidente alla sensazione di neutralità termica nella quale un utente non ha percezione di caldo o freddo, dipende dagli scambi termici tra il corpo umano e l'ambiente che lo circonda. La temperatura e l'umidità relativa dell'aria alle quale si pensa automaticamente sono dunque due grandezze che regolano il fenomeno, ma non certamente le uniche: oltre ai parametri legati ai processi di regolazione termica del corpo umano, al metabolismo, agli indumenti, alla respirazione e alla traspirazione, dipendenti sostanzialmente dalle caratteristiche dell'utenza, anche la temperatura radiante delle superfici, i flussi convettivi dell'aria, l'asimmetria della radiazione termica, sono importanti fattori da tenere in considerazione.

Analogamente, a livello tecnico, l'isolamento termico della facciata cui si pensa di primo acchito non è l'unica strategia per mantenere le condizioni di comfort desiderate: ridurre i disperdimenti energetici attraverso l'involucro è sicuramente il primo approccio per il controllo ambientale, ma il controllo degli apporti gratuiti, dei fenomeni di surriscaldamento, dei flussi d'aria sono strategie altrettanto importanti. Il progettista dell'intervento di re-cladding potrà dunque operare, oltre che sull'isolamento termico delle chiusure, anche sulla capacità termica, sulla selettività delle parti trasparenti, sui sistemi di oscuramento e sulla ventilazione degli ambienti. Non si dimentichi inoltre che nella maggior parte dei casi, la modifica di una proprietà dell'involucro, specialmente quando ha incidenza sulle caratteristiche termoigrometriche e sull'aerazione dell'edificio, necessita parallelamente una modifica del sistema impiantistico o della sua gestione, o quantomeno un adeguamento del comportamento dell'utenza.

Le verifiche riguarderanno quindi le prestazioni fornite dai singoli pacchetti tecnologici che delimitano l'ambiente (trasmittanza, temperature superficiali e interne alle stratigrafie, fattore d'inerzia, fattore solare, ecc.) ma anche l'ambiente nel suo complesso per valutare le ricadute che la scelta di certe tecnologie e la loro applicazione sull'edificio esistente hanno in termini di ponti termici, ombreggiamento, comportamento energetico in regime non stazionario, ecc.

Tra mite la riqualificazione dell'involucro in esame, l'edificio oggetto di studio, con destinazione d'uso di tipo ospedaliero, dovrà soddisfare le seguenti specifiche di prestazione:

Isolamento termico

È il parametro principale per il controllo dell'isolamento termico di una facciata, esprimendo il flusso di calore che attraversa l'unità di superficie sottoposta a una differenza di temperatura tra le due facce (interna ed esterna) pari a 1 °C. I valori minimi di trasmittanza degli elementi di involucro degli edifici sono regolati dal D.P.R. 59/2009 a seconda della zona climatica in cui si colloca il fabbricato. I valori limite di trasmittanza per le chiusure verticali dell'edificio in esame, sito in zona climatica E, sono quelli evidenziati in tabella.

Tabella 10 - Valori limite di trasmittanza termica dei componenti di involucro secondo D.P.R. 59/2009 [W/m²K]

| Zona climatica | Strutture rivolte verso l'esterno ovvero verso ambienti a temperatura non controllata | | | |
|----------------|---|--------------------------------|-----------|---|
| | Opache verticali | Opache orizzontali o inclinate | | Chiusure trasparenti comprensive di infissi |
| | | Coperture | Pavimenti | |
| D | 0,36 | 0,32 | 0,36 | 2,4 |
| E | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 2,2 |
| F | 0,33 | 0,29 | 0,32 | 2,0 |

Tabella A.2.1 - Valori limite della trasmittanza termica espressa in W/m²K.

Controllo della condensazione

Un'altra prestazione fondamentale che un elemento di involucro deve garantire è il controllo della formazione di fenomeni di condensazione, la cui presenza ha ricadute sulla salubrità degli ambienti, sulle prestazioni dei materiali che compongono la stratigrafia nonché sull'aspetto estetico delle soluzioni stesse, causando il degrado dei materiali edilizi non protetti che sono sensibili all'umidità. Il fenomeno della condensazione del vapore acqueo presente nell'aria avviene quando il flusso, attraversando o lambendo un elemento edilizio, giunge a saturazione per via di una diminuzione di temperatura. In tale condizione l'acqua subisce una transizione di fase passando dallo stato gassoso allo stato liquido, definita condensazione superficiale quando il fenomeno avviene su una faccia della chiusura oppure condensazione interstiziale quando il fenomeno avviene all'interfaccia tra due strati interni alla parete o all'interno dei pori di uno dei materiali costituenti la stratigrafia.

All'interno degli ambienti abitati la condensazione del vapore d'acqua può essere accettata temporaneamente e in piccole quantità, per esempio sulle finestre o sulle piastrelle di bagni o cucine, se la superficie è impermeabile all'umidità e sono assunte misure adeguate per prevenire il contatto con materiali adiacenti sensibili, mentre nel caso ciò avvenga frequentemente o su superfici porose e igroscopiche, essa può provocare la formazione non tollerabile di muffe che pregiudicano le condizioni igieniche dell'ambiente interessato.

Per prevenire tale situazione, la normativa UNI EN ISO 13788:2013 – “Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia: Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale. Metodi di calcolo” definisce il metodo per progettare l'involucro edilizio in modo da prevenire gli effetti negativi dell'umidità relativa critica in corrispondenza delle superfici.

Da un lato impone quindi che la temperatura superficiale degli elementi di involucro sia sempre superiore alla temperatura di rugiada dell'aria interna, dall'altro propone la metodologia per il calcolo dei diagrammi di Glaser, utili a rappresentare il profilo della pressione parziale di vapore all'interno di un elemento di involucro da confrontare con il profilo della pressione di saturazione; in questo modo si può verificare – seppur con un certo grado d'incertezza per il fatto che molti aspetti del reale fenomeno fisico vengono trascurati ²⁴

²⁴ La trasmissione del vapore all'interno delle strutture edilizie è un processo molto complesso e la conoscenza dei suoi meccanismi, delle proprietà dei materiali, delle condizioni iniziali e al contorno è spesso inadeguata e ancora in via di sviluppo. La normativa propone quindi metodi di calcolo semplificati, basati sull'esperienza e sulle conoscenze comunemente accettate. Essa si basa infatti su alcune semplificazioni e presupposti:

- riguarda l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale, e non considera anche le altre eventuali concause all'insorgere dell'umidità come acqua contenuta nel terreno, acqua meteorica, umidità di costruzione, trasporto di vapore nelle intercapedini e cavità
- prevede che siano noti tutti i dati che caratterizzano l'elemento analizzato dal punto di vista termico e della permeabilità al vapore, non sempre determinabili con accuratezza
- non tiene conto di alcuni importanti fenomeni fisici, quali: la dipendenza della conduttività termica dal contenuto di umidità, lo scambio di calore latente, la variazione delle proprietà dei materiali, la risalita capillare e il trasporto di acqua liquida all'interno dei materiali, il moto dell'aria attraverso fessure o intercapedini, la capacità igroscopica dei materiali, la tridimensionalità del problema; di conseguenza il metodo può essere applicato solo a strutture nelle quali questi effetti sono trascurabili

– se sussiste o meno il pericolo di condensazione nel momento in cui i parametri ambientali interni ed esterni vengano a coincidere con quelli posti alla base della verifica.

Qualora la verifica evidenziasse la possibilità di fenomeni di condensazione, è necessario calcolare la portata d'acqua condensata e verificare che essa possa smaltita per evaporazione durante i mesi estivi, pur considerando il rischio di degrado dei materiali edilizi e il decadimento delle prestazioni da essi fornite. La quantità ammissibile di condensa presente in un elemento alla fine del periodo di condensazione è correlata al materiale in cui essa si verifica ma in ogni caso non può superare 500 g/m².

Tabella 11 – UNI 13788 – Prospetto quantità limite di condensa ammissibile alla fine del periodo di condensazione

| Materiale | Densità [kg/m ³] | Q _{amm} [g/m ²] |
|---|------------------------------|--------------------------------------|
| Laterizi | 600 - 2 000 | ≤ 500 |
| Calcestruzzi | 400 - 2 400 | ≤ 500 |
| Legnami e derivati | 500 - 800 | ≤ 30 ρ d |
| Intonaci e malte | 600 - 2 000 | ≤ 30 ρ d |
| Fibre di natura organica: con collanti resistenti all'acqua con collanti non resistenti all'acqua | 300 - 700 300 - 700 | ≤ 20 ρ d ≤ 5 ρ d |
| Fibre minerali | 10 - 150 | ≤ 5 000 ρ d [λ/(1 - 1,7 λ)] |
| Materie plastiche cellulari | 10 - 80 | ≤ 5 000 ρ d [λ/(1 - 1,7 λ)] |
| Nota d è espresso in [m] e ρ in [kg/m ³]. | | |

Nel caso in cui anche tale verifica non fosse soddisfatta, sarà necessario rivedere le scelte progettuali prese, intervenendo sui valori di rinnovo di aria oppure sulle caratteristiche termiche e/o di resistenza al vapore del componente edilizio in esame. Nel primo caso sarà necessario progettare un sistema di ventilazione che garantisca un rinnovo di aria adeguato, a ventilazione meccanica controllata, per esempio con sistemi di estrazione meccanica fornita di successivi filtri, dotata di controllo delle portate di estrazione e di reintegro. Il controllo della qualità dell'aria e dei fattori di rischio originate dall'inadeguata sanificazione degli ambienti è infatti un requisito fondamentale in ambito ospedaliero per garantire la sicurezza contro contaminazioni e propagazione di malattie infettive.

Nel secondo caso si rende necessaria la revisione del componente edilizio; se il problema evidenziato interessa la sezione corrente è necessario prendere provvedimenti con l'adozione di una o più delle seguenti linee di intervento:

- non considera che le reali condizioni al contorno non sono costanti nel periodo mensile, oltre che trascurare gli effetti delle radiazioni termiche e con lunghezza d'onda elevata.

Per questi motivi il metodo dovrebbe essere considerato come uno strumento di valutazione piuttosto che di previsione accurata: esso permette di confrontare soluzioni costruttive diverse e di verificare gli effetti delle modifiche apportate alla struttura, fornendo tuttavia risultati imprecisi rispetto al reale fenomeno fisico e generalmente cautelativi. La norma stessa precisa che per alcuni componenti edilizi e per alcuni climi i risultati del calcolo possono essere estremamente inaffidabili e si deve usare grande cautela nell'interpretazione dei risultati.

- disporre verso il lato esterno gli strati caratterizzati da maggiore resistenza termica R, verso il lato interno gli strati caratterizzati da maggiore resistenza alla diffusione del vapore (tale intervento tuttavia non risulta sempre possibile: per esempio una copertura piana deve inevitabilmente presentare uno strato di impermeabilizzazione con elevata resistenza alla diffusione del vapore sul lato estremo);

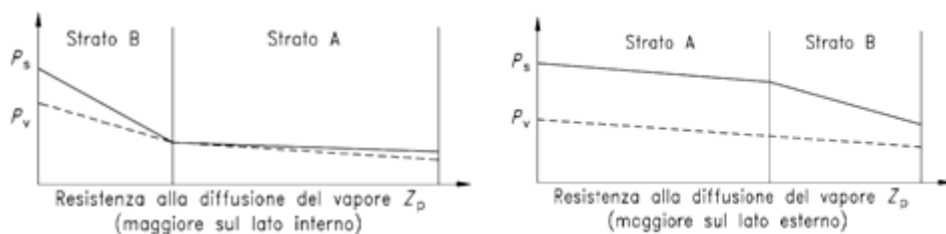


Figura 17 - UNI 13788 - Figura NA.2a e Na.2b - Confronto comportamento di una parete bistrato al variare della stratigrafia

- evitare la formazione di condensa impedendo al vapore di diffondere nella struttura, mediante l'inserimento sul lato interno di uno strato di materiale di notevole resistenza alla diffusione del vapore; la sua l'adozione, tuttavia, deve essere sempre valutata con molta cautela, in quanto con la sua presenza spesso possono avere luogo inconvenienti come il verificarsi di una riduzione dell'asciugamento estivo, l'intrappolamento dell'umidità presente all'atto della costruzione del fabbricato (per strutture gettate in opera con impermeabilizzazione sul lato esterno), la perdita col tempo delle caratteristiche della barriera. In genere se la quantità di condensa formatasi risulta ammissibile, per una ulteriore riduzione, è sconsigliabile porre in opera uno strato barriera al vapore; è auspicabile invece una più accurata progettazione dell'involucro edilizio;



Figura 18 - UNI 13788 - Figura NA.3 - Effetto dell'inserimento di una barriera al vapore

- introdurre uno strato di ventilazione al fine di aumentare la possibilità di smaltimento dell'acqua condensata.

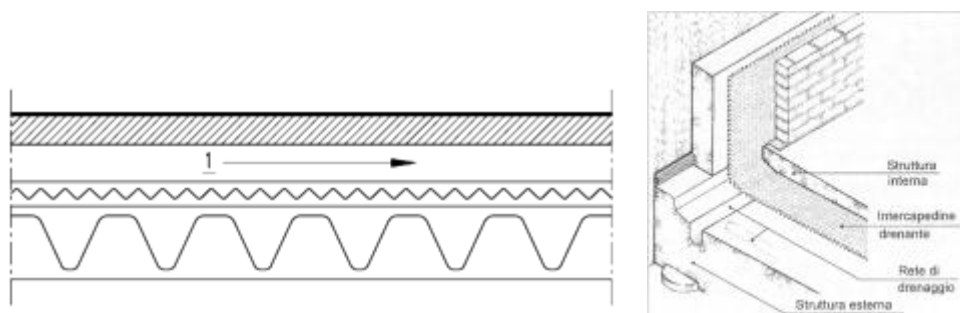
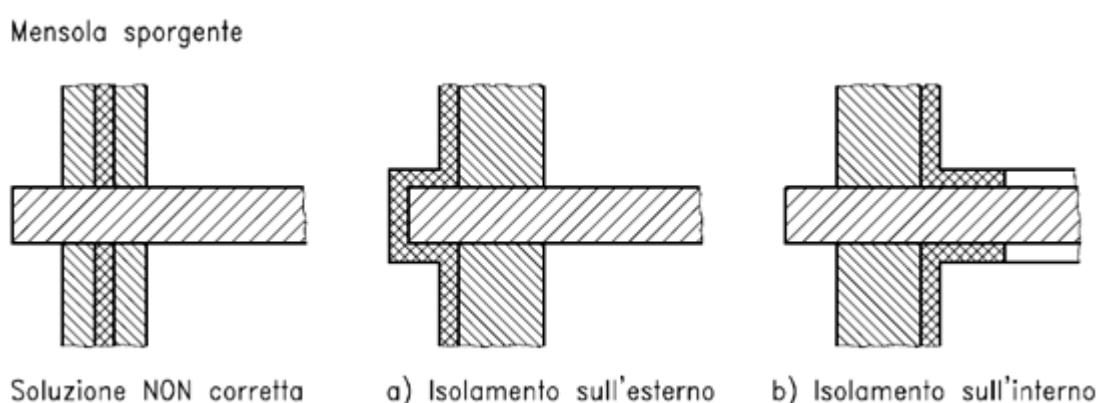


Figura 19 - UNI 13788 - Figura NA.4 - Esempio di elemento di involucro ventilato e di impermeabilizzazione con cavità drenata

Se invece la condensazione si verifica nelle zone di interfaccia tra diversi elementi costruttivi, si dovrà cercare di ridurre il più possibile i percorsi preferenziali del flusso termico, sia interponendo materiali isolanti di rivestimento, sia mediante un più opportuno disegno delle zone di accoppiamento. In particolare, se la parete corrente comprende uno strato di materiale isolante, sarà opportuno cercare di mantenere la continuità di tale strato, anche in corrispondenza ai nodi strutturali. Ove ciò non fosse possibile, nel disegno delle zone di accoppiamento si dovrà cercare di incrementare la lunghezza del percorso del flusso termico, in modo da aumentare così la resistenza al suo passaggio.

Figura 20 – UNI 13788 – Figura NA.1
– Esempio di correzione di ponte termico



Controllo dell'irraggiamento solare

La radiazione solare diretta entrante nell'edificio attraverso le superfici di involucro trasparenti, benché apprezzata come fonte energetica gratuita, deve essere adeguatamente controllata: in un clima relativamente caldo, essa rappresenta una delle principali fonti di potenziale surriscaldamento degli ambienti interni e causa di discomfort locale, oltre a causare condizioni di contrasto visivo e deterioramento dei materiali; allo stesso tempo essa rappresenta una delle più importanti risorse di energia sostenibile che tutti i progettisti hanno a disposizione, utile per alleviare il carico energetico richiesto per riscaldare e illuminare gli ambienti nel periodo invernale. Il suo controllo deve quindi mirare al raggiungimento del miglior compromesso tra il comportamento estivo, periodo nel quale la radiazione va evitata, e il comportamento invernale, quando è invece auspicabile sfruttarne il più possibile.

Per limitare il flusso di radiazione entrante nell'edificio il progettista ha due opzioni: da un lato prevedere un sistema di schermature solari che impediscano alla radiazione di giungere sulla superficie vetrata, dall'altro regolare la restante quota parte di radiazione che le colpisce operando scelte in merito alle proprietà delle vetrazioni.

Vetrazione

Come è noto ai tecnici del settore, la radiazione solare che colpisce un vetro viene in parte riflessa, in parte assorbita e in parte trasmessa. Rapportando ciascuna di queste componenti al flusso di radiazione totale incidente è possibile definire i fattori adimensionali di riflessione, assorbimento e trasmissione del vetro (ρ , τ e α , con $\rho + \tau + \alpha = 1$), sia per quanto concerne i flussi luminosi (per lunghezza d'onda della radiazione visibile comprese nella fascia tra 380 e 780 nm, corrispondente al 42% della radiazione totale che giunge sulla terra) sia per quanto riguarda i flussi energetici valutati sull'intero spettro solare. In merito alla radiazione solare è inoltre possibile calcolare il fattore solare $g = \tau + c \alpha$, che rappresenta la porzione di energia solare incidente che entra attraverso la vetrazione, costituita quindi dalla somma dell'energia trasmessa e della quota c di energia assorbita e riemessa verso l'ambiente interno.

I valori di tali parametri variano in funzione delle caratteristiche del vetro quali il colore, lo spessore e l'eventuale presenza di coating all'interno del vetrocamera: il deposito di ossidi metallici in faccia 2 o in faccia 3 conferisce alla vetrazione proprietà riflettenti, impedendo a una quota parte della radiazione incidente di oltrepassare la lastra esterna di vetro, o bassoemissive, che invece impediscono alla radiazione termica di uscire attraverso la lastra interna.

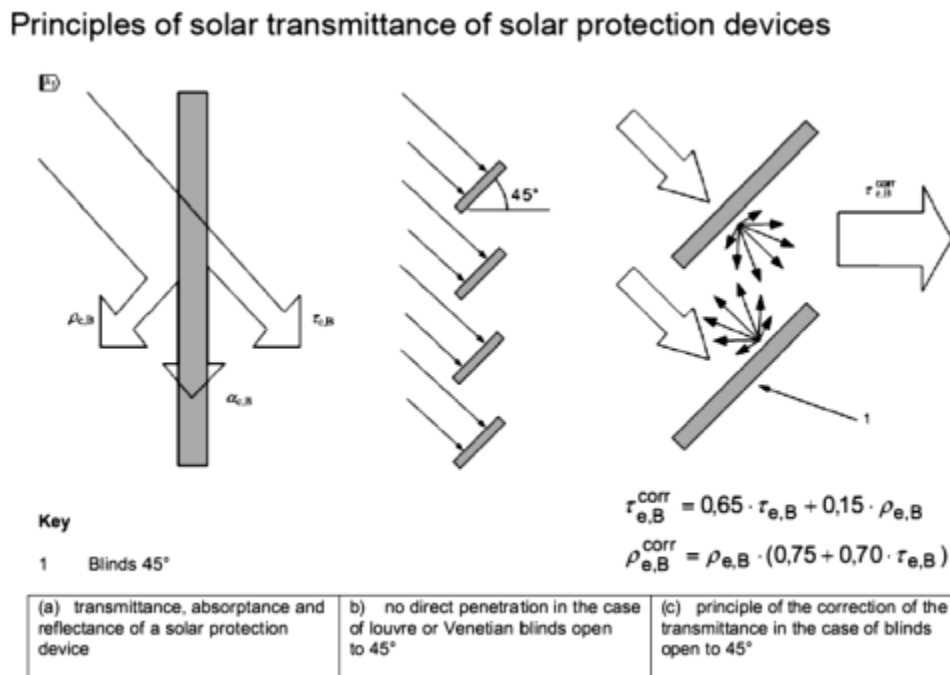
Schermature solari

L'efficacia dei sistemi di schermatura della radiazione solare è invece prevalentemente determinata dalla loro geometria e posizione rispetto alla superficie trasparente da proteggere. La scelta della tipologia di schermatura da adottare deve essere in primo luogo dettata dall'orientamento della campitura vetrata: per le facciate esposte a sud è bene prevedere schermature orizzontali che blocchino la radiazione quando il sole è alto in cielo, mentre a est e a ovest è preferibile prevedere schermature verticali che intercettino i raggi solari quando hanno piccoli angoli d'incidenza sull'orizzontale. Quando esse siano parallele alla superficie trasparente è invece importante la loro collocazione rispetto al vetro; il posizionamento all'interno dell'involucro è sconsigliato in quanto le schermature bloccano la radiazione solo quando essa ha già attraversato la superficie vetrata: in questo frangente, la radiazione infra-rossa che colpisce le superfici interne viene assorbita e riemessa con lunghezze d'onda maggiori che non sono più in grado di uscire dal vetro, dando così origine a un effetto serra che non previene il surriscaldamento degli ambienti. Il miglior metodo per schermare la radiazione diretta è quindi bloccarla prima che essa attraversi l'involucro dell'edificio, prevedendo cioè schermature solari esterne. Una terza possibilità è l'installazione di schermature nell'intercapedine della vetrazione per aumentare il grado di protezione dagli agenti atmosferici (ad esempio in edifici alti o esposti a forti raffiche di vento) ma in questo caso è bene che l'intercapedine in cui sono installati sia ventilata al fine di evitare il surriscaldamento della stessa. Ulteriore parametro che influenza l'efficacia delle schermature solari è la possibilità di movimentarle: schermature orientabili, scorrevoli o avvolgibili

consentiranno una regolazione ottimale del flusso energetico e luminoso in correlazione alle variazioni delle condizioni esterne (ad esempio a seconda della stagione o delle ore della giornata) ma avranno un costo maggiore.

Anche per le schermature solari sono stati definiti i fattori di riflessione, assorbimento e trasmissione solare, che possono tuttavia variare in funzione dell'orientazione delle lamelle. È infine possibile valutare il fattore solare g che stavolta vale per l'insieme vetratura più schermatura solare, con lo stesso significato illustrato in precedenza. La procedura per il calcolo di tale valore è indicata nella norma UNI EN 13363-1:2008 – “Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate. Calcolo della trasmittanza solare e luminosa. Metodo semplificato”.

Figura 21 - UNI 13363 - Principi di trasmittanza solare delle schermature solariso



La regolazione della radiazione solare entrante negli edifici è codificata nella Deliberazione Giunta Regionale DGR 22 dicembre 2008 n. VIII/8745 “Determinazioni in merito alle disposizioni per l’efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici” dispone che “al fine di limitare i fabbisogni energetici per la dimattizzazione estiva o il raffrescamento e di contenere la temperatura interna degli ambienti, il progettista, con applicazione limitata alle parti di edificio oggetto dell’intervento: a) valuta e documenta l’efficacia dei sistemi schermanti, che devono essere tali da ridurre del 70% l’irradiazione solare massima sulle superfici trasparenti durante il periodo estivo e tali da consentire il completo utilizzo della massima irradiazione solare incidente durante il periodo invernale; nel caso di ristrutturazioni edilizie che coinvolgano il 25% o meno della superficie disperdente dell’edificio a cui l’impianto è asservito, nel caso di manutenzioni straordinarie, nel caso di ampliamenti volumetrici, sempreché il volume lordo a temperatura controllata o dimattizzato della nuova porzione sia inferiore o uguale al 20% dell’esistente e nel caso di recupero a fini

abitativi di sottotetti esistenti è consentito impiegare al posto dei sistemi schermanti sistemi filtranti che assicurino le stesse prestazioni. Nel caso di documentata impossibilità tecnica di raggiungere il 70% di riduzione dell'irradiazione solare massima estiva con i soli sistemi schermanti è consentita l'adozione combinata di sistemi schermanti e sistemi filtranti".

La verifica del contenimento dell'irradiazione solare deve essere eseguita tramite la formula per il calcolo degli apporti solari attraverso le strutture trasparenti esterne contenuta nell'allegato tecnico al Decreto n. 5796 dell'11 giugno 2009:

$$Q_{s,i} = N \cdot \sum_j \left[\bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i A_{L,i} \cdot (1 - F_{F,i}) \cdot \underbrace{F_{S,i,j} \cdot F_{(sh+g),i,j}} \cdot g_{L,i} \right) \right] \quad (35)$$

dove:

$Q_{s,i}$ è l'apporto di calore dovuto alla radiazione solare attraverso le superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno, [kWh];

N è il numero dei giorni del mese considerato;

$\bar{H}_{s,j}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione, j , (Prospetto XIV), [kWh/m²];

$A_{L,i}$ è la superficie lorda del serramento vetrato, i , (assunta pari a quella dell'apertura realizzata sulla parete), [m²];

$1 - F_{F,i}$ è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio per il serramento i , pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata, si assume un valore convenzionale pari a 0,80;

$F_{S,i,j}$ è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per la superficie i , con esposizione j , da calcolare con l'equazione (36);

$F_{(sh+g),i,j}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i , con esposizione j , definito dalla (37), ovvero di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da 0° (incidenza normale), giacché tiene esplicitamente conto della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, sia per il serramento con schermature che per il serramento senza schermature;

$g_{L,i}$ è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i , (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_L , di alcuni tipi di vetro sono riportati nel Prospetto XV: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore).

Poi che l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente, la superficie lorda del serramento vetrato e il coefficiente di riduzione dovuto al telaio sono parametri fissati sui quali il progettista di un intervento di redadding può raramente intervenire, si procederà a verificare che il prodotto degli ultimi tre fattori sia < 0,3 affinché si abbia una riduzione del 70% su tutto il resto. $F_{S,i,j}$ è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per la superficie i , con esposizione j , dipendente da fattori correlati alle ostruzioni esterne, agli oggetti orizzontali e verticali. $F_{(sh+g),i,j}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i , con esposizione j ; esso tiene conto del tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, della trasmittanza di energia solare diretta e diffusa del serramento in presenza di sistemi

schermanti²⁵ e della riduzione dovuta all'indinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata; infine $g_{\perp,i}$ è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento.

Nella successiva trattazione non si effettueranno le verifiche legate al soddisfacimento di tale parametro, in quanto il suo raggiungimento è correlato al sistema di schermature solari, la cui progettazione è sostanzialmente slegata dalla tecnologia con cui si intende riqualificare la facciata

3.4.1.4 Benessere acustico

Per quanto riguarda il comfort acustico, una corretta progettazione è necessaria al fine di evitare effetti di disturbo se non addirittura il rischio di danno all'organo dell'udito, dovuti alla presenza di suoni e rumori indesiderati. Tale requisito in ambito ospedaliero assume particolare importanza sia per i degenti sia per gli operatori sanitari: i primi, infatti, sono generalmente molto sensibili alle fonti di inquinamento acustico, mentre per i secondi eccessivi fonti di rumore possono essere causa di stress, ansia e mancanza di concentrazione.

Lo studio dei problemi di acustica tecnica è generalmente abbastanza complesso, essendo la propagazione delle onde sonore legata sia a fenomeni di trasmissione per via aerea, sia per fenomeni di trasmissione laterale tramite i movimenti vibratorii delle strutture del fabbricato con cui entrano in contatto, anche parecchio lontane dalla sorgente, che agiscono come sorgenti secondarie ritrasmettendo vibrazioni all'aria.

Nel merito del comportamento di una facciata, le prestazioni più connotanti risultano tuttavia legate alle grandezze che misurano l'abbattimento dei rumori prodotti all'esterno dell'edificio. Il progettista della riqualificazione potrà dunque adeguare il comportamento dell'involucro esistente tramite soluzioni che incrementino il potere fonoisolante degli elementi che lo compongono ma anche tramite un attento controllo dei dettagli di posa in opera (tenuta all'aria, collegamenti elastici, ecc.) e della conformazione di componenti edilizi eventualmente preposti alla protezione dal rumore (membrane risonanti ma anche semplici sporti o lamelle), incrementando quindi l'isolamento acustico di facciata. Non si deve inoltre trascurare il controllo dei fenomeni acustici anche in relazione agli impianti: se l'intervento richiede anche l'adeguamento o la creazione di nuove colonne o intercapedini, sarà necessaria la predisposizione di appositi accorgimenti atti a limitare la propagazione di rumore indesiderato.

Indice di valutazione del potere fonoisolante

La grandezza che permette di misurare il comportamento acustico di opere e componenti è l'indice di valutazione del potere fonoisolante, grandezza misurata in laboratorio che caratterizza l'efficacia dell'elemento in esame nell'impedire la trasmissione del suono tra due

²⁵ Come prescritto nell'allegato tecnico della D.D.G. Lombardia n. 5796/2009 i valori di trasmittanza, riflettanza e assorbanza solari delle schermature vanno verificati ai sensi del punto E.6.3.10.2 e ai sensi della normativa UNI EN 13363-1:2008 in posizione d'ombreggiamento a 45°

ambienti che separa. Il suo calcolo in campo libero e con l'ipotesi che le onde sonore incidano sull'elemento costruttivo secondo direzioni variamente inclinate può essere calcolato con la legge della massa:

$$R_w = 20 \log \left(f \sum M_s \right) - 48 \quad [dB]$$

Dove:

- f è la frequenza del suono [Hz];
- M_s è la massa per unità d'area dell' i -esimo elemento costruttivo [Kg/m^2].

Piccole variazioni a queste relazioni possono essere apportate nel caso di onde sonore incidenti secondo una direzione perpendicolare agli elementi costruttivi o secondo un angolo inclinato α , così come per strutture poco massive ($M_s < 80 \text{ kg}/\text{m}^2$) essa risulta troppo penalizzante e si fa riferimento ad apposite formule.

Il potere fonoisolante apparente R'_w è una grandezza che oltre a considerare la trasmissione diretta, tiene anche conto delle trasmissioni laterali o indirette; esso può essere calcolato, così come previsto dalla UNI EN ISO 717-1:1997 – “Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Isolamento acustico per via aerea” in funzione delle grandezze pertinenti dei componenti e cioè dei singoli elementi che compongono la parte di facciata corrispondente all'ambiente interno, secondo la seguente formula semplificata:

$$R'_w = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} \right] - K$$

Dove:

- R_{wi} è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento (i) [dB];
- S_i è l'area dell'elemento (i) [m^2];
- S è l'area totale della facciata, vista dall'interno [m^2];
- K è l'apporto energetico dovuto alla trasmissione laterale pari a 0, per elementi di facciata non connessi, e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

Isolamento acustico di facciata

La scelta di elementi edilizi con elevato potere fonoisolante, tutta via, non è da sola in grado di garantire elevate prestazioni acustiche in opera: queste sono infatti influenzate anche da una corretta esecuzione e posa in opera degli oggetti edilizi (perfetta continuità dei componenti in relazione alla tenuta all'aria, collegamenti elastici, ecc.) ma anche da fattori definibili a priori quali la presenza di ponti acustici, l'altezza dal suolo dell'ambiente ricevente, l'orientamento

rispetto alle sorgenti sonore, la conformazione dell'ambiente esterno o la forma dei componenti edilizi preposti alla protezione dal rumore.

L'isolamento acustico standardizzato di facciata invece è una grandezza che rappresenta ancora i decibel di rumore abbattuti da un componente edilizio, ma tiene conto di tutti quei fattori che possono in opera far decadere la prestazione acustica registrata in laboratorio, quali imperfezioni della messa in opera o la trasmissione delle onde sonore attraverso percorsi che generalmente non vengono riprodotti in laboratorio.

Esso può essere misurato in opera o calcolato tramite la seguente formula, secondo la norma UNI EN ISO 717-1:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left[\frac{V}{6T_0S} \right] \text{ [dB]}$$

Dove:

- R'_w è il potere fonoisolante apparente di facciata che a sua volta si può esprimere in funzione del potere fonoisolante, misurato in laboratorio, degli elementi componenti [dB];
- ΔL_{fs} è un parametro che tiene conto dell'influenza della forma della facciata sul livello del rumore incidente;
- V è il volume dell'ambiente ricevente [m³];
- T è il tempo di riverberazione di riferimento, definito come il tempo necessario affinché il livello sonoro in un ambiente venga ridotto di 60 dB rispetto a quello che si ha all'istante dell'interruzione della sorgente;
- S è la superficie totale della facciata [m²].

I requisiti acustici passivi minimi per i componenti degli edifici sono indicati nel D.P.C.M. 05/12/97 in funzione della destinazione d'uso dell'edificio:

| |
|--|
| categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili; |
| categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili; |
| categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili; |
| categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili; |
| categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili; |
| categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili; |
| categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili. |

| Categorie di cui alla Tab. A | Parametri | | | | |
|------------------------------|-----------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| | R_w (*) | $D_{2m,nT,w}$ | $L_{n,w}$ | L_{ASmax} | L_{Aeq} |
| 1. D | 55 | 45 | 58 | 35 | 25 |
| 2. A, C | 50 | 40 | 63 | 35 | 35 |
| 3. E | 50 | 48 | 58 | 35 | 25 |
| 4. B, F, G | 50 | 42 | 55 | 35 | 35 |

Tabella 12 - D.P.C.M. 05/12/97 - Tabella A - Classificazione degli ambienti abitativi

Tabella 13 - D.P.C.M. 05/12/97 - Tabella B - Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

Le facciate dell'edificio in esame, dopo la riqualificazione, dovranno dunque essere caratterizzate da un isolamento acustico di facciata maggiore di 45 dB.

Al livello di progettazione corrente non verranno tuttavia svolte verifiche numeriche in merito a questi parametri: la trasmissione del rumore attraverso elementi di chiusura, infatti, non è stimabile attraverso strumenti analitici semplici, poiché le leggi fisiche e i modelli utilizzati nella rappresentazione del fenomeno sono in realtà fortemente influenzati dalla tipologia di parete, dai dettagli della chiusura, dalla continuità degli strati, ecc. Soprattutto nel caso di interventi sull'esistente, sarà più prudente affidarsi a più precise valutazioni della prestazione effettiva della parte tramite prove sperimentali. In tal caso le misure devono essere eseguite secondo la norma UNI EN ISO 140-5:2000 – “Acustica. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici di elementi di edificio. Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate” ottenendo valori in termini frequenza [Hz] utili a calcolare l'indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$ secondo il procedimento indicato dalla UNI EN ISO 717-1.

D'altro canto si consideri che l'edificio Monoblocco è collocato al centro di un'ampia zona a verde e che le sue facciate distano più di 200 m dai fronti stradali, peraltro generalmente poco trafficati: la performance acustica sarà quindi un aspetto di secondaria importanza nella determinazione della soluzione di redadding ottimale per il caso in esame, certamente subordinata alla performance energetica, oltre che a valutazioni in merito ai costi e ai tempi di realizzazione dell'intervento.

3.4.1.5 Benessere ottico-luminoso

È ormai noto come la luce naturale, essendo la fonte primaria di vita per l'uomo che ne regola le attività ormonali, assuma estrema importanza per il benessere in un ambiente confinato: la carenza di luce diurna provoca disagio psicologico ed è la seconda causa (solo dopo alla carenza legata al condizionamento) di Sick Building Syndrome (SBS).

In merito al comfort luminoso, vari sono i parametri in gioco: le verifiche riguarderanno da un lato parametri che definiscono la quantità minima di luce naturale necessaria allo svolgimento del compito visivo in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente, quali il livello di illuminamento assoluto e il fattore di luce diurna, dall'altro i parametri che servono a garantire una distribuzione ottimale che non causi fenomeni di abbagliamento o forte contrasto, genericamente calcolati rapportando tra loro i livelli di illuminamento di zone adiacenti.

Tuttavia quando si tratta di luce naturale, essendo questa la parte visibile della radiazione solare, non si può scindere l'analisi dalle ricadute che questa genera sul fabbisogno energetico dell'edificio in termini di climatizzazione e di illuminazione artificiale: benché apprezzata come fonte energetica gratuita, la radiazione non è sempre ben accetta e deve essere adeguatamente controllata. Il progetto illuminotecnico dovrà quindi essere sempre congruente con le valutazioni energetiche in estate e in inverno – tipicamente effettuate con metodi relativi alla componente di retta della luce naturale, quali nomogrammi, metodi grafici

o software che ne simulino l'andamento temporale – che mireranno al raggiungimento del compromesso più favorevole tra il comportamento estivo e il comportamento invernale.

Ci sono infine esigenze sempre legate alla visione dei fruitori degli ambienti la cui misurazione non può essere risolta termini scientifici con una verifica sistematica attraverso modelli quantitativi ma sono perseguibili solo nella misura in cui esse fanno parte della sensibilità del progettista. Tra queste si può ad esempio citare l'esigenza di visibilità dell'ambiente esterno, tanto più gradevole quando più dalle finestre è possibile scorgere contemporaneamente sia parte del cielo, sia parte dell'ambiente naturale, sia il piano campagna in prossimità dell'edificio.

A livello progettuale, molti sono i parametri che condizionano queste grandezze, determinati in gran misura dalle caratteristiche dell'ambiente esterno. Supponendo quindi, nell'ottica del progetto di riqualificazione delle facciate, che la morfologia dell'edificio, il suo orientamento e le ostruzioni esterne siano determinate a priori, il progettista potrà perseguire i livelli qualitativi auspicati giocando sulla ridefinizione dei rapporti tra superficie trasparente e opaca, sulla forma delle aperture, sulle proprietà ottiche dei vetri, sui sistemi di oscuramento o di trasporto della luce, ma anche sulle proprietà delle finiture degli ambienti interni.

I parametri principali per il controllo della qualità ottico-luminosa sono i livelli di illuminamento assoluto e il fattore di luce diurna. Il primo parametro serve ad assicurare la visibilità e lo svolgersi del compito visivo e per la sua verifica è necessario constatare la presenza di livelli sufficienti di illuminamento sul piano di lavoro. I valori minimi possono essere determinati in base alla UNI EN 12464-1:2004 – “Luce e Illuminazione. Illuminazione dei luoghi di lavoro. Parte 1: Luoghi di lavoro interni” in funzione del compito visivo richiesto dall'attività svolta nell'ambiente interno.

Il fattore di luce diurna invece è il parametro utilizzato per la valutazione e il controllo dell'illuminazione naturale diffusa proveniente dal cielo. Poiché la radiazione diretta è mutevole in funzione delle diverse condizioni meteorologiche e del periodo dell'anno considerato, si fa riferimento al caso più sfavorevole di illuminazione diurna: quello in cui la radiazione solare diretta è assente, quindi in situazione di cielo coperto. Si è soliti definirlo come il rapporto tra l'illuminamento reale che si ha in un punto e l'illuminamento massimo ottenibile sul piano orizzontale, ovvero quello che si avrebbe nello stesso punto se l'emisfero celeste non fosse oscurato né dalle superfici che definiscono l'ambiente interno, né dalle possibili ostruzioni esterne. Infatti, dal momento che le sorgenti di luce naturale sono caratterizzate da un'ampia variabilità della quantità e della qualità della luce emessa, le condizioni di illuminazione non vengono valutate secondo un criterio assoluto ma si utilizza il fattore luce diurna per valutare l'illuminamento “relativo” in un ambiente valutando così l'efficienza con cui le scelte progettuali influenzano la capacità di sfruttare le fonti di luce naturale. Per quanto riguarda il fattore di luce diurna, le normative italiane non fanno riferimento a valori medi minimi da rispettare, ma è possibile riferirsi a normative straniere come la norma britannica BS 8206-2.

Anche lo studio di tali parametri non è di particolare interesse nell'analisi delle alternative soluzioni di redadding per la facciata in esame: in primo luogo, a meno di impegnative modellazioni delle caratteristiche illuminotecniche dei locali con appositi software tipo Ecotect e Radiance che simulino le condizioni esterne di luce naturale diffusa e diretta, i modelli di calcolo proposti dalla normativa sono piuttosto semplificati e non utili a riprodurre la realtà del fenomeno; in seconda istanza, l'utilizzo della luce naturale dipende essenzialmente dalla geometria dello spazio (dimensioni della stanza, dimensioni e posizione dell'apertura e degli elementi oscuranti, del contesto circostante) e in misura molto minore dalle proprietà di trasmissione del vetro e dei materiali dell'ambiente interno: paragonare quindi le prestazioni illuminotecniche di soluzioni progettuali che consentano di modificare la geometria delle aperture rispetto a soluzioni che le lascino invariate porterebbe all'ovvia conclusione che le prime possano offrire migliori prestazioni. Del resto, ancora una volta i requisiti relativi alla luce naturale in un ospedale non risultano essere particolarmente vincolanti (come potrebbero esserlo, per esempio, nella progettazione di una scuola): le attività nelle camere di degenza, infatti, non richiedono lo svolgimento di particolari compiti visivi, mentre gli ambienti destinati allo svolgimento delle attività mediche saranno certamente illuminati a mezzo di specifiche fonti di luce artificiale.

3.4.1.6 *Sicurezza in caso di incendio*

I tradizionali metodi costruttivi in Italia, generalmente realizzati in calcestruzzo o muratura, non hanno mai presentato particolare suscettibilità al fuoco. I classici sistemi di facciata, costituiti da murature con aperture e balconi con parapetto, offrivano di per sé una protezione naturale del sottofinestra che limitava la propagazione della fiamma da un piano all'altro. Col progredire dei sistemi costruttivi di facciata e l'affermarsi di soluzioni leggere si è prefigurato un nuovo comportamento dell'edificio che ha sollevato il problema del rapporto tra fuoco e facciate. Le problematiche di queste ultime legate all'azione del fuoco sono essenzialmente dovute alla propagazione verticale di fiamme, fumo o calore che potrebbero passare da un compartimento a quello soprastante:

- dall'esterno, ovvero fuoriuscendo dalle finestre di un piano e rientrando nelle finestre dell'edificio da quelle dei piani soprastanti; questa evenienza può accadere con qualsiasi tipo di pacchetto tecnologico di chiusura;
- dall'interno, attraverso superfici e punti di minor resistenza al fuoco presenti nell'interfaccia tra partizioni orizzontali e chiusure verticali; è ad esempio il caso tipico delle facciate continue o di elementi di chiusura prefabbricati posati con senza soluzione di continuità in posizione avanzata rispetto alla testa del solaio;
- tramite il pacchetto tecnologico stesso, che potrebbe rappresentare la strada preferenziale di propagazione dell'incendio ma anche costituire elemento di alimentazione della combustione; è quanto potrebbe ad esempio avvenire in presenza

di una facciata ventilata, di una facciata a doppia pelle o del pannello sottofinestra di una facciata continua non opportunamente concepiti.

Si noti che tali criticità sono legate sostanzialmente al fattore ambientale della ventilazione più che alle caratteristiche di resistenza al fuoco dei singoli elementi di compartimentazione. Lo sviluppo e la propagazione di un incendio avvengono infatti per gradi progressivi, prima all'interno dell'ambiente di origine per poi estendersi al resto dell'edificio e al suo esterno. In particolare il fuoco tende a concentrarsi verso il soffitto in quanto si estende per conduzione dalle pareti e per convezione attraverso i gas surriscaldati che si muovono verso l'alto. A causa della spinta ascensionale dovuta al tiraggio, le fiamme, i fumi e i gas tendono a salire verso le vie di comunicazione verticali con una velocità che è proporzionale alle differenze di pressioni dell'aria, funzione dell'altezza dell'edificio, della differenza di densità e quindi delle differenze di temperatura, della pressione o depressione esercitata dal vento sulla facciata, della permeabilità all'aria dell'involucro.

Tali punti sono tradotti in tre requisiti di salvaguardia dalla guida tecnica per la determinazione dei *Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*, approvata dal Dipartimento dei Vigili del Fuoco con la lettera circolare n° 5043 del 15 aprile 2013 ²⁶:

- propagazione interna: limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono da vani, aperture, cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati da incendio;
- propagazione esterna: limitare la possibilità di incendio di una facciata e la successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna (incendio in edificio adiacente oppure incendio a livello stradale o alla base dell'edificio);
- caduta: evitare o limitare in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incidentate) che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti dell'edificio e l'intervento in sicurezza delle squadre di soccorso.

Per prevenire le suddette modalità di propagazione di un incendio che annullerebbe le risorse spese per la compartimentazione interna all'edificio, la progettazione deve fondamentalemente orientarsi nel perseguire due obiettivi: da un lato scegliere materiali e componenti di facciata aventi un comportamento al fuoco in grado di limitare l'insorgere, lo sviluppo e la propagazione dell'incendio, dall'altro predisporre materiali e componenti in soluzioni tecnologiche in grado di non partecipare alla propagazione del fuoco.

²⁶ La guida ha lo status di "Documento Volontario di Applicazione" e si riferisce agli edifici aventi altezza antincendio superiore a 12 m.

Da un punto di vista esigenziale-prestazionale ciò si traduce in una serie prescrizioni di tipo in merito alla resistenza al fuoco degli elementi tecnici e alla reazione al fuoco dei materiali che li compongono. Il progetto di sicurezza in caso di incendio presupporrà quindi la scelta di materiali e pacchetti tecnologici aventi adeguate classi prestazionali in funzione della destinazione d'uso dell'edificio e quindi del rischio d'incendio che essa comporta.

Resistenza al fuoco

È la misura della capacità di un elemento da costruzione di conservare per un determinato tempo, sotto l'azione di un incendio standard, una o più prestazioni di natura statica, termica o chimico-fisica, cioè: capacità portante, integrità e isolamento termico. È espressa da una lettera che identifica le caratteristiche di resistenza del materiale e da un numero che esprime i minuti per i quali tale prestazione è fornita durante un incendio.

Le prescrizioni di resistenza per una facciata si basano essenzialmente sul presupposto che l'intensità di un incendio, quando esso sfocia all'esterno dell'edificio, si riduce drasticamente nell'arco di pochi metri. Le linee isoterme che nel documento UNCSAAL UX75 sul fuoco e le facciate continue rappresentano la temperatura con cui si propaga un incendio, evidenziano infatti come l'aria e le fiamme in grado di uscire dalla facciata perdano d'intensità rapidamente, raggiungendo il piano superiore già abbastanza raffreddate e distanziate. La circolare n° 5043 impone quindi l'assunzione di provvedimenti di tipo geometrico - architettonico al fine di allontanare i prodotti dell'incendio dalla facciata e di garantire la presenza di elementi resistenti al fuoco per un'altezza necessaria affinché questo sia affievolito prima di lambire il serramento del piano soprastante.

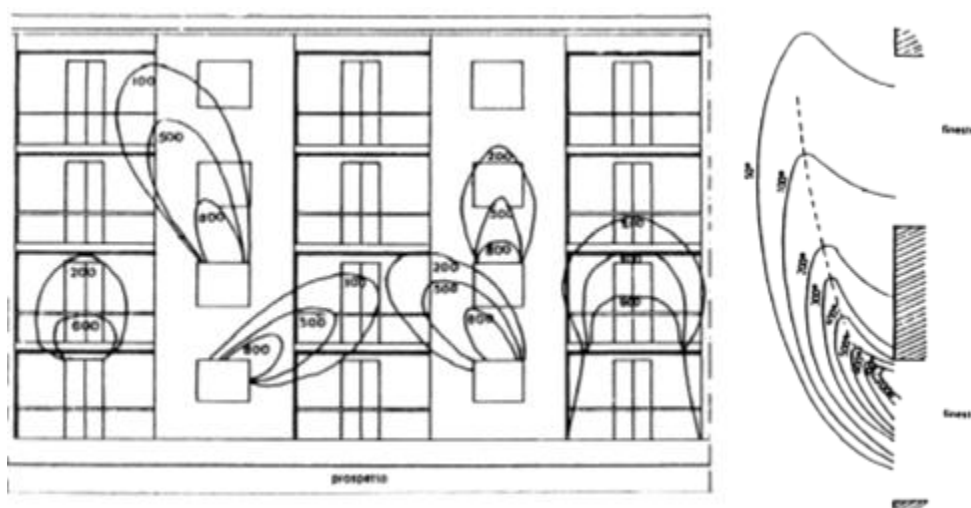


Figura 22 -
Andamento delle
isoterme all'esterno
della facciata
durante un incendio

Tali requisiti sono:

- non necessari per gli elementi di facciata che appartengono a compartimenti con C.I. (ca rico d'incendio al netto del contributo rappresentato dagli isolanti) $\leq 200 \text{ MJ/m}^2$;
- necessari per gli elementi di facciata che appartengono a compartimenti con C.I. $> 200 \text{ MJ/m}^2$;
- non necessari se compartimenti con C.I. $> 200 \text{ MJ/m}^2$ e presenza di un sistema spegnimento automatico.

Facciate semplici e facciate continue a pelle singola

La facciata deve presentare in corrispondenza di ogni solaio e di ogni muro trasversale, con funzione di compartimentazione, una fascia, realizzata costituita da uno o più elementi costruttivi in classe di resistenza al fuoco EI 60 (o \rightarrow i).

La fascia di separazione orizzontale tra i componenti (contro la propagazione verticale dell'incendio) potrà essere costituita da uno o più elementi costruttivi resistenti al fuoco, quali:

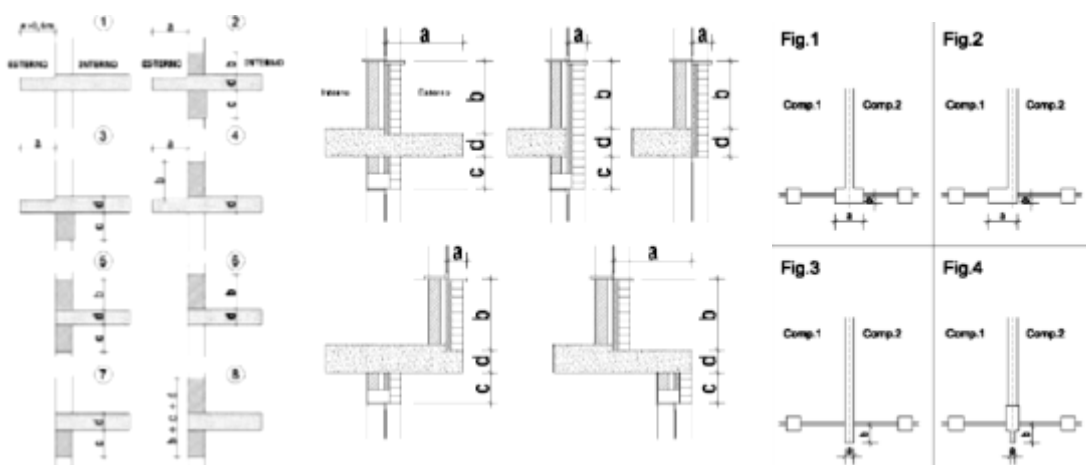
- una sporgenza orizzontale continua a protezione della parte della facciata situata al di sopra del solaio, di larghezza "a" uguale o superiore a 0,6 m, raccordata al solaio;

Ovvero un insieme di elementi come di seguito descritti:

- una sporgenza orizzontale continua a protezione della parte della facciata situata al di sopra del solaio di la rghezza "a", raccordata al solaio;
- un parapetto continuo di altezza "b" al piano superiore, raccordato al solaio;
- un architrave continuo di altezza "c", raccordato al solaio.

La somma delle dimensioni a, b, c e d (spessore del solaio) deve essere uguale o superiore ad un metro; ciascuno dei valori a, b o c può eventualmente essere pari a 0.

Figura 23 – Guida per la determinazione dei requisiti di sicurezza antincendio delle facciate – Schemi A, B e C – Conformazione della fascia di separazione orizzontale e verticale tra i compartimenti



La fascia di separazione verticale tra i compartimenti (contro la propagazione orizzontale dell'incendio) è costituita da una sporgenza di profondità "b" rispetto alla superficie esterna

della facciata e larghezza “a”, quest’ultima uguale, inferiore o superiore alla larghezza del muro di separazione tra i compartimenti e comunque ad esso raccordata. La somma delle dimensioni “2b + a” deve essere uguale o superiore ad un metro.

Nel caso delle facciate di tipo curtain wall ovvero in tutti i casi in cui l’elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio è inoltre richiesto che l’elemento di giunzione della facciata ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza EI60.

Facciate a doppia pelle

Nella circolare sono indicate ulteriori specificazioni per facciate a doppia pelle, variabili in funzione della presenza o meno di elementi di interpiano per l’interruzione dell’intercapedine, del grado di apertura in termini di permeabilità all’aria della pelle esterna e della presenza o meno di impianti automatici di spegnimento in intercapedine.

Reazione al fuoco

Con reazione al fuoco di un materiale si intende invece il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. In conformità alla UNI EN 13501-1, i materiali da costruzione, vengono suddivisi in 7 classi prestazionali (A1, A2, B, C, D, E, F); le classi B, C e D sono inoltre associabili a una classificazione addizionale di sviluppo di fumo (s1, s2, s3, in ordine decrescente di prestazione) e a una classificazione addizionale di gocciolamento (d0, d1, d2, in ordine decrescente di prestazione). La circolare prevede per i materiali inseriti in facciata (i rivestimenti, i pannelli, gli elementi decorativi fissi, i cappotti termici, gli isolanti termici, i materiali di tenuta e sigillanti) il rispetto della classe 1 di reazione al fuoco ovvero la classe B-s3-d0. Nel caso in cui la funzione isolante della facciata sia garantita da un sistema commercializzato come kit, tale classe di reazione al fuoco è riferita al kit nelle sue condizioni finali di esercizio (come posto in opera).

I materiali isolanti, con esclusione di quelli posti a ridosso di vani finestra e porta-finestra per una fascia di larghezza di 60 cm e di quelli posti alla base della facciata fino a 3 metri fuori terra, possono non rispettare il requisito purché siano installati protetti, anche all’interno di intercapedini o cavità, secondo le indicazioni seguenti:

- isolante in classe C-s3-d2 se protetto con materiale almeno di classe A2;
- isolante non inferiore a classe E se protetto con materiali almeno di classe A1 aventi uno spessore non inferiore a 15 mm;
- soluzioni protettive ulteriori possono essere adottate purché supportate da specifiche prove di reazione al fuoco su combinazione di prodotti (supporti, isolanti, protettivi) rappresentativi della situazione in pratica che garantiscano una classe di reazione al fuoco non inferiore a B-s3-d0.

Limitatamente alle pareti ventilate non ispezionabili (cioè con intercapedine < 60 cm) le protezioni sopra definite possono non essere applicate se la parete rispetta le prescrizioni esposte per le facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili ²⁷.

Tutti gli altri componenti della facciata (persiane, avvolgibili, scuri, frangisole, ecc.), qualora occupino complessivamente una superficie maggiore del 10% dell'intera superficie della facciata, dovranno garantire gli stessi requisiti di reazione al fuoco indicati per gli isolanti, così come le guarnizioni, i sigillanti e i materiali di tenuta che occupino più del 10%.

Per gli elementi in vetro non viene richiesta alcuna prestazione di reazione al fuoco.

3.4.1.7 Durabilità e affidabilità

Ciascuna parte costituente un organismo edilizio ha proprie caratteristiche fisico-chimiche, meccaniche e morfologiche che ne determinano il naturale processo di obsolescenza. A influenzare il ciclo vitale di un elemento, tuttavia, contribuiscono anche le modalità di posa in opera e giunzione con altri elementi, le condizioni d'uso cui sono sottoposti, la presenza o meno di strati protettivi, il tipo e il grado di sollecitazioni alle quali è esposto, ovvero un insieme di parametri che – a parità di manufatto – dipendono essenzialmente dalle scelte progettuali a monte della sua collocazione in opera. Al requisito di durabilità di un qualsiasi componente, è strettamente connesso il requisito di affidabilità: se la prima prerogativa è di tipo temporale, la seconda è invece di tipo qualitativo, presupponendo la capacità di un elemento di mantenere in un determinato periodo di vita le proprie caratteristiche qualitative e prestazionali entro limiti ammissibili. Per garantire tali requisiti nella nuova soluzione di redadding sarà importante tenere in considerazione innanzitutto tutti quegli accorgimenti tecnici di cui sopra ma, soprattutto, assicurare un elevato grado di manutenibilità del sistema tecnologico, ovvero garantire grande facilità per lo svolgimento di operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria. Progettare un dettaglio affinché ogni elemento o strato funzionale sia facilmente accessibile, prevedere modalità di assemblaggio e posa in opera semplici, che agevolino lo smontaggio, la riparazione, la sostituzione, la pulizia, l'ispezionabilità, ma anche scegliere soluzioni tecniche i cui componenti di ricambio siano facilmente reperibili in commercio, che non richiedano attrezzature particolari né personale specializzato, che non impongano il rivolgersi alla specifica casa produttrice per le operazioni di manutenzione, sono tutte strategie valide per concepire un edificio altamente manutenibile, quindi duraturo e affidabile nel tempo. Per raggiungere tale obiettivo è fondamentale che il progettista, già in fase preliminare, abbia chiare le future necessità manutentive e si serva di strategie

²⁷ Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è dotata in corrispondenza di ogni vano per finestra e/o porta-finestra e in corrispondenza di ogni solaio di elementi di interruzione non combustibili e che si mantengono integri durante l'esposizione al fuoco, la parete interna deve obbedire alle stesse regole delle facciate semplici. Non sono richiesti gli elementi orizzontali di interruzione in corrispondenza dei solai se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno B-s3-d0 ovvero se la parete ha, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30.

“maintenance oriented”, rendendo cioè governabili tutte le variabili che condizionano la qualità dell’organismo edilizio e dei singoli elementi tecnici che lo compongono. Sarà quindi necessario sin dalle prime fasi di progettazione analizzare gli aspetti manutentivi che una soluzione tecnologica può richiedere e le strategie di intervento adottabili.

Tale esigenza è inoltre accentuata dalla particolare destinazione d’uso in esame che richiede una dotazione impiantistica costituita, al pari di ogni edificio, dagli impianti per l’erogazione dei servizi primari (idrico-sanitario, riscaldamento, climatizzazione, elettrico, telefonico, televisivo, rivelazione gas, antincendio) ma anche da impianti per lo svolgimento di specifiche attività (gas medicali, gas di laboratorio) e per la gestione e controllo centralizzato dell’edificio. La modalità di integrazioni degli impianti nella tecnologia costruttiva, e in particolare negli elementi tecnici che costituiscono l’involucro opaco verticale, sarà quindi uno tra gli aspetti più rilevanti tra quelli sopra citati, distinguendosi in alcuni requisiti dalla comune integrabilità richiesta dagli edifici residenziali o per uffici. Per esempio, se per queste ultime tipologie di fabbricato è possibile realizzare sistemi impiantistici in vista o incorporati in opera negli elementi tecnici, nell’edilizia ospedaliera queste modalità sono da escludere rispettivamente per motivi igienici (è importante l’assenza di elementi fissi che impediscano la punibilità di tutte le superfici) e operativi (l’eventualità di rompere e ripristinare componenti edilizi genera complicazioni igieniche ma anche gestionali). Saranno altresì preferibili soluzioni tecnologiche che permettano la giustapposizione dei componenti per garantire l’accessibilità ad ogni parte e razionalizzare le operazioni di manutenzione, offrendo al contempo pulizia del cantiere e rapidità di posa in opera, assieme alla mimetizzazione degli stessi per assicurare il massimo igiene ambientale e protezione da urti accidentali che potrebbero comportare l’interruzione di erogazione del servizio.

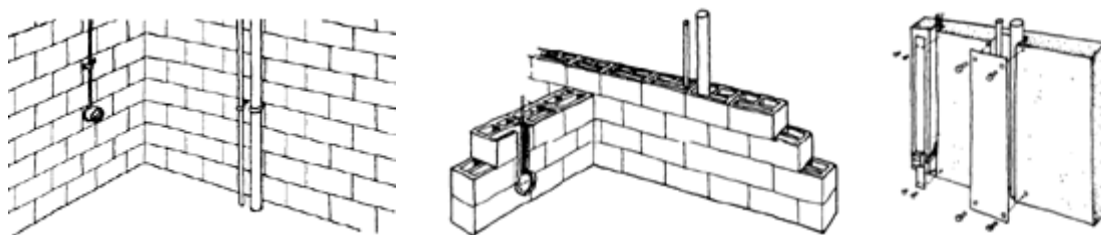
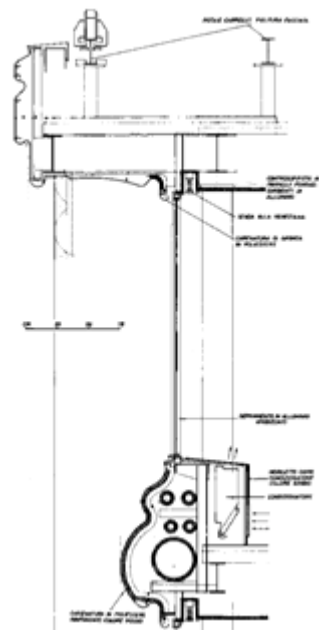


Figura 24 - Esempi di diverse tipologie di integrazione impiantistica

Se all’interno dell’edificio tale obiettivo può essere generalmente raggiunto in modo efficace tramite l’utilizzo di partizioni verticali stratificate a secco e di controsoffittature – ma mai tramite pavimenti sopraelevati per le esigenze di tenuta all’acqua prodotta durante eventuali trattamenti di sanificazione dei locali – a livello di chiusure verticali ciò potrà essere raggiunto tramite nicchie e cavedi realizzate in opera o incorporate in elementi prefabbricati, purché essi siano sempre accessibili e ispezionabili.

Figura 25 – Esempio di integrazione di impianti in facciata - Edificio SNAM a San Donato Milanese



3.5 La conoscenza dell'oggetto

La conoscenza dell'oggetto in esame è un punto fondamentale per affrontare adeguatamente un progetto di riqualificazione ed in particolare di redadding. Con tale terminologia non si intende tuttavia il solo insieme di caratteristiche fisiche del fabbricato, ma il più articolato complesso di aspetti che ad esempio riguardano l'evoluzione storica dell'edificio e del suo contesto, vincoli ad esso legati, le tecnologie costruttive tipiche del luogo, ecc. necessari ad avere un quadro completo utile alle successive fasi operative.

La conoscenza

L'elenco che segue vuole delineare le tappe fondamentali di una prassi per la corretta conoscenza di un manufatto, con la consapevolezza che sarà l'oggetto stesso a richiedere di volta in volta l'adattamento in funzione delle proprie specificità, suggerendo approfondimenti e analisi ad hoc. È anche sottinteso che i livelli di conoscenza frutto di tali indagini saranno da determinare e programmare proporzionalmente agli obiettivi della fase progettuale che si sta affrontando (decisionale, preliminare, definitiva, esecutiva): sarebbe insensato programmare una campagna completa di indagini in una fase iniziale in cui si deve ancora valutare la strategia più corretta per l'intervento, così come, al contrario, la conoscenza di alcune informazioni può rappresentare una soglia minima necessaria per poter procedere alla fase seguente.

Avendo finora inquadrato nella sua totalità l'edificio oggetto d'intervento e gli obiettivi che sottendono il suo progetto di riqualificazione al fine di avere un quadro completo sugli aspetti strutturali, edilizi e impiantistici che influenzano le successive scelte progettuali, in questo paragrafo si restringerà il campo d'indagine sugli aspetti concernenti le facciate dell'edificio in esame, soggetto del presente elaborato di tesi. Assumendo come "oggetto" le chiusure verticali anziché l'intero edificio, si ripercorrerà dunque il processo di conoscenza alla base della successiva ingegnerizzazione del progetto di redadding. Si sottolinea inoltre che nella trattazione che segue, per brevità, ci si riferirà alle facciate dell'edificio in esame intendendo indicare con tale termine la porzione di chiusura più rappresentativa per estensione e per omogeneità di caratteristiche costruttive. Per esempio, riferendosi alla "facciata degenze" si intenderà la porzione involucro che dal primo piano al decimo è contraddistinta dalle stesse caratteristiche geometriche, tecnologiche, prestazionali e racchiude la stessa tipologia di ambienti.

L'oggetto



È sottinteso che gli stessi ragionamenti potranno essere applicati alle parti esduse in prima istanza – quali ad esempio i primi due piani fuori terra realizzati con una differente tecnologia costruttiva, le porzioni di involucro che racchiudono ambienti con diversa destinazione funzionale come vani scala, locali impiantistici, ecc. o punti singolari quali i balconi di testa – che verranno studiati una volta determinata la strategia di redadding della porzione di facciata che ha più peso percentuale sul totale dell'edificio.

La restituzione delle informazioni

Se ogni rilievo rappresenta un tassello per raggiungere il livello di conoscenza dell'oggetto indispensabile alla progettazione dell'intervento, che va necessariamente concatenato e incrociato con gli altri tasselli per avere un quadro generale completo, è evidente l'importanza di catalogare ed elaborare le informazioni acquisite in modo sistematico adottando un metodo di archiviazione e restituzione semplice che ne faciliti la messa a sistema.

Quasi tutti i tipi di rilievo possono essere restituiti in due modalità. La prima è la raccolta di informazioni in schede, utile sia all'archiviazione di informazioni relative all'oggetto in esame, sia alla tipizzazione di un'informazione comune a più parti dell'edificio, quale ad esempio la tecnologia costruttiva di un elemento tecnico o la manifestazione di un degrado. Nel primo caso, la schedatura sarà tipicamente caratterizzata da un codice alfanumerico che identifica l'immagine, la mappa o il documento che si deve catalogare, accompagnati dai dati relativi alla localizzazione e alla data del rilievo, al luogo dove è conservato il documento originale e altre annotazioni. Si procederà così alla creazione di un archivio del materiale rilevato – che non sarà necessariamente utilizzato nella sua interezza – come traccia della ricerca effettuata. Nel secondo caso, invece, la schedatura riporterà un'immagine o un disegno esemplificativa dell'informazione schedata, in quanto il suo scopo è rappresentare la stratigrafia, la consistenza materica, il degrado tipici dell'edificio in questione, e non catalogare tutti gli elementi interessati dallo stessa caratteristica: per questo si procederà successivamente con

apposite mappature grafiche. A tale fine, la scheda tipologica riporta – oltre al codice alfanumerico, alla rappresentazione esemplificativa dell'informazione, a descrizioni, dati numerici, grafici, tabelle e note – anche un codice grafico che consentirà di avere un riferimento nella successiva rappresentazione in pianta o prospetto.

La seconda modalità di restituzione per l'appunto di tipo grafico, tramite tavole di sintesi o di dettaglio: in questo caso non si tratta mai di riportare semplicemente le informazioni rilevate, ma di rielaborarle evidenziando volta per volta gli aspetti rilevanti, corredandole all'occorrenza con dati, fotografie, riferimenti bibliografici, ecc. È inoltre importante la scelta della scala di rappresentazione, che deve essere individuata in relazione alle informazioni che si devono riportare, cercando di mantenere la medesima base per le differenti letture in modo da poterle sovrapporre o comunque avere gli stessi riferimenti visivi nella comparazione di diversi documenti elaborati.²⁸

Si riporta quindi la serie di indagini effettuate per l'edificio in esame che se nella teoria risultano distinte, nella pratica sono spesso realizzate contemporaneamente.

²⁸ Grecchi, M. & Malighetti, L.E. 2008, *Ripensare il costruito : il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna

3.5.1 Lettura del contesto

La conoscenza del luogo nel quale è collocato il caso di studio è utile a comprendere le caratteristiche fisiche, dimatiche, viabilistiche, storiche, normative necessarie al corretto progetto dell'intervento di riqualificazione. In questa sede emergeranno quindi i parametri da utilizzare come input per diverse scelte progettuali (ad esempio le caratteristiche dimatiche saranno fondamentali per la scelta della strategia energetica da adottare e per la verifica prestazionale in termini di isolamento termoigrometrico che dovrà superare la nuova chiusura) ma anche i vincoli che avranno influenza sulla cantierizzazione dell'intervento, legati ad esempio all'accessibilità del sito, al rapporto tra questo e le aree confinanti, alla sua collocazione rispetto al centro urbano, ecc.

Per quanto riguarda la lettura del luogo nel quale si inserisce il progetto, le particolarità oggettive del caso di studio consentono di limitare il campo a una porzione urbana molto circoscritta, se non alla sola area di pertinenza dell'ospedale. A differenza di progetti di riqualificazione di fabbricati nei quali viene installata una nuova funzione, che richiedono di conseguenza uno studio urbanistico o territoriale al fine di rilevare quei fattori tipici del territorio che interessano l'evoluzione storica, le preesistenze importanti, i punti di forza e le criticità a cui dare risposta, il progetto in esame vede solo la riqualificazione tecnologica e d'immagine dell'edificio ma non il rinnovo della destinazione d'uso. La conoscenza del contesto potrà quindi essere limitata al rilievo critico delle caratteristiche fisiche del complesso edilizio, delle caratteristiche dimatiche della città in cui si trova, delle condizioni viabilistiche e di accessibilità del lotto, oltre che gli aspetti storici e normativi per progettare correttamente l'intervento.

3.5.1.1 *Ubicazione*

Il fabbricato è situato nel comune di Milano in via Pio II, in posizione baricentrica tra la Strada Statale 11 Padana Superiore (SS11) e la Strada Statale 494 Vigevanese (SS494), arterie principali di collegamento tra il centro di Milano e la Tangenziale Ovest (A50). La latitudine è 45° 47' Nord, la longitudine è 9° 11' Est. Il comune si trova a 121 m s.l.m. e rientra in zona sismica 4, zona dimatica E con 2404 gradi giorno. Il contesto urbano è prevalentemente di tipo residenziale, caratterizzato da una tessitura mediamente densa di edifici alti in media dai sei agli otto piani fuori terra.

Si allega una planimetria generale dell'isolato occupato dal San Carlo (Tavola 03): il presidio ospedaliero si trova all'interno di un'area completamente recintata, facilmente accessibile dalle maggiori arterie viarie asservite alla mobilità del capoluogo lombardo. Dall'ingresso principale di via Pio II si dipartono i viali di collegamento primari che conducono alla portineria del blocco ospedaliero, ai servizi di accertamento e cure, alla chiesa, ecc. Sulla via che

fiancheggia il lato nord dell'area si trovano gli altri due ingressi dell'ospedale: uno per il pronto soccorso, l'altro per i rifomimenti. Vi è infine un ingresso dalla via Oliveri verso l'angolo sud-ovest dell'area ospedaliera. Oltre i percorsi di viabilità interna, i corpi di fabbrica fuori terra sono collegati da cavedi, corridoi distributivi e locali posizionati ai piani interrati.

3.5.1.2 Dati climatici

Si riportano di seguito le caratteristiche climatiche in accordo alla norma UNI 10349 – “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici: dati climatici”, necessari nelle successive fasi progettuali per la definizione e la verifica delle prestazioni dell'involucro dell'edificio (e dei suoi impianti tecnici per il riscaldamento e raffrescamento). Essi possono essere di due tipi: dati medi mensili, utili per il calcolo del fabbisogno energetico e per le verifiche termigrometriche, o dati di progetto, utili per la verifica del raggiungimento di livelli massimi o minimi di specifiche grandezze e per il dimensionamento dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

Dal prospetto VI si desumono i seguenti valori:

| n° | provincia | località | altitudine [m] | gen [°C] | feb [°C] | mar [°C] | apr [°C] |
|----|-----------|----------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 49 | MI | Milano | 122 | 1,7 | 4,2 | 9,2 | 14,0 |

| mag [°C] | giu [°C] | lug [°C] | ago [°C] | set [°C] | ott [°C] | nov [°C] | dic [°C] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 17,9 | 22,5 | 25,1 | 24,1 | 20,4 | 14,0 | 7,9 | 3,1 |

Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta e diffusa sul piano orizzontale

Dal prospetto VIII si desumono i seguenti valori:

| gennaio | | febbraio | | marzo | | aprile | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² |
| 2,3 | 1,5 | 3,5 | 3,2 | 5,1 | 6,5 | 6,7 | 9,8 |

| maggio | | giugno | | luglio | | agosto | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² |
| 7,9 | 12,1 | 8,3 | 13,9 | 7,5 | 16,5 | 6,9 | 12,5 |

| settembre | | ottobre | | novembre | | dicembre | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | H_{dh} MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² |
| 5,6 | 8,4 | 3,9 | 4,5 | 2,5 | 1,9 | 2,0 | 1,3 |

Valore medio annuale della velocità del vento media giornaliera

Dal prospetto XIV si desumono i seguenti valori:

| n° | provincia | località | altitudine [m] | zona di vento | ω [m/s] | direzione prevalente |
|----|-----------|----------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| 49 | MI | Milano | 122 | 1 | 1,1 | SW |

Valori medi mensili della pressione parziale media giornaliera del vapore nell'aria:

Dal prospetto XV si desumono i seguenti valori:

| n° | provincia | località | altitudine [m] | gen [Pa] | feb [Pa] | mar [Pa] | apr [Pa] |
|----|-----------|----------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 49 | MI | Milano | 122 | 590 | 645 | 943 | 1163 |

| mag [Pa] | giu [Pa] | lug [Pa] | ago [Pa] | set [Pa] | ott [Pa] | nov [Pa] | dic [Pa] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1326 | 1840 | 1736 | 2012 | 1921 | 1412 | 958 | 671 |

Temperatura estiva massima: distribuzione giornaliera

La distribuzione giornaliera (valori orari) della temperatura dell'aria esterna si ottengono come

$$\theta_t = \theta_{max} - F(t) \Delta\theta_{max}$$

dove:

- θ_{max} è la temperatura massima giornaliera dell'aria esterna
- $F(t)$ è il fattore di distribuzione della temperatura
- $\Delta\theta_{max}$ è l'escursione giornaliera dell'aria esterna

i cui valori sono riportati negli appositi prospetti della norma. Dal calcolo si ricava:

| ora [h] | F(t) | T _{ae} (t) [°C] | | | |
|------------|------|-----------------------------|----|------|------|
| 1 | 0,87 | 21,5 | 13 | 0,11 | 30,6 |
| 2 | 0,92 | 20,9 | 14 | 0,03 | 31,5 |
| 3 | 0,96 | 20,4 | 15 | 0 | 31,9 |
| 4 | 0,99 | 20,0 | 16 | 0,03 | 31,5 |
| 5 | 1 | 19,9 | 17 | 0,1 | 30,7 |
| 6 | 0,98 | 20,1 | 18 | 0,21 | 29,4 |
| 7 | 0,93 | 20,7 | 19 | 0,34 | 27,8 |
| 8 | 0,84 | 21,8 | 20 | 0,47 | 26,3 |
| 9 | 0,71 | 23,4 | 21 | 0,58 | 24,9 |
| 10 | 0,56 | 25,2 | 22 | 0,68 | 23,7 |
| 11 | 0,39 | 27,2 | 23 | 0,76 | 22,8 |
| 12 | 0,23 | 29,1 | 24 | 0,82 | 22,1 |

Gli ombreggiamenti

L'edificio monoblocco, per via dell'elevata altezza e dell'orientamento favorevole, non subisce particolari fenomeni di ombreggiamento causati dal contesto circostante. Gli altri edifici del complesso ospedaliero, infatti, sono caratterizzati da altezze notevolmente inferiori rispetto all'edificio in esame, oltre che essere quasi tutti situati a nord di esso. L'unica fonte di ombra sulle facciate esposte a sud risultano essere dei filari di alberi che corrono lungo il perimetro dell'edificio, la cui altezza e distanza dal fabbricato generano ombre portate tali da non incidere significativamente sulle condizioni ambientali dei piani più bassi.



Zona di vento

In base alla Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni dei carichi e dei sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996, Milano si trova in zona di vento 1.

| Zona | Descrizione |
|------|---|
| 1 | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) |
| 2 | Emilia Romagna |
| 3 | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria) |
| 4 | Sicilia e provincia di Reggio Calabria |
| 5 | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) |
| 6 | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) |
| 7 | Liguria |
| 8 | Provincia di Trieste |
| 9 | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto |

Tabella 14 - Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC - Zone di vento

Classe di rugosità del terreno

Per la stessa normativa, l'edificio in esame si trova in classe di rugosità del terreno B.

| Classi di rugosità del terreno | Descrizione |
|--------------------------------|--|
| A | Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m |
| B | Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive |
| C | Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D |
| D | Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ecc.) |

Tabella 15 - Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC - Classi di rugosità del terreno

3.5.2 Rilievo fotografico

È in genere il primo approccio alla conoscenza dell'edificio in esame e supporto per analisi successive quali ad esempio la caratterizzazione di materiali e tecnologie, il rilievo di elementi di pregio storico, il rilievo dello stato di degrado o la base per simulazioni fotorealistiche di inserimento del nuovo progetto nel contesto esistente.

Come detto, a seconda della finalità con la quale si realizza la campagna varia il tipo di rilievo. Alla luce del progetto di riqualificazione delle facciate dell'edificio Monoblocco, la logica con la quale si è condotto il lavoro di rilievo fotografico è stata correlata a due finalità principali: il rilievo e ridisegno della composizione architettonica dei prospetti e il rilievo di dettagli tecnologici significativi da inserire nelle successive schede di rilievo. Per il ridisegno geometrico dei prospetti è stato necessario prevedere una campagna fotografica precisa e frontale, da rielaborare eventualmente con programmi di fotoraddrizzamento laddove non fosse possibile riprendere l'oggetto perpendicolarmente o dalla giusta distanza. Per simulare l'impatto architettonico delle nuove soluzioni tecnologiche invece è stata programmata una sequenza di viste prospettiche che includono anche elementi del paesaggio e del contesto circostante all'edificio. Al fine della caratterizzazione materica, tecnologica e di degrado degli elementi architettonici è stata infine prevista una rilevazione fotografica di dettagli significativi esterni ma anche interni, qualora fossero serviti a desumere le caratteristiche dell'oggetto di studio oppure fosse stato necessario verificare quanto, in fase iniziale, potesse sembrare irrilevante.

Analogamente, la modalità di archiviazione o restituzione delle informazioni raccolte dipende dalla finalità del rilievo. Il materiale fotografico utile al ridisegno dei prospetti è stato archiviato mediante schede contenenti informazioni quali un codice identificativo dell'immagine, l'oggetto della fotografia, il luogo e la data del rilievo, una planimetria che ne specifichi la localizzazione e altre eventuali informazioni riguardo al file digitale di riferimento. Il materiale utile alla simulazione dell'impatto architettonico tramite rendering e fotomontaggi, confronti pre e post intervento o inquadramento dell'area di progetto è stato altresì utilizzato in tavole di sintesi dopo una selezione ed elaborazione, al fine di mostrare gli aspetti rilevanti che si vogliono mettere in luce. Il rilievo fotografico materico, tecnologico e di degrado viene invece raccolto in schede utili alla tipizzazione di informazioni che si ripetono in più parti dell'edificio, in modo da poter essere integrate successivamente da apposite mappature grafiche. Tali schede riportano quindi un codice alfanumerico, la rappresentazione esemplificativa dell'informazione, descrizioni, dati numerici, grafici, tabelle, note e un codice grafico.

Si riportano di seguito delle schede esemplificative del rilievo fotografico eseguito per le facciate dell'edificio monoblocco.

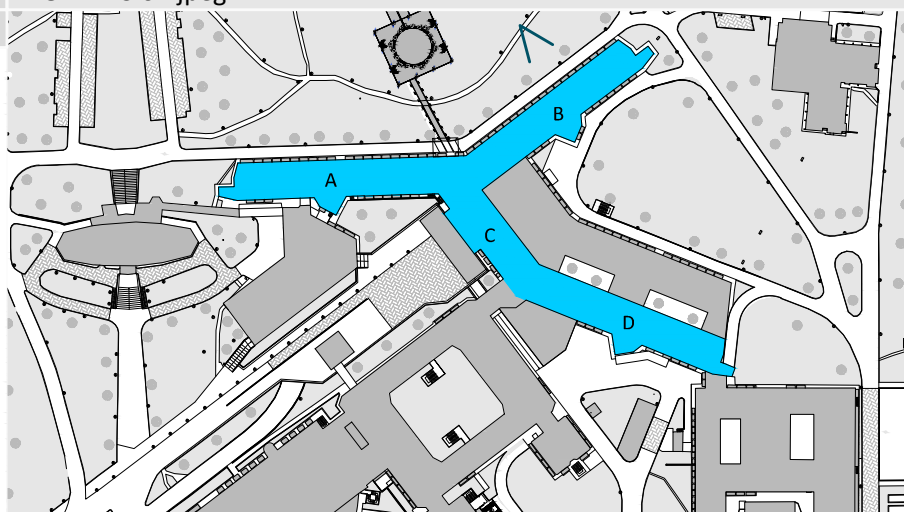
SCHEDA DI RILIEVO FOTOGRAFICO

Codice

RFG.M.B.S.01



| | |
|----------------|--|
| Luogo | Milano, via Pio II, edificio monoblocco, corpo B, facciata sud |
| Oggetto | Prospetto |
| Data | 09/04/2015 |
| Riferimento | RFG.M.B.S.01.jpeg |
| Localizzazione | |



Politecnico di Milano | Campus Leonardo
 Scuola di Ingegneria Edile - Architettura
 C.d.S. in Ingegneria dei Sistemi Edilizi
 Anno Accademico 2014 - 2015
 Tesi di laurea magistrale

*Tecniche di recladding per
 l'edilizia ospedaliera anni '60 - '70*
 Relatore: prof. ing. Angelo Lucchini
 Correlatore: ing. Maria Alice Pizzoccheri
 Tesista: Lorenzo Contini | matr. 805490

OGGETTO
 SDF | Edificio monoblocco
 Rilievo fotografico
 Facciata degenze

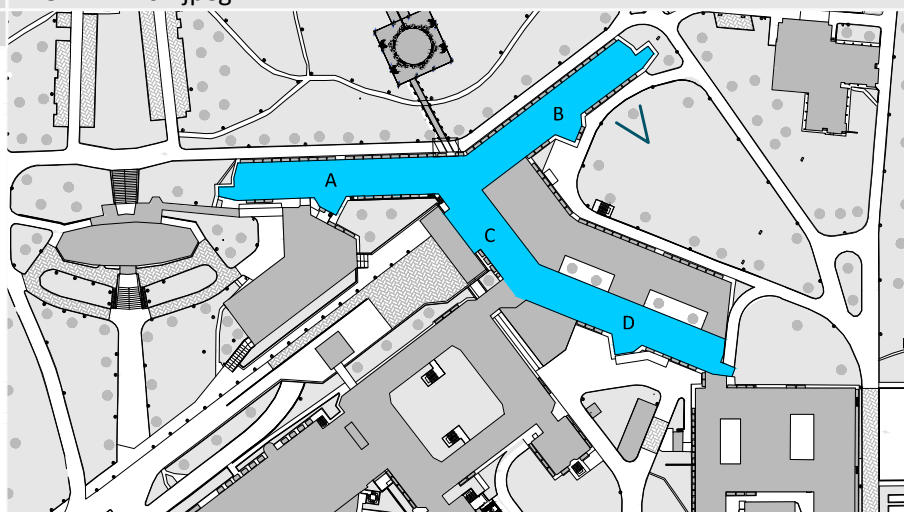
SCHEDA DI RILIEVO FOTOGRAFICO

Codice

RFG.M.B.N.01



| | |
|----------------|---|
| Luogo | Milano, via Pio II, edificio monoblocco, corpo B, facciata nord |
| Oggetto | Prospetto |
| Data | 09/04/2015 |
| Riferimento | RFG.M.B.N.01.jpeg |
| Localizzazione | |



Politecnico di Milano | Campus Leonardo
 Scuola di Ingegneria Edile - Architettura
 C.d.S. in Ingegneria dei Sistemi Edilizi
 Anno Accademico 2014 - 2015
 Tesi di laurea magistrale

*Tecniche di recladding per
 l'edilizia ospedaliera anni '60 - '70*
 Relatore: prof. ing. Angelo Lucchini
 Correlatore: ing. Maria Alice Pizzoccheri
 Tesista: Lorenzo Contini | matr. 805490

OGGETTO
 SDF | Edificio monoblocco
 Rilievo fotografico
 Facciata servizi

3.5.3 Ricostruzione dell'evoluzione storica

La lettura dell'evoluzione che negli anni ha coinvolto l'edificio o il complesso edilizio in termini di espansioni, demolizioni, variazioni della destinazione funzionale del fabbricato è certamente utile ad avanzare ipotesi attendibili sulla consistenza tecnologica o sull'origine di fenomeni di degrado degli elementi costruttivi. La ricostruzione, infatti, non deve essere rivolta alla ricostruzione della storia dell'immobile fine a se stessa al pari di quanto farebbe uno storico dell'architettura, ma deve essere il supporto alla conoscenza tecnica necessaria alla riprogettazione dell'esistente. La conoscenza della storia e delle tecniche costruttive può infatti permettere di supporre la conformazione di porzioni dell'edificio non visibili o non indagabili, di cui spesso i documenti originali sono irreperibili. In presenza di fenomeni di degrado, invece, comprendere le trasformazioni che hanno determinato quello che è lo stato di fatto al momento della riqualificazione può essere utile a risalire alle cause che hanno indotto alterazioni dell'assetto statico o causato l'insorgere di patologie edilizie. L'analisi delle trasformazioni avvenute in successive soglie storiche è inoltre utile a stabilire le strategie di intervento: demolizioni, ricostruzioni o conservazione possono essere modalità definite in ragione delle valenze storiche e architettoniche che caratterizzano i singoli edifici o i loro elementi costruttivi.²⁹ Un procedimento utile a quest'analisi è il confronto della cartografia vigente con documenti storici per ricostruire l'evoluzione avvenuta a livello di edificio ma anche di porzione urbana più estesa. Altre importanti informazioni sono talvolta reperibili negli archivi di stato o depositi ufficiali.

L'evoluzione storica del caso di studio comincia con l'edificazione del complesso ospedaliero nella prima metà degli anni Sessanta, in un arco temporale durato tre anni dal 1963 al 1966. Il periodo storico, la vastità e complessità dell'opera e la ristrettezza di tempo a disposizione per attivare la struttura sanitaria ne determinarono le caratteristiche costruttive al fine di accelerare quanto più possibile l'esecuzione dei lavori. Vennero dunque allestite 9 centrali di dosaggio per la produzione del calcestruzzo necessario alla realizzazione della struttura portante a telaio gettata in opera, ma anche per la prefabbricazione di tutte quelle parti della costruzione che si potevano eseguire fuori d'opera tra cui le facciate, che potevano essere montate pressoché parallelamente al compimento delle strutture: *"in poco più di 18 mesi il blocco principale, completo nella struttura e nelle facciate giganteggiava sugli edifici minori che erano, o stavano per essere portati anch'essi, allo stesso grado di avanzamento"*.³⁰ Le opere murarie per il completamento della fase rustica (divisori in laterizio, intonaci grezzi, sottofondi, pavimenti in gettata o in grès, posa in opera di parti a muro dei serramenti, impianti vari) – spiega Arturo Braga – furono completati nei 12 mesi successivi e i lavori di

²⁹ Grecchi, M. 2008, *Il recupero delle periferie urbane: da emergenza a risorsa strategica per la rivitalizzazione delle metropoli*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

³⁰ Chiappa, F. 1968, *L'Ospedale San Carlo Borromeo*, Edizioni de La Ca' Granda, Milano

finitura (rivestimenti speciali intonaci civili, pavimenti speciali, posa di serramenti in alluminio) negli ultimi 7.

Figura 26 – Cantiere dell'Ospedale San Carlo Borromeo nel 1964 (da Chiappa F., L'Ospedale San Carlo Borromeo)



Per quanto riguarda invece la successiva evoluzione temporale, dagli anni '60 a oggi l'edificio monoblocco ha ovviamente subito mutazioni che negli anni ne hanno modificato l'assetto originario, ma si può d'altro canto affermare che esse riguardino quasi esclusivamente le caratteristiche costruttive e distributive interne. Il complesso ha infatti subito modifiche interne in termini di variazioni della destinazione funzionale di parti di fabbricato o in termini di aggiornamenti tecnologici e impiantistici atti ad adeguare la struttura alle mutate esigenze mediche, ma nessuna modifica ha riguardato l'involucro dell'edificio che è ancora quello originario in tutte le sue parti.

3.5.4 Rilievo delle caratteristiche tipologiche

La lettura delle caratteristiche tipologiche, morfologiche e costruttive è collegata al rilievo precedente: se la ricostruzione dell'evoluzione storica mira alla comprensione delle variazioni apportate a porzioni di fabbricato nelle diverse epoche, il rilievo delle caratteristiche tipologiche viene in aiuto al progettista nel momento in cui deve determinare la tecnica costruttiva. La catalogazione di "tipi" ricorrenti di distribuzione planimetrica, di metodi costruttivi, di materiali utilizzati sulla base del periodo storico e della zona geografica – eventualmente effettuata con l'ausilio di manuali storici e letture tecniche – può essere utile nelle successive fasi di progettazione a validare o confutare ipotesi sull'oggetto o sulle sue anomalie senza necessariamente procedere con metodi strumentali d'indagine.

Come già precisato, la realizzazione dell'Ospedale San Carlo si colloca nel pieno della corrente che si sviluppa in Europa tra gli anni Cinquanta e Settanta con l'avvento della produzione di sistemi prefabbricati in cemento armato per dare risposta alla pressante domanda di alloggi. I primi sistemi costruttivi nacquero in Francia, con diverse tipologie tecnologiche e corrispondenti brevetti, che si basavano sulla scomposizione dell'edificio in un insieme di elementi prevalentemente piani. I primi sistemi, tuttavia, per ragioni economiche e costruttive prevedevano la sostituzione dello scheletro portante indipendente dell'edificio con l'utilizzo di elementi con funzione strutturale che obbligavano quindi all'ideazione di un impianto distributivo a maglia chiusa (simile a quello degli edifici in muratura tradizionale) che vincolava la flessibilità funzionale e costruttiva. I pannelli di facciata portanti sono generalmente realizzati da due strati di calcestruzzo armato tra i quali è interposto – nei casi migliori – uno strato isolante, già rifiniti e completi di serramenti in stabilimento, per uno spessore totale di una ventina di centimetri. Per via dell'elevato peso, quindi delle ricadute in termini di produzione, trasporto, sollevamento e movimentazione in cantiere, essi hanno dimensioni contenute corrispondenti al massimo al lato di una stanza (6 m).



Figura 27 - Esempi di produzione e installazione di pannelli prefabbricati di facciata

I componenti così prefabbricati in stabilimento e richiedono in cantiere semplici operazioni di assemblaggio: mediante gru essi vengono sollevati, movimentati e posizionati in opera per sovrapposizione e giustapposizione, e completati nei giunti tramite l'inserimento di appositi elementi di tenuta assemblati a secco o tramite la realizzazione di una "connessione umida" mediante un getto di malta cementizia lungo appositi cordoli verticali o orizzontali generati dalla geometria degli elementi (giunti bagnati).

Il superamento del problema della carenza di alloggi parallelo al calo demografico, e la consapevolezza che tale tipologia costruttiva comportava la perdita dei requisiti di flessibilità, funzionalità ed estetica importanti per una società mutevole e in via di sviluppo, comportò l'adattamento dei sistemi a grandi pannelli a un nuovo tipo di prefabbricazione, definita "leggera". Si tornava così a svincolare la struttura portante dalle opere di completamento ricquistando così la flessibilità distributivo-funzionale che meglio rispondeva alle esigenze di una domanda che, seppur elevata, si esprimeva essenzialmente sotto forma di interventi più diffusi sul territorio e di più modesta entità. Per la realizzazione di edifici più piccoli e per soddisfare richieste che coinvolgevano in modo maggiore l'utente, la prefabbricazione si orienta verso modalità produttive più flessibili, che garantiscono maggiore adattabilità e qualità dei prodotti prefabbricati. In questo contesto, nel quale si colloca anche l'edificio in esame, i pannelli di facciata, non avendo più funzione strutturale, possono essere ridotti nello spessore e al contempo essere "personalizzati" nella forma in base alle esigenze del committente. L'impianto strutturale dell'edificio funge quindi da reticolo sul quale organizzare gli elementi di chiusura, ancorandoli anche in questo caso a secco o tramite giunto umido.

I pannelli di facciata dell'edificio Monoblocco sono pienamente rispondenti a tali caratteristiche tipologiche: differenti nella forma e nelle finiture a seconda del prospetto e della collocazione in facciata, essi sono evidentemente prodotti su misura per rispondere alle esigenze costruttive e prestazionali richieste all'epoca.



Figura 28 - Rush Green Hospital, Romford, UK, 1966-1968. Al fine di ridurre i tempi e la spesa per il trasporto degli elementi prefabbricati è stata impiantata sul lotto stesso dell'ospedale un'officina di prefabbricazione completa di impianto di stagionatura con una catena di produzione lunga 100 m

3.5.5 Rilievo delle caratteristiche dimensionali

Il rilievo metrico e la sua restituzione grafica sono l'operazione fondamentale preliminare a tutte quelle successive, in quanto utili alla creazione di una base sulla quale riportare le informazioni degli ulteriori rilievi oltre che costituire la base per il nuovo progetto. Anche in questo caso la precisione del rilievo sarà commisurata agli obiettivi di conoscenza: una pianta o un prospetto in scala 1:100 o 1:50 potranno riportare quote con un'approssimazione di 1 o 2 cm (si consideri che la traduzione di un progetto su carta in un oggetto materiale comporta inevitabilmente l'introduzione di errori e tolleranze che sono a loro volta difficili da rilevare: ad esempio difficilmente gli angoli dei locali saranno realmente di 90 gradi, i muri non sono mai piani perfettamente perpendicolari e verticali, gli spessori possono variare per imprecisioni costruttive), mentre il rilievo di un dettaglio dovrà essere molto più preciso per consentire la riproduzione o far capire il perché di un guasto.³¹

Il passo successivo nella conoscenza dell'oggetto dell'intervento è quindi il rilievo metrico e la sua restituzione grafica tramite la predisposizione di tavole il cui oggetto sono piante, sezioni, prospetti o dettagli utili a comprendere la realtà fisica dell'oggetto in esame, ma anche quali supporto sul quale riportare le informazioni derivanti dalle successive indagini.

Per la ricostruzione geometrica-dimensionale delle chiusure dell'edificio monoblocco ci si è avvalsi in prima istanza delle tavole progettuali originali redatte all'epoca della realizzazione del presidio ospedaliero. Per aggiornare questa base con gli interventi subiti dall'edificio nei suoi cinquant'anni di attività, tali informazioni sono state successivamente incrociate con il supporto digitale posseduto dall'Ufficio Tecnico dell'Azienda Ospedaliera frutto di operazioni di rilievo e verifica dello stato di fatto del fabbricato nel corso dei suoi decenni di vita. Laddove alcuni dati fossero mancanti o incoerenti tra le fonti principali si è eseguito un rilievo in situ tramite l'utilizzo di strumenti di rilevazione diretta e indiretta quali doppio metro, bindella metrica e disto.

In allegato è riportata a titolo esemplificativo una tavola in scala 1:200 dei prospetti geometrici delle facciate dell'edificio monoblocco, da cui emerge la diversità morfologica delle due fronti di ogni blocco (Tavola 04). Le dimensioni principali da essi estrapolate sono riassunte nella seguente tabella:

³¹ Chiappa, F. 1968, *L'Ospedale San Carlo Borromeo*, Edizioni de La Ca' Granda, Milano

Tabella 16- Dati dimensionali dell'edificio

| DATI DIMENSIONALI DELL'EDIFICIO | | corpi A, B, D | | corpo C | |
|-----------------------------------|----------|---------------|-------|---------|-------|
| dimensioni lineari [m] | | sud | nord | sud | nord |
| lunghezza edificio | | 78,00 | | 59,40 | |
| lunghezza prospetto | | 71,00 | | 34,00 | 46,45 |
| lunghezza prospetto facciata tipo | | 64,10 | 45,50 | 28,00 | 38,60 |
| larghezza edificio | | 14,00 | | 14,00 | |
| altezza edificio | S1 - COP | 46,20 | | 46,20 | |
| altezza prospetto | S1 - P11 | 45,60 | | 45,60 | |
| altezza prospetto facciata tipo | P1 - P11 | 37,40 | | 37,40 | |
| altezza interpiano | S2 | 3,00 | | 3,00 | |
| | S1 - R | 3,80 | | 3,80 | |
| | P1 - P11 | 3,60 | | 3,60 | |
| | COP | 2,60 | | 2,60 | |

Le facciate rivolte a sud, che racchiudono le camere di degenza, sono formate da un'alternanza orizzontale di fasce piene in calcestruzzo dei pannelli prefabbricati – che proseguono fino in testata a formare i parapetti dei balconi – e di fasce di serramenti a nastro, trasparenti oppure opachi. Tali prospetti sono geometricamente movimentati da delle alette sporgenti al di sopra di ogni nastro di finestre allo scopo di proteggerli e creare con la loro continuità il motivo architettonico di facciata.

Le facciate rivolte a nord tra un corpo scala e l'altro (assieme a quella rivolta a sud del corpo C), sulle quali si affacciano i servizi, sono invece costituite da un'unica superficie opaca scandita da serramenti e logge rettangolari. Geometricamente più semplici e pulite, ogni elemento vive pressoché sullo stesso piano di facciata, fatta eccezione per delle fasce marcapiano che aggettano per una quindicina di centimetri.

3.5.6 Rilievo materico e delle tecnologie costruttive

Per rimuovere un guasto, incrementare il livello prestazionale, trasformare le superfici di rivestimento, accostare nuovi materiali e soluzioni tecnologiche è strettamente necessario rilevare le tecniche costruttive originarie con le quali è stato realizzato l'oggetto. Le campagne d'indagine consistono quindi in fotografie, rilievi di geometrie, materiali e metodi di assemblaggio di sezioni correnti e dettagli laddove e possibile un'ispezione visiva. Qualora questa non fosse possibile, come si è detto, non è sempre conveniente procedere con indagini strumentali o prove di laboratorio per conoscere l'esatta conformazione o composizione degli elementi di chiusura: nonostante l'impossibilità di rilevare puntualmente il metodo con cui è realizzato un elemento tecnico o un nodo costruttivo, la sensibilità del progettista nel leggere i dettagli visibili e incrociarli con le caratteristiche tipologiche di un dato luogo in una data epoca può essere sufficienti per ottenere un risultato attendibile.

Se un rilievo metrico consente di valutare spessori e caratteristiche geometriche dell'oggetto di in esame, per acquisire informazioni circa le stratigrafie degli elementi tecnici che costituiscono l'involucro e la loro conformazione nei punti singolari è necessario procedere a un rilievo materico e tecnologico. Ancora una volta, per la comprensione delle facciate del San Carlo ci si è avvalsi in prima istanza delle tavole progettuali originali del 1963.

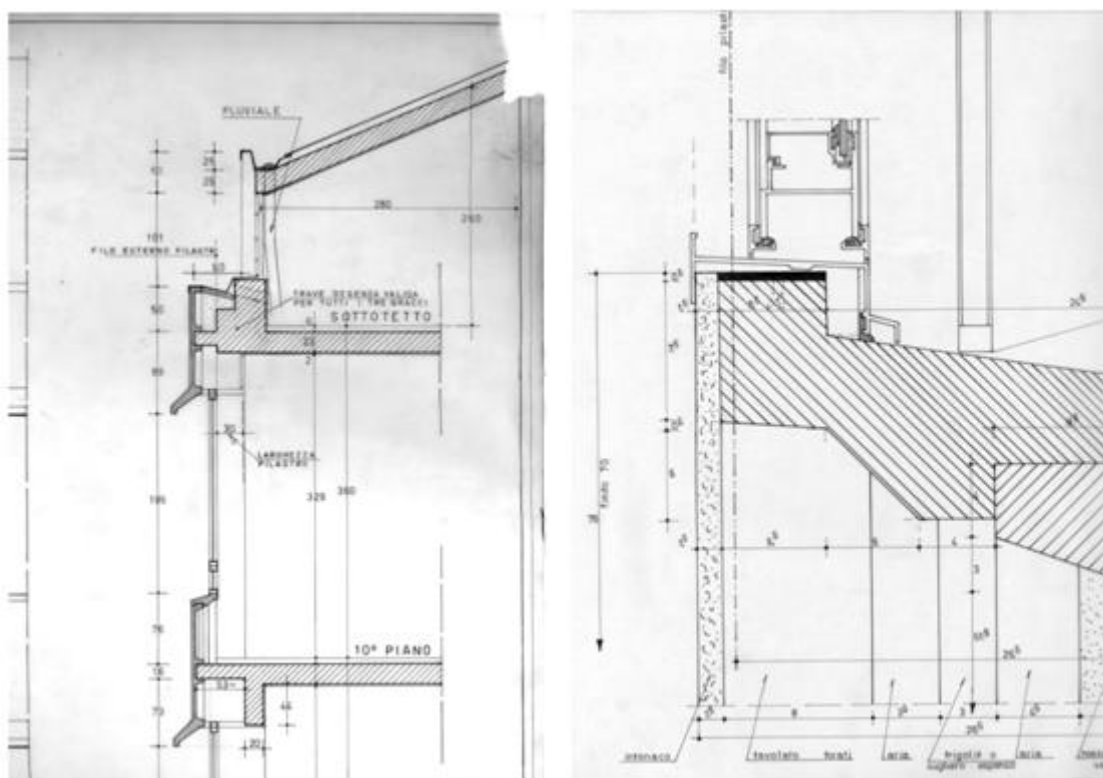


Figura 29 – Particolare della facciata e del davanzale delle facciate lato degenze

Le poche tavole di dettaglio sono state preziose a ricostruire la conformazione tecnologica delle facciate. A eccezione dei corpi scala e dei vani ascensori, le chiusure opache dal primo all'undicesimo piano sono costituite da pannelli prefabbricati non portanti in calcestruzzo armato, vincolati all'ossatura portante a telaio in corrispondenza di una mensola di spessore e profondità variabile all'estremità di ogni solaio.

I pannelli hanno una diversa conformazione geometrica a seconda della facciata. Poiché le fronti delle degenze sono costituite da fasce continue di serramenti, i pannelli di chiusura sono formati da un unico elemento che si sviluppa per un'altezza pari a circa 1,50 m: essendo vincolato al solaio in mezzera, metà di esso funge da parapetto per il piano soprastante, metà di esso funge da veletta per il piano sottostante. La larghezza dei pannelli è invece pari a 1,625 m ai fini della coordinazione con la maglia strutturale.

*Figura 30 –
Particolare dei
pannelli prefabbricati
della facciata
degenze*



Le fronti dei servizi, le cui aperture hanno forma rettangolare, sono invece costituite da diversi elementi: una fascia marcapiano si collega alla mensola di bordo del solaio e su di essa si appoggia poi il pannello prefabbricato vero e proprio. Esso copre tutto l'interpiano se ci si trova nella porzione di chiusura opaca tra un serramento e l'altro, oppure è diviso in due ulteriori elementi –parapetto e veletta –se ci si trova in corrispondenza di un serramento.

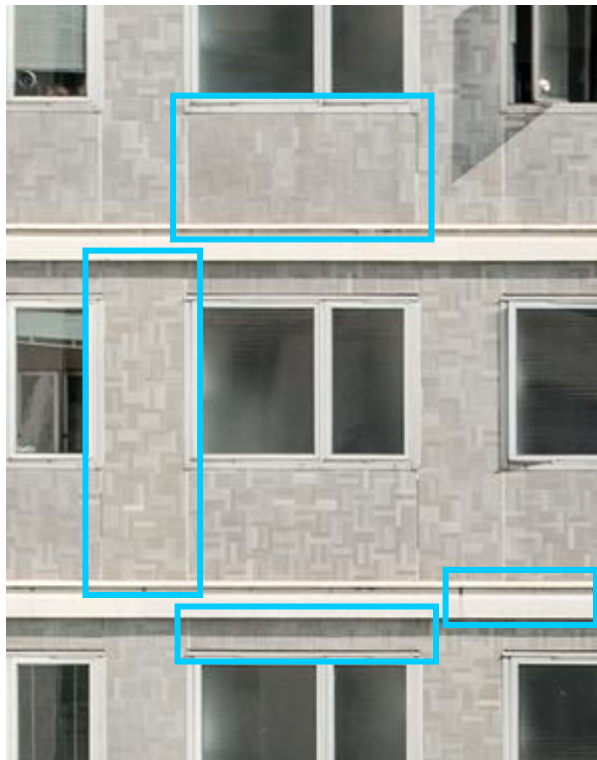


Figura 31 –
Particolare dei
pannelli prefabbricati
della facciata servizi

In entrambe le facciate il pannello prefabbricato che forma il parapetto è dotato sul lato interno di un massetto in cemento e vermiculite e completato dopo la sua posa in opera da uno strato di polistirene espanso e da una controparete in laterizi forati. La tenuta alle infiltrazioni d'acqua e umidità degli elementi prefabbricati è stata risolta adottando per essi unioni ad incastro sigillate con appositi mastici. A raccordare il pannello prefabbricato con la controparete in laterizio è infine posato un davanzale in calcestruzzo, sul quale sono installati i serramenti in lega di alluminio senza taglio termico e con vetro semplice. Essi sono di tipo a nastro per le facciate sul lato delle degenze, dove si alternano campiture opache fisse, campiture trasparenti fisse e campiture trasparenti apribili, oscurabili tramite un avvolgibile ispezionabile installato tra la parte inferiore del pannello prefabbricato e la trave di bordo del solaio. Sono invece serramenti individuali con apertura a bilico verticale sulle facciate lato servizi, privi di sistema di oscuramento.

Laddove non fosse possibile desumere dai disegni tecnici le informazioni ricercate, vista l'impossibilità di rilevarle visivamente o di procedere con misurazioni dirette, si è reso necessario effettuare ipotesi incrociando le informazioni derivanti dai rilievi precedenti: caratteristiche morfologiche, allineamenti, variazioni di spessore, discontinuità ottenute con un rilievo geometrico possono essere lette criticamente e confrontate con soluzioni tipiche dell'epoca desunti da manuali, conoscenza storica dei metodi costruttivi o raffronto con edifici simili. È il caso ad esempio del dettaglio di collegamento tra i pannelli prefabbricati e la struttura portante dell'edificio, le cui specifiche non sono mai riportate nei disegni di dettaglio. Alla luce del periodo e delle tecnologie tipiche dell'epoca, si può però ipotizzare che essi siano ancorati alla testa del solaio tramite un collegamento meccanico a secco e poi eventualmente completati con un getto di collegamento per la trasmissione del taglio e la creazione di una

barriera di tenuta. È quindi lecito ipotizzare che se fosse ritenuto necessario, la rimozione dei pannelli sarebbe possibile senza richiedere la loro totale demolizione, da effettuarsi in presenza di ponteggio, ma procedendo al loro ancoraggio alla gru, smontaggio e calo in basso. Tale supposizione è anche avvalorata osservando le fotografie scattate all'epoca di costruzione (Figura 26 – Cantiere dell'Ospedale San Carlo Borromeo nel 1964 (da Chiappa F., L'Ospedale San Carlo Borromeo)), nelle quali si può notare come le fasi di montaggio dei pannelli non abbiano richiesto l'utilizzo di opere provvisorie e quindi non lo richiederà nemmeno lo smontaggio a ritroso.

Per quanto concerne i materiali di finitura, i pannelli sulle fronti delle degenze sono stati realizzati con paramento a vista in graniglia di marmo martellinata in due colorazioni per creare un motivo architettonico di facciata con un gioco di finti giunti, mentre i pannelli sui fronti delle degenze sono rivestiti con piastrelle di gres smaltato grigio. Le parti strutturali lasciate a vista quali pilastri e murature in calcestruzzo armato dei piani seminterrato e rialzato sono in cemento spuntato, mentre le pareti in calcestruzzo armato dei corpi scala e dell'undicesimo piano sono rifinite con intonaco civile.

Le informazioni così raccolte sono state rappresentate graficamente nei in sezioni e prospetti in scala 1:50 utili a riassumere in una tavola d'insieme le caratteristiche dimensionali, tecnologiche e materiche dell'involucro dell'edificio (Tavole 05 e 06). Ulteriori tavole di dettaglio in scala 1:10 consentono di entrare nel merito degli strati funzionali dei vari elementi tecnici costituenti l'edificio in esame e del loro raccordo nei punti di interfaccia delle sezioni correnti (Tavola 07).

3.5.7 Rilievo delle prestazioni residue

Ogni chiusura, per quanto obsoleta o degradata, offre comunque un insieme di prestazioni residue – seppur non sufficienti per il raggiungimento degli obiettivi prefissati o non conformi alle normative vigenti – che costituiscono la base su cui sviluppare il progetto di aggiornamento. Tramite opportuni metodi di calcolo o prove in situ, è dunque necessario valutare tali prestazioni in termini di capacità resistente, tenuta all'aria e all'acqua, comportamento termoigrometrico e acustico, reazione al fuoco, ecc. Anche in questo caso, a fronte di frequenti incertezze in merito alla caratterizzazione dei materiali e delle loro proprietà, è possibile procedere alla successiva fase di progettazione senza necessariamente effettuare costose indagini (generalmente riservate a edifici di particolare pregio architettonico), attribuendo a tali materiali le caratteristiche più sfavorevoli in modo da essere tutelati da un margine di sicurezza elevato.

3.5.7.1 *Isolamento termico*

Si segue il metodo di calcolo proposto dalla normativa UNI EN ISO 6946:2008 – “Componenti ed elementi per edilizia: Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo”, che fornisce il metodo per il calcolo della resistenza termica e della trasmittanza termica dei componenti e degli elementi per edilizia, escluse le porte, le finestre e altre parti vetrate, le facciate continue, i componenti che implicano uno scambio termico con il terreno ed i componenti progettati per essere permeabili all'aria. Il metodo si applica invece ai componenti ed agli elementi costituiti da strati termicamente omogenei (che possono comprendere intercapedini d'aria) e a elementi contenenti strati eterogenei attraverso un termine correttivo.

Il principio del metodo di calcolo consiste in:

- determinazione della resistenza termica per ognuno degli strati termicamente omogenei che costituiscono il componente;
- somma di queste singole resistenze termiche, per determinare la resistenza termica totale del componente, includendo l'effetto delle resistenze superficiali.

Proprietà dei materiali

Si utilizzano i valori relativi alle proprietà dei materiali e dei prodotti forniti nella UNI 10351:1994 – “Materiali da costruzione: conduttività termica e permeabilità al vapore” per i materiali omogenei, mentre quelli forniti nella UNI 10355:1994 – “Mura e solai: valori della resistenza termica e metodi di calcolo” per gli elementi non omogenei.

Resistenza termica di strati omogenei

I valori termici di progetto possono essere espressi sia sotto forma di conduttività termica di progetto che di resistenza termica di progetto. Se è nota la conduttività termica, si determina la resistenza termica dello strato con la formula:

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Dove:

- d è lo spessore dello strato di materiale nel componente; esso spessore d può essere diverso dallo spessore nominale (per esempio quando un prodotto comprimibile è messo in opera compresso, d è minore dello spessore nominale);
- λ è la conduttività termica di progetto del materiale.

I valori della resistenza termica utilizzati nei calcoli intermedi, devono essere calcolati con almeno tre decimali.

Resistenze superficiali

Si utilizzano i valori riportati nel seguente prospetto per superfici piane in assenza di specifiche informazioni sulle condizioni al contorno. I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici con inclinazione fino a $\pm 30^\circ$ rispetto al piano orizzontale.

Tabella 17 - UNI 6946
– Prospetto 1 –
Resistenza
superficiale
convenzionale

| Resistenza superficiale $m^2 \times K/W$ | Direzione del flusso termico | | |
|---|------------------------------|-------------|-------------|
| | ascendente | orizzontale | discendente |
| R_{si} | 0,10 | 0,13 | 0,17 |
| R_{se} | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

Nota 1 I valori indicati sono valori di progetto. Per la dichiarazione della trasmittanza termica di componenti e negli altri casi in cui sono richiesti valori indipendenti dalla direzione del flusso termico, o quando questo ultimo è noto possa variare, si raccomanda di utilizzare i valori corrispondenti al flusso termico orizzontale.

Nota 2 Le resistenze termiche superficiali si applicano a superfici a contatto con l'aria. Le resistenze termiche superficiali non si applicano a superfici a contatto con altri materiali.

Resistenza termica di intercapedini d'aria ³²

Intercapedine d'aria non ventilata

Un'intercapedine d'aria non ventilata è caratterizzata dall'assenza di una specifica configurazione affinché l'aria possa attraversarla. Valori di progetto della resistenza termica sono forniti nel prospetto che segue. I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici con inclinazione fino a $\pm 30^\circ$ rispetto al piano orizzontale.

| Spessore dell'intercapedine d'aria (mm) | Resistenza termica ($m^2 \times K/W$) Direzione del flusso di calore | | |
|--|--|-------------|-------------|
| | ascendente | orizzontale | discendente |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 7 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 10 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 15 | 0,16 | 0,17 | 0,17 |
| 25 | 0,16 | 0,18 | 0,19 |
| 50 | 0,16 | 0,18 | 0,21 |
| 100 | 0,16 | 0,18 | 0,22 |
| 300 | 0,16 | 0,18 | 0,23 |

Nota I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

Tabella 18 - UNI 6946
- Prospetto 2 -
Resistenza termica di
intercapedini d'aria
non ventilate con
superfici ad alta
emissività

Un'intercapedine d'aria non separata dall'ambiente esterno da uno strato isolante, ma provvista di piccole aperture verso l'ambiente esterno, deve essere considerata come intercapedine d'aria non ventilata, se queste aperture non sono disposte in modo da permettere un flusso d'aria attraverso l'intercapedine e se non sono maggiori di:

- 500 mm² per metro di lunghezza (in direzione orizzontale) per le intercapedini d'aria verticali;
- 500 mm² per metro quadrato di area superficiale per intercapedini d'aria orizzontali.

³² I valori forniti si applicano ad un'intercapedine d'aria che:

- è delimitata da due lati effettivamente paralleli e perpendicolari alla direzione del flusso termico e con una emissività non minore di 0,8 (vero per la maggior parte dei materiali per l'edilizia);
- ha uno spessore (nella direzione del flusso termico) minore di 0,1 volte le altre due dimensioni, e comunque minore di 0,3 m;
- non scambia aria con l'ambiente interno.

Se non sono rispettate le condizioni sopra citate, si utilizzano apposite procedure presenti nella norma.

Inoltre non è possibile calcolare una singola trasmittanza termica per componenti contenenti intercapedini d'aria di spessore maggiore di 0,3 m. I flussi termici dovrebbero quindi essere determinati preferibilmente con un bilancio termico (vedere ISO 13789).

Intercapedine d'aria debolmente ventilata

Un'intercapedine d'aria debolmente ventilata è caratterizzata da un passaggio d'aria limitato, proveniente dall'ambiente esterno attraverso aperture aventi a rea A_v compresa nei seguenti intervalli:

- $> 500 \text{ mm}^2$ ma $< 1500 \text{ mm}^2$ per metro di lunghezza (in direzione orizzontale) per intercapedini d'aria verticali;
- $> 500 \text{ mm}^2$ ma $< 1500 \text{ mm}^2$ per metro quadrato di area superficiale per intercapedini d'aria orizzontali.

L'effetto della ventilazione dipende dalla dimensione e dalla disposizione delle aperture di ventilazione. Come prima approssimazione, la resistenza termica totale di un componente con intercapedine d'aria debolmente ventilata può essere calcolata come segue:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v}$$

Dove:

- $R_{T,u}$ è la resistenza termica totale con una intercapedine d'aria non ventilata;
- $R_{T,v}$ è la resistenza termica totale con una intercapedine d'aria fortemente ventilata.

Intercapedine d'aria fortemente ventilata

Un'intercapedine d'aria è fortemente ventilata se le aperture tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno sono uguali o maggiori di:

- 1500 mm^2 per metro di lunghezza (in direzione orizzontale) per le intercapedini d'aria verticali;
- 1500 mm^2 per metro quadrato di area superficiale per le intercapedini d'aria orizzontali.

La resistenza termica totale di un componente per edilizia contenente un'intercapedine d'aria fortemente ventilata, deve essere ottenuta trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli altri strati che separano detta intercapedine d'aria dall'ambiente esterno, e includendo una resistenza superficiale esterna corrispondente all'aria immobile. In alternativa, è possibile utilizzare il valore corrispondente di $R_{s,i}$ ricavabile dal prospetto 1.

Resistenza termica totale di un componente per l'edilizia costituito da strati omogenei

La resistenza termica totale, R_T , di un componente piano per edilizia costituito da strati termicamente omogenei perpendicolari al flusso termico, deve essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Dove:

- R_{si} è la resistenza superficiale interna;
- R_1, R_2, R_n sono le resistenze termiche di progetto di ciascuno strato;
- R_{se} è la resistenza superficiale esterna.

Nel caso di calcolo della resistenza di componenti interni per edilizia (divisori, ecc.), o di componenti situati tra l'ambiente interno ed un ambiente non riscaldato, R_{si} si applica su entrambi i lati.

Se la resistenza termica totale si presenta come risultato finale, questa deve essere riportata con arrotondamento al secondo decimale.

Trasmittanza termica

La trasmittanza termica è data da:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Quando la trasmittanza termica è presentata come un risultato finale, deve essere arrotondata a due cifre significative e devono essere fornite informazioni sui dati in ingresso utilizzati per il calcolo.

In alternativa, per determinare la trasmittanza di componenti opachi e trasparenti di edifici esistenti in modo semplificato, è possibile ricorrere ai valori tabulati nelle appendici A, B e C della norma UNI TS 11300-1:2008 – “Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”.

Spessore di isolante da aggiungere:

Nota il valore di trasmittanza da raggiungere U_F per adeguare il valore della parete a quello della normativa vigente, si calcola il valore della resistenza termica che dovrà garantire lo strato isolante da aggiungere:

$$\Delta R = \frac{1}{U_F} - \frac{1}{U} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Scelti la tecnologia di intervento più appropriata (isolamento esterno, interno, in intercapedine, ecc.) e il materiale isolante in relazione ad essa, sarà noto il suo valore di conducibilità termica $\lambda \left[\frac{W}{m K} \right]$ col quale calcolare lo spessore minimo del materiale isolante da aggiungere:

$$s = \lambda \cdot \Delta R \quad [m]$$

Si riportano di seguito i dati estratti dalle normative indicate relativamente ai materiali che compongono la stratigrafia e le proprietà di isolamento termico calcolate.

| strati funzionali | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| n | materiale | densità [kg/m ³] | spessore L [m] | peso al m ² L [kg] |
| esterno | | | | |
| 1 | pannello prefabbricato in c.a. | 2400 | 0,040 | 96 |
| 2 | massetto in cemento e vermiculite | 400 | 0,040 | 16 |
| 3 | camera d'aria | 1 | 0,045 | 0 |
| 4 | pannelli in EPS | 30 | 0,030 | 1 |
| 5 | camera d'aria | 1 | 0,035 | 0 |
| 6 | laterizi forati | 1800 | 0,080 | 144 |
| 7 | intonaco di base e di finitura | 1400 | 0,015 | 21 |
| interno | | | | |
| totale | | | 0,285 | 278 |

| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | | | | | | |
|--|-------------|---------------------------------|--|---|-----------|--|--|
| materiale | fonte | densità [kg/m ³] | conducibilità à termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | fonte | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore S [kg/(m s Pa)] |
| resistenza liminare interna | UNI 6946 | - | - | 0,13 | UNI 10456 | - | - |
| resistenza liminare esterna | UNI 6946 | - | - | 0,04 | UNI 10456 | - | - |
| intercapedine d'aria non ventilata, sp. 1 cm | UNI 6946 | 1,23 | - | 0,022 | UNI 10456 | 1 | - |
| intercapedine d'aria non ventilata, sp. 4,5 cm | UNI 6946 | 1,23 | - | 0,099 | UNI 10456 | 1 | - |
| intercapedine d'aria non ventilata, sp. 3,5 cm | UNI 6946 | 1,23 | - | 0,077 | UNI 10456 | 1 | - |
| calcestruzzo | UNI 10351 | 2400 | 1,66 | - | UNI 10456 | 130 | - |
| intonaco di calce e gesso | UNI 10351 | 1400 | 0,7 | - | UNI 10456 | 10 | - |
| EPS | (UNI 10351) | 30 | 0,034 | - | UNI 10456 | 60 | - |
| calcestruzzo di perlite e di vermiculite | UNI 10351 | 400 | 0,11 | - | UNI 10456 | 8 | - |
| murazione in mattoni forati | UNI 10355 | 1800 | - | 0,2 | UNI 10351 | - | 3E-11 |

| n | conducibilità à termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] |
|---|--|---|--|
| esterno | | 0,04 | 0,04 |
| 1 | 1,66 | 0,02 | 0,06 |
| 2 | 0,11 | 0,36 | 0,43 |
| 3 | - | 0,099 | 0,53 |
| 4 | 0,034 | 0,88 | 1,41 |
| 5 | - | 0,08 | 1,49 |
| 6 | 0,40 | 0,2 | 1,69 |
| 7 | 0,70 | 0,02 | 1,71 |
| interno | | 0,25 | 1,96 |
| totale | | 1,96 | |
| densità di flusso φ [W/m ²] | trasmissione U [W/(m ² K)] | trasmissione limite J _{lim} [W/(m ² K)] | sp. isolante da s _{min} [m] |
| 10,37 | 0,51 | 0,34 | 0,03 |

È evidente come la trasmittanza della stratigrafia attuale ecceda i valori ammissibili dall'attuale normativa in materia di risparmio energetico degli edifici. Al fine di sopperire a tale mancanza lo spessore minimo dello strato isolante da aggiungere è pari a 4 cm.

Trasmittanza termica dei serramenti

Può essere calcolata secondo il metodo semplificato indicato dalla nella norma UNI EN ISO 10077-1 – “Finestre, porte e schermi. Trasmittanza termica. Parte 1: Generalità”. La trasmittanza dei telai potrà essere determinata secondo il metodo numerico secondo la norma UNI EN 10077-2 – “Trasmittanza termica di finestre, porte e chiusure. Calcolo della trasmittanza termica. Parte 2: Metodo numerico per telai”. La trasmittanza delle vetrazioni potrà essere determinata ancora una volta mediante metodo semplificato secondo le norme UNI EN 10077-1 oppure in conformità alla EN 673.

I prospetti F.1 e F.2 della ISO 10077-1 forniscono direttamente i valori caratteristici calcolati mediante il metodo esposto nella prima parte della stessa, calcolati per finestre:

- posizionate verticalmente;
- di dimensioni 1,23 m per 1,48 m;
- con l'area del telaio pari al 30% e al 20% dell'area totale della finestra;
- con i tipi di vetrata e telaio seguenti:
 - o vetrata: $U_g \geq 2,1$: vetro non trattato; $U_g \geq 2,0$: vetro a bassa emissività;
 - o telaio: $U_f = 7,0$: metallo senza taglio termico; $2,2 \leq U_f \leq 3,8$: metallo con taglio termico; $U_f \geq 2,0$: legno o PVC,
- con una singola luce.

Valori per finestre di altre dimensioni, posizionate con inclinazione diversa dalla verticale, con altre percentuali di area del telaio o con altre permutazioni telaio/vetrata possono essere determinati per mezzo delle equazioni contenute nel corpo principale della normativa.

Tabella 19 - UNI 1077-1 - Prospetto F.2 - Trasmittanza termica U_w per finestre verticali con percentuale dell'area del telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra e tipologie comuni di distanziatori di vetrate

| Tipo di vetrata | U_g | Trasmittanze termiche U_w , per finestre verticali con percentuale dell'area del telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra e tipologie comuni di distanziatori di vetrate e valori U_f seguenti | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 7,0 | |
| Singola | 5,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 6,0 | |
| Doppia o tripla | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 4,1 | |
| | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | |
| | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,9 | |
| | 3,0 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,9 | |
| | 2,9 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,8 | |
| | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,7 | |
| | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | |
| | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,6 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,5 | |
| | 2,5 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,5 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,5 | |
| | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,4 | |
| | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 3,3 | |
| | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 3,2 | |
| | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 3,1 | |
| | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 3,1 | |
| | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 3,1 | |
| 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3,0 | | |
| 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | | |
| 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,8 | | |
| 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,7 | | |

Poiché le caratteristiche dei serramenti dell'edificio in esame sono estremamente simili alle ipotesi alla base del calcolo dei valori tabellati, si assume accettabile l'utilizzo delle stesse al posto del calcolo tramite equazione esposto nella prima parte della norma. Il valore di trasmittanza dei serramenti, con telaio in alluminio senza taglio termico di trasmittanza $U_f = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e vetrata singola di trasmittanza $U_g = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, può essere assunto $U_w = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tale valore di trasmittanza risulta estremamente al di sopra della soglia ammissibile da normativa, pari a $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il progetto di redadding dovrà quindi prevedere la sostituzione dei serramenti esistenti con una tipologia più attuale e performante, dotata di telaio con taglio termico e vetrocamera isolante, in grado di abbattere il flusso termico che attraversa le chiusure trasparenti di 2/3.

Poiché i serramenti dovranno obbligatoriamente essere sostituiti, non si ritiene necessario valutare la classe di resistenza al vento, di permeabilità all'aria e di tenuta all'acqua. In caso ciò fosse necessario, sarebbe plausibile attribuire loro le classi prestazionali peggiori alla luce della vetustà della loro costruzione e installazione ma anche per assicurarsi un margine di sicurezza nella valutazione delle prestazioni residue.

3.5.7.2 Condensazione superficiale

Si segue il metodo di calcolo proposto dalla normativa UNI EN ISO 13788:2013 – “Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia: Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale. Metodi di calcolo”.

In relazione alla temperatura dell’aria e alla quantità di umidità in essa presente in essa – espressa in umidità assoluta X [g/kg di aria secca] o in umidità relativa φ [%] – è possibile individuare la temperatura di rugiada alla quale il vapor d’acqua presente nella aria condensa. Laddove la temperatura di una superficie a contatto con la massa d’aria in analisi sia $T_{sup} \leq T_{rug}$ si verifica il fenomeno della condensa.

Proprietà dei materiali

Si utilizzano i valori relativi alle proprietà dei materiali e dei prodotti forniti nella UNI 10351:1994 – “Materiali da costruzione: conduttività termica e permeabilità al vapore” per i materiali omogenei, mentre quelli forniti nella UNI 10355:1994 – “Mura ture e solai: valori della resistenza termica e metodi di calcolo” per gli elementi non omogenei. Per la determinazione delle proprietà igrometriche si fa invece riferimento alla più recente UNI EN ISO 10456:2010 – “Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto”.

Per la valutazione della crescita di muffe e della condensazione interstiziale si devono utilizzare i valori di R_{si} e R_{se} riportati nel prospetto 2.

| | Resistenza $m^2 \cdot K/W$ |
|--|-------------------------------|
| Resistenza termica superficiale esterna R_{se} | 0,04 |
| Resistenza termica superficiale interna R_{si} | |
| Per vetri e telai | 0,13 |
| Per tutte le altre superfici interne | 0,25 |

Tabella 20 - UNI 13788 – Prospetto 2 – Resistenze termiche superficiali

Per effettuare le successive verifiche, si divide l’elemento edilizio in una serie di strati omogenei con facce piane parallele, e si definiscono le proprietà del materiale per ciascuno di essi. Ogni singolo strato di componenti o prodotti multistrato, inclusi quelli con finiture o coperture superficiali, deve essere trattato individualmente, considerando per ciascuno separatamente le proprietà di trasmissione del calore e del vapore. Si calcolano la resistenza termica R e lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore s_a di ogni singolo strato dell’elemento edilizio. Alcuni materiali, come i fogli metallici, impediscono efficacemente la trasmissione del vapore e perciò hanno un valore infinito di μ . Tuttavia, dato che nella procedura di calcolo è richiesto un valore finito di μ , dovrebbe essere assunto, per questi materiali, un valore pari a 100000. Questo può portare a predire quantità, seppure minime, di acqua condensata, che dovrebbe essere trascurata, considerandola dovuta alle in accuratezze del metodo di calcolo.

Si calcolano i valori cumulati della resistenza termica e dello spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore, tra l'esterno e ciascuna interfaccia n e i valori totali:

$$R'_n = R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j \quad s'_{d,n} = \sum_{j=1}^n s_{d,j}$$

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se} \quad s'_{d,T} = \sum_{j=1}^n s_{d,j}$$

Si calcola inoltre lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore, ovvero lo spessore di uno strato di aria in quiete avente la stessa resistenza al vapore dello strato di materiale in esame, tramite la formula:

$$s_d = \mu \cdot d \quad [m]$$

Le proprietà della stratigrafia sono quindi riassunte nella seguente tabella:

| proprietà fisiche | | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|--|-----------------------------------|---|
| n | conduttività termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] | spessore equivalente s_d [m] | spessore equivalente cumulato s'_d [m] |
| esterno | | 0,04 | 0,04 | | | | |
| 1 | 1,66 | 0,02 | 0,06 | 130 | | 5,20 | 5,20 |
| 2 | 0,11 | 0,36 | 0,43 | 8 | | 0,32 | 5,52 |
| 3 | - | 0,099 | 0,53 | 1 | | 0,01 | 5,53 |
| 4 | 0,034 | 0,88 | 1,41 | 60 | | 1,80 | 7,33 |
| 5 | - | 0,08 | 1,49 | 1 | | 0,01 | 7,34 |
| 6 | 0,40 | 0,2 | 1,69 | 6,7 | 3E-11 | 0,53 | 7,87 |
| 7 | 0,70 | 0,02 | 1,71 | 10 | | 0,15 | 8,02 |
| interno | | 0,25 | 1,96 | | | | |
| totale | | 1,96 | | | | 8,02 | |

Condizioni climatiche

Si utilizzano i valori medi mensili dati climatici della località in cui è collocato l'edificio, ricavati dalla norma UNI 10349 – "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici: dati climatici", assieme ai dati di progetto per l'aria interna, secondo l'uso previsto per l'edificio.

I valori della pressione del vapore di saturazione sono calcolati in base ai valori medi della temperatura esterna, con la formula empirica:

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269 \vartheta}{237,3 + \vartheta}} \quad \text{per } \vartheta > 0 \quad [Pa]$$

I valori medi mensili della pressione del vapore sono calcolati in base ai valori medi della temperatura e dell'umidità relativa, con l'equazione:

$$\bar{p}_e = \phi_e p_{sat}(\bar{\vartheta}_e) \quad [Pa]$$

Nelle verifiche delle prestazioni della chiusura allo stato di fatto, l'umidità dell'aria interna si deriva dall'espressione:

$$p_i = p_e + \Delta p \quad [Pa]$$

Assumendo i valori di Δp in accordo con la destinazione d'uso dell'edificio e moltiplicati per 1,10 per prevedere un margine di sicurezza.

Produzione di vapore interna

L'apporto specifico di umidità all'interno degli ambienti può essere suddiviso in cinque classi. Si utilizza il prospetto A.1 per la scelta delle classi di umidità.

| Classe di umidità | Edificio |
|-------------------|---|
| 1 | Magazzini |
| 2 | Uffici, negozi |
| 3 | Alloggi con basso indice di affollamento |
| 4 | Alloggi con alto indice di affollamento, palestre, cucine, cantine; edifici riscaldati con sistemi a gas senza camino |
| 5 | Edifici speciali, per esempio lavanderie, distillerie, piscine |

Tabella 21 - UNI 13788 - Prospetto A.1 - Classi di umidità interna agli ambienti

Quindi si utilizza la figura A.1 per determinare i valori limite di Δv e Δp , relativi ad ogni classe, prendendo i valori limite superiori per ogni classe (condizioni più gravose).

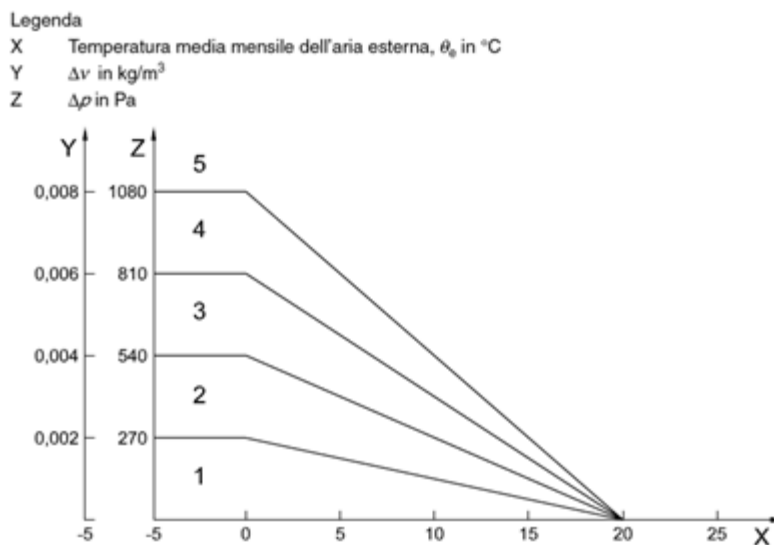


Figura 32 - UNI 13788 - Figura A.1 - Variazione delle classi di umidità interna in funzione della temperatura esterna

Da cui:

| mese | ϑ_e [°C] | Δv [kg/m ³] | Δp [Pa] | $\Delta p \cdot 1,10$ [Pa] |
|------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| gen | 1,7 | 0 | 990 | 1089 |
| feb | 4,2 | 0 | 880 | 968 |
| mar | 9,2 | 0 | 610 | 671 |
| apr | 14,0 | 0 | 360 | 396 |
| mag | 17,9 | 0 | 135 | 149 |
| giu | 22,5 | 0 | 0 | 0 |
| lug | 25,1 | 0 | 0 | 0 |
| ago | 24,1 | 0 | 0 | 0 |
| set | 20,4 | 0 | 0 | 0 |
| ott | 14,0 | 0 | 360 | 396 |
| nov | 7,9 | 0 | 630 | 693 |
| dic | 3,1 | 0 | 945 | 1040 |

Si avrà quindi:

| mese | ϑ_e [°C] | $P_{s,e}$ [Pa] | P_e [Pa] | φ_e [-] | ϑ_i [°C] | $P_{s,i}$ [Pa] | P_i [Pa] | φ_i [-] |
|------|-----------------------|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| gen | 1,7 | 690 | 590 | 0,85 | 22 | 2642 | 1679 | 0,64 |
| feb | 4,2 | 824 | 645 | 0,78 | 22 | 2642 | 1613 | 0,61 |
| mar | 9,2 | 1163 | 943 | 0,81 | 22 | 2642 | 1614 | 0,61 |
| apr | 14,0 | 1598 | 1163 | 0,73 | 26 | 3359 | 1559 | 0,46 |
| mag | 17,9 | 2050 | 1326 | 0,65 | 26 | 3359 | 1475 | 0,44 |
| giu | 22,5 | 2724 | 1840 | 0,68 | 26 | 3359 | 1840 | 0,55 |
| lug | 25,1 | 3185 | 1736 | 0,55 | 26 | 3359 | 1736 | 0,52 |
| ago | 24,1 | 3000 | 2012 | 0,67 | 26 | 3359 | 2012 | 0,60 |
| set | 20,4 | 2395 | 1921 | 0,80 | 26 | 3359 | 1921 | 0,57 |
| ott | 14,0 | 1598 | 1412 | 0,88 | 22 | 2642 | 1808 | 0,68 |
| nov | 7,9 | 1065 | 958 | 0,90 | 22 | 2642 | 1651 | 0,62 |
| dic | 3,1 | 763 | 671 | 0,88 | 22 | 2642 | 1711 | 0,65 |

Rinnovo dell'aria

Per l'edificio in esame, il tasso di rinnovo d'aria di progetto, regolato dagli impianti meccanici di ventilazione, è pari a 3 vol/h. Quello allo stato di fatto, in assenza di sistemi di ventilazione, è stimato tramite la formula proposta in normativa:

$$n = 0,2 + 0,04 \vartheta_e \left[\frac{vol}{h} \right]$$

Dove:

- ϑ_e è la temperatura esterna media mensile secondo la UNI 10349; per $\vartheta_e < 0$ si assuma $n = 0,2$ vol/h;
- il primo termine tiene conto della ventilazione comunque generata da infiltrazioni attraverso i serramenti e dai normali flussi d'aria prodotti dall'utilizzo comune degli ambienti;

- il secondo termine tiene conto di una ventilazione aggiuntiva, dovuta al comportamento dell'utenza (apertura di finestre e porte esterne) in funzione delle condizioni climatiche esterne.

| mese | ϑ_e [°C] | n SDF [vol/h] | n SDP [vol/h] |
|------|-----------------------|------------------|------------------|
| gen | 1,7 | 0,27 | 3 |
| feb | 4,2 | 0,37 | 3 |
| mar | 9,2 | 0,57 | 3 |
| apr | 14,0 | 0,76 | 3 |
| mag | 17,9 | 0,92 | 3 |
| giu | 22,5 | 1,10 | 3 |
| lug | 25,1 | 1,20 | 3 |
| ago | 24,1 | 1,16 | 3 |
| set | 20,4 | 1,02 | 3 |
| ott | 14,0 | 0,76 | 3 |
| nov | 7,9 | 0,52 | 3 |
| dic | 3,1 | 0,32 | 3 |

Per evitare la crescita di muffe, l'umidità relativa in corrispondenza delle superfici non deve essere maggiore di 0,8 per periodi di tempo di diversi giorni. Con un valore massimo accettabile di umidità relativa in corrispondenza della superficie $\varphi_{si} = 0,8$ si calcola quindi il valore minimo accettabile della pressione di saturazione p_{sat} :

$$p_{sat}(\vartheta_{si}) = \frac{p_i}{0,8} \quad [Pa]$$

A partire dalla pressione di saturazione del vapore minima si determina quindi la temperatura superficiale interna minima accettabile $\vartheta_{si,min}$, invertendo le formule empiriche necessarie per calcolare la pressione di saturazione del vapore in funzione della temperatura:

$$\vartheta = \frac{237,3 \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \quad \text{per } p_{sat} \geq 610,5 Pa$$

Dalla temperatura superficiale minima accettabile $\vartheta_{si,min}$, dalla temperatura dell'aria interna assunta ϑ_i e dalla temperatura esterna ϑ_e , si calcola il fattore di temperatura minimo, $f_{Rsi,min}$, secondo l'equazione:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\vartheta_{si,min} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} \quad [-]$$

Si definisce mese critico quello con il più alto valore richiesto di $f_{Rsi,min}$. Il fattore di temperatura per questo mese viene indicato con $f_{Rsi,max}$ e il componente edilizio deve essere progettato in modo tale da avere un fattore f_{Rsi} sempre maggiore di $f_{Rsi,max}$.

| mese | p_i [Pa] | φ_{si} [-] | p_{seti} [Pa] | $\vartheta_{si,min}$ [°C] | ϑ_e [°C] | ϑ_i [°C] | $f_{Rsi,min}$ [-] |
|------|---------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| gen | 1679 | 0,80 | 2099 | 18,3 | 1,7 | 22 | 0,82 |
| feb | 1613 | 0,80 | 2016 | 17,6 | 4,2 | 22 | 0,75 |
| mar | 1614 | 0,80 | 2018 | 17,6 | 9,2 | 22 | 0,66 |
| apr | 1559 | 0,80 | 1949 | 17,1 | 14,0 | 26 | 0,26 |
| mag | 1475 | 0,80 | 1843 | 16,2 | 17,9 | 26 | -0,21 |
| giu | 1840 | 0,80 | 2300 | 19,7 | 22,5 | 26 | -0,79 |
| lug | 1736 | 0,80 | 2170 | 18,8 | 25,1 | 26 | -6,99 |
| ago | 2012 | 0,80 | 2515 | 21,2 | 24,1 | 26 | -1,53 |
| set | 1921 | 0,80 | 2401 | 20,4 | 20,4 | 26 | 0,01 |
| ott | 1808 | 0,80 | 2260 | 19,5 | 14,0 | 22 | 0,68 |
| nov | 1651 | 0,80 | 2064 | 18,0 | 7,9 | 22 | 0,72 |
| dic | 1711 | 0,80 | 2138 | 18,6 | 3,1 | 22 | 0,82 |

Per il calcolo del fattore f_{Rsi} utilizza l'equazione:

$$f_{Rsi} = \frac{\vartheta_{si} - \vartheta_e}{\vartheta_i - \vartheta_e} \quad [-]$$

È dunque necessario calcolare la temperatura superficiale, ottenibile tramite il calcolo della distribuzione di temperatura utile anche per le verifiche successive. Esso deriva dalle formule della termodinamica che esprimono il flusso termico specifico attraverso la parete in condizioni stazionarie:

$$q = \frac{\lambda}{d} (\vartheta_i - \vartheta_e) = \frac{1}{R} (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

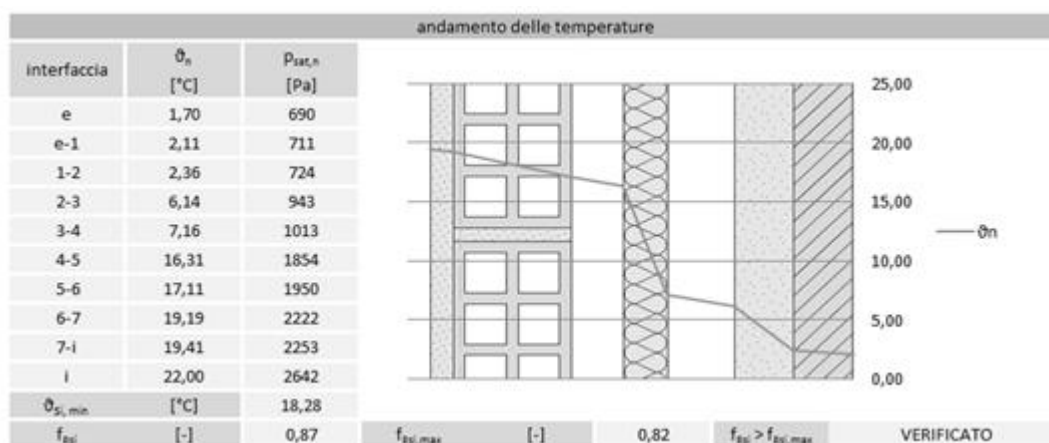
Sono state dunque calcolate le temperature superficiali dei punti di interfaccia tra materiali diversi all'interno della stratigrafia della parete:

$$\vartheta_n = \vartheta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad [°C]$$

Assumendo condizioni stazionarie, la distribuzione di temperatura è assunta lineare in ogni strato.

Si procede infine a verificare che $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$.

Si riporta a titolo d'esempio il calcolo applicato al caso di studio per il mese di gennaio:



3.5.7.3 Condensazione interstiziale

A partire dal primo mese in cui è prevista condensazione, vengono considerate le condizioni medie mensili esterne per calcolare la quantità di acqua condensata o evaporata in ciascuno dei dodici mesi dell'anno. La quantità di acqua condensata accumulata alla fine di quei mesi in cui è avvenuta condensazione viene confrontata con quella evaporata complessivamente durante il resto dell'anno.

Si comincia, a partire da un qualsiasi mese dell'anno (mese di tentativo), a calcolare la distribuzione della temperatura, della pressione di saturazione e della distribuzione di vapore attraverso il componente³³.

Il calcolo della distribuzione delle temperature è lo stesso effettuato per la verifica della condensazione superficiale.

Si calcola quindi la pressione del vapore di saturazione a partire dalla temperatura in ciascuna interfaccia tra gli strati di materiale con la formula empirica:

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269 \vartheta}{237,3 + \vartheta}} \quad \text{per } \vartheta > 0 \quad [Pa]$$

Seguendo un procedimento analogo a quello utilizzato per il calcolo del profilo della temperatura nei materiali si calcola ora il flusso di vapore ricorrendo all'analogia tra passaggio di flusso termico attraverso un elemento tecnico e il passaggio del vapore. Il trasporto dell'umidità è infatti assunto come sola funzione del vapore acqueo, descritto dalla seguente relazione:

$$g = \frac{\delta_0 \Delta p}{\mu \Delta x} = \frac{\delta_0 \Delta p}{s_d}$$

Dove:

- $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \left[\frac{Kg}{m s Pa} \right]$ è la permeabilità al vapore dell'aria (il suo valore dipende in realtà dalla temperatura e dalla pressione atmosferica, ma queste influenze vengono trascurate nella presente norma)
- $\mu = \frac{\delta_0}{\delta} \quad [-]$ è la resistenza alla diffusione del vapore
- $s_d = \mu \cdot d \quad [m]$ è lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore, ovvero lo spessore di uno strato di aria in quiete avente la stessa resistenza al vapore dello strato di materiale in esame.

In virtù dell'analogia tra flusso di calore e flusso di vapore si possono calcolare le distribuzioni delle pressioni parziali all'interno della parete:

$$p_{v n} = p_{v n-1} + \frac{s_{d n}}{s_{d T}} (p_{vi} - p_{ve}) \quad [Pa]$$

³³ In climi al di fuori dei tropici, caratterizzati da stagioni ben definite, si può individuare rapidamente il mese di partenza, scegliendo il mese di tentativo uno o due mesi prima del periodo più freddo dell'anno.

Si verifica che:

$$p_{sat,n} \geq p_{v,n}$$

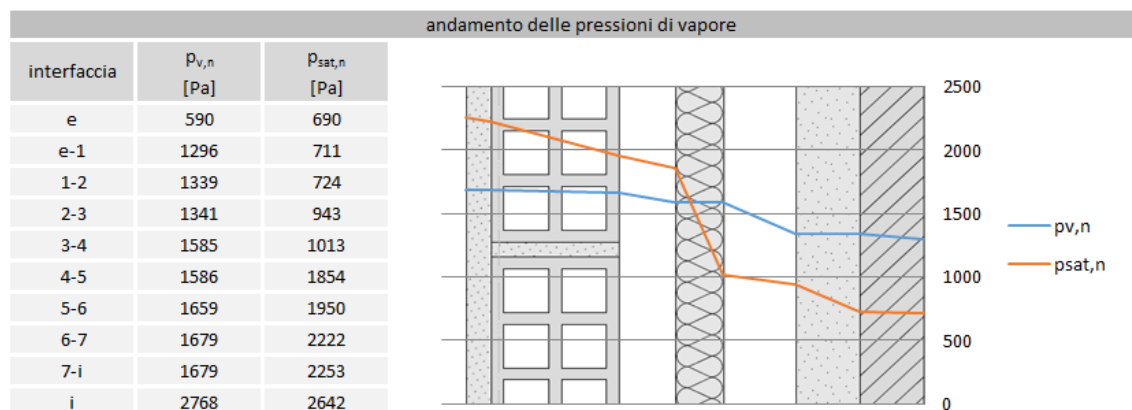
Se non è prevista alcuna condensazione nel mese di tentativo, si ripete il calcolo con i mesi seguenti in successione, fino a che:

- non si trova condensazione in nessuno dei dodici mesi, ed allora si assume che il componente sia esente da fenomeni di condensazione interstiziale; oppure
- si individua un mese con condensazione, che viene considerato il mese di partenza.

Se si prevede condensazione nel mese di tentativo, si ripete il calcolo con i successivi mesi precedenti a ritroso, fino a che:

- si prevede condensazione in tutti i dodici mesi, ed allora, a partire da un mese qualunque, si calcola la condensa accumulata complessivamente nell'anno
- si individua un mese senza condensazione e si considera quindi il mese seguente come mese di partenza.

Si riporta a titolo d'esempio il calcolo applicato al caso di studio per il mese di gennaio:



Segue un esempio di scheda di verifica delle prestazioni termoigrometriche residue che raccoglie le caratteristiche della stratigrafia dell'elemento tecnico analizzato, le sue proprietà fisiche, le condizioni climatiche e l'andamento delle temperature e delle pressioni di vapore nel mese più critico dell'anno (Scheda 03). Sono poi allegate le schede di verifica della condensazione superficiale effettuate per ogni mese del periodo invernale con lo stesso procedimento (Schede 04 e 05).

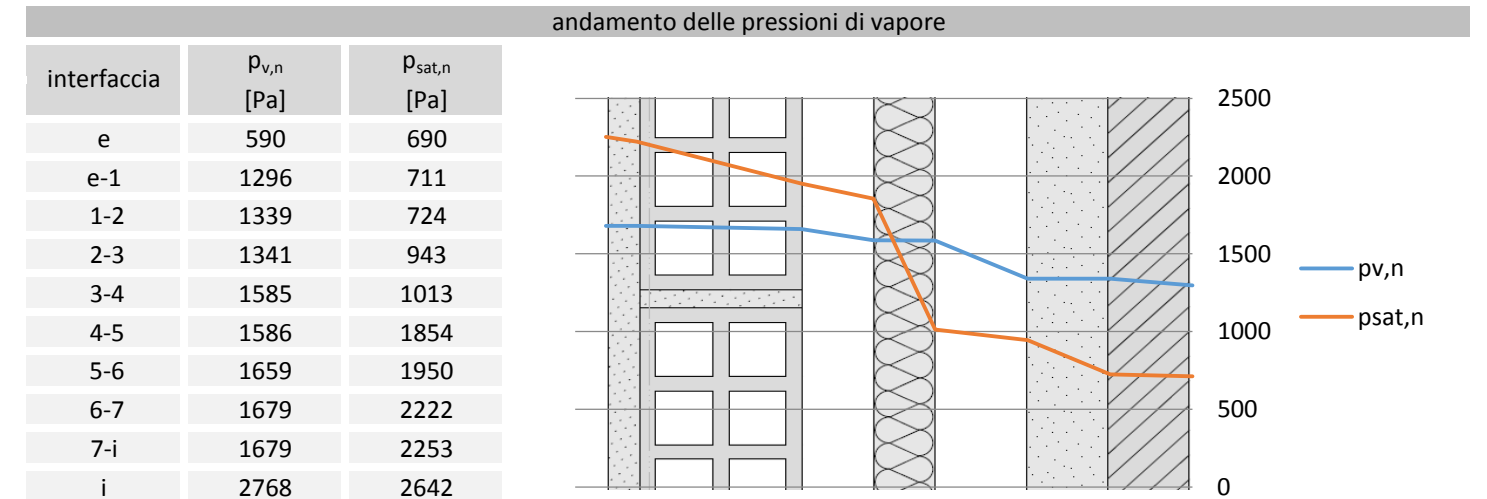
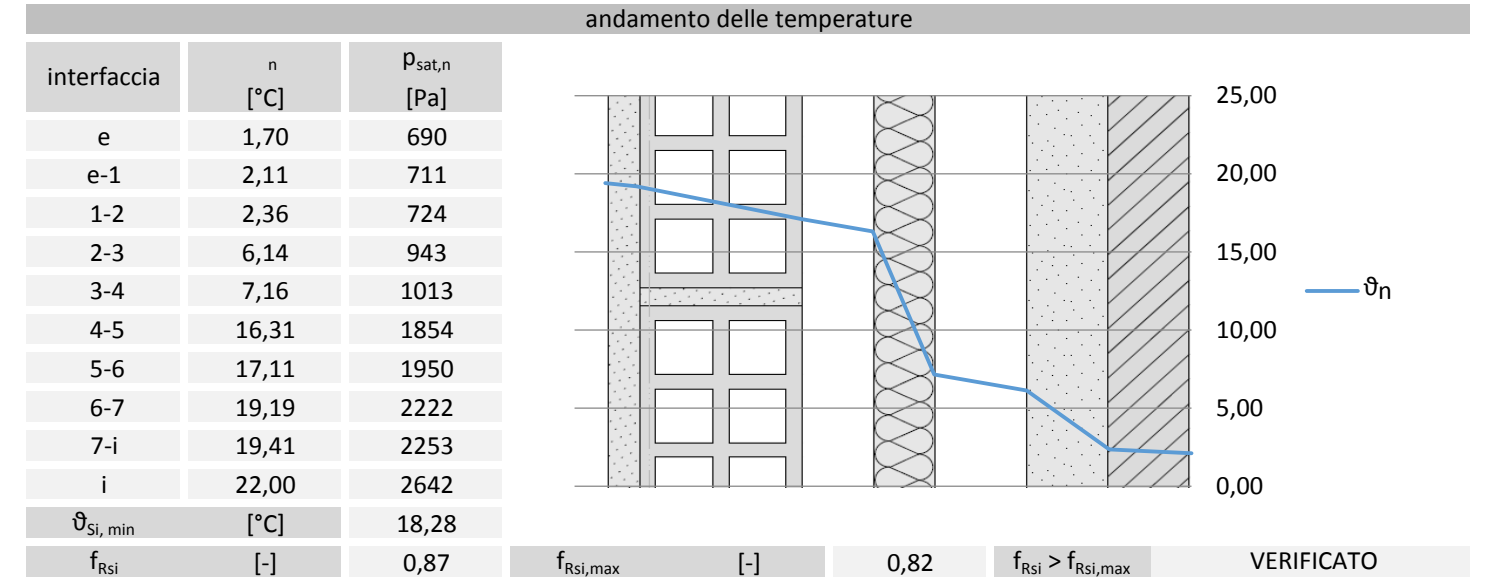
SCHEDA DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI TERMOIGROMETRICHE

| caratteristiche | |
|------------------|--------------------------|
| elemento tecnico | chiusura verticale opaca |
| codice | CV01 |

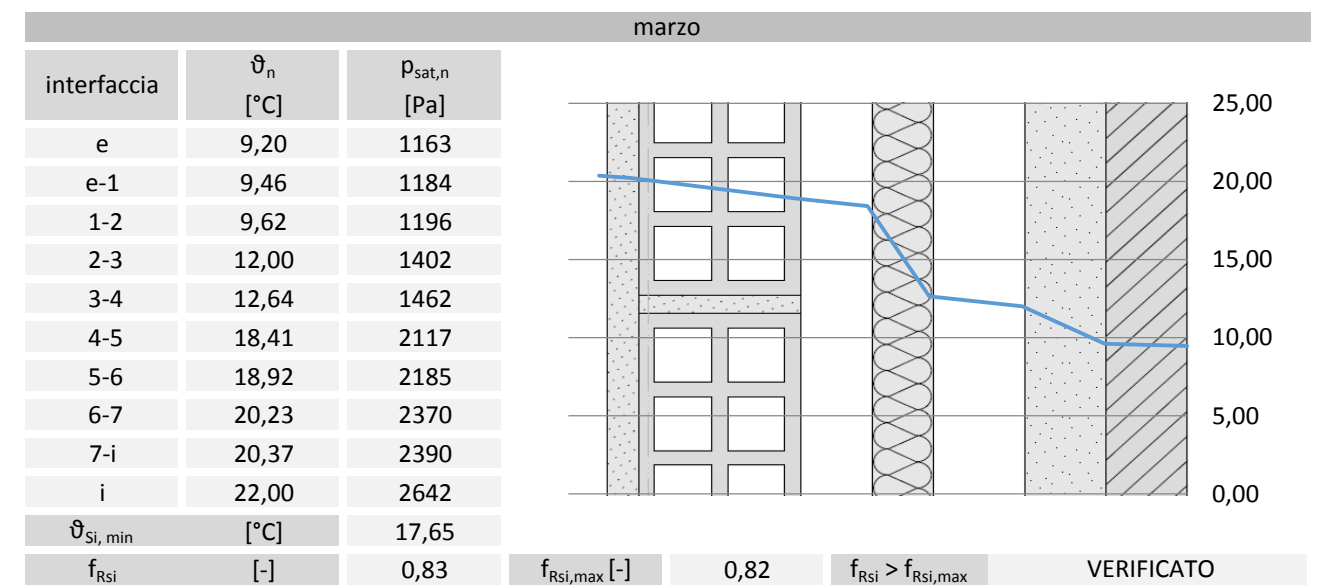
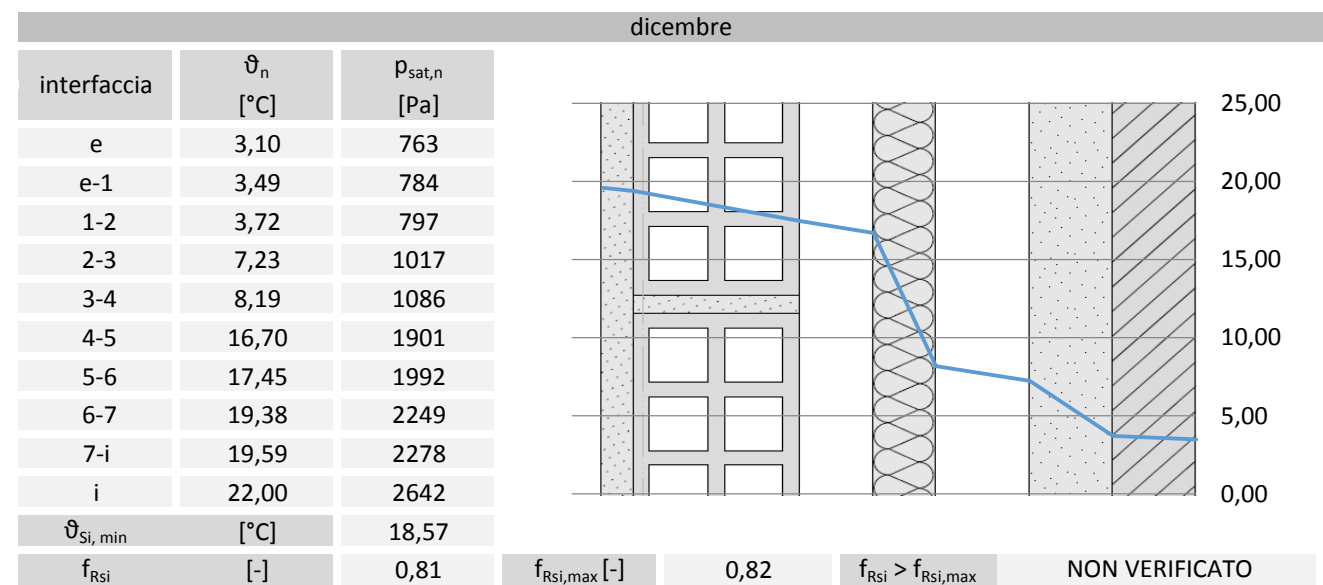
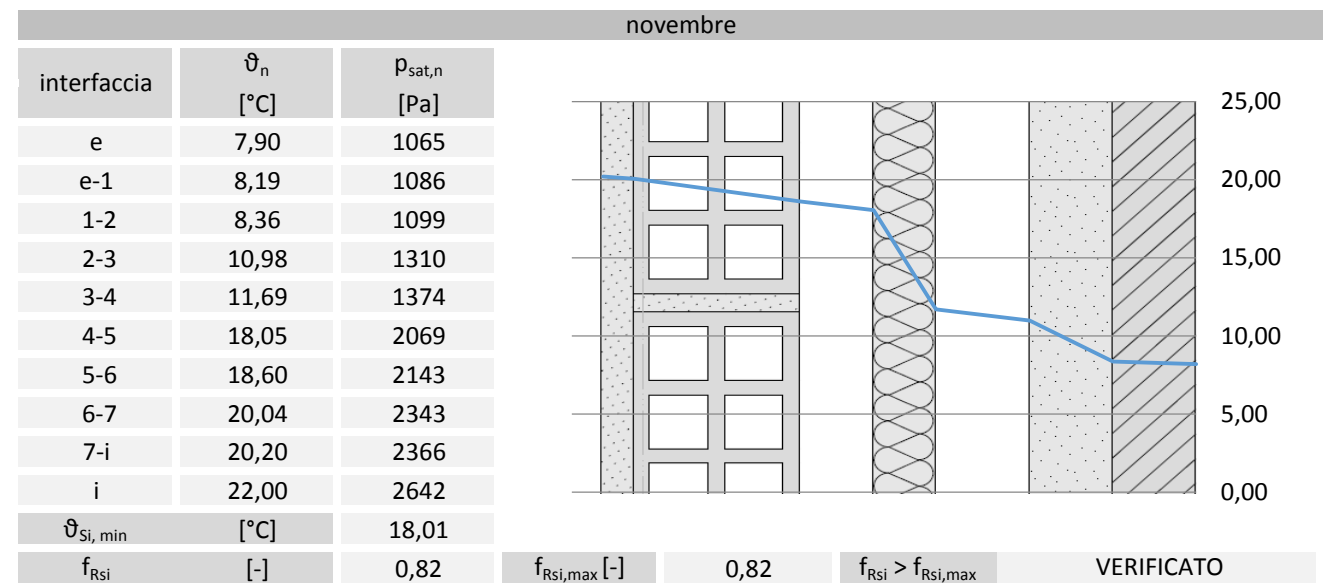
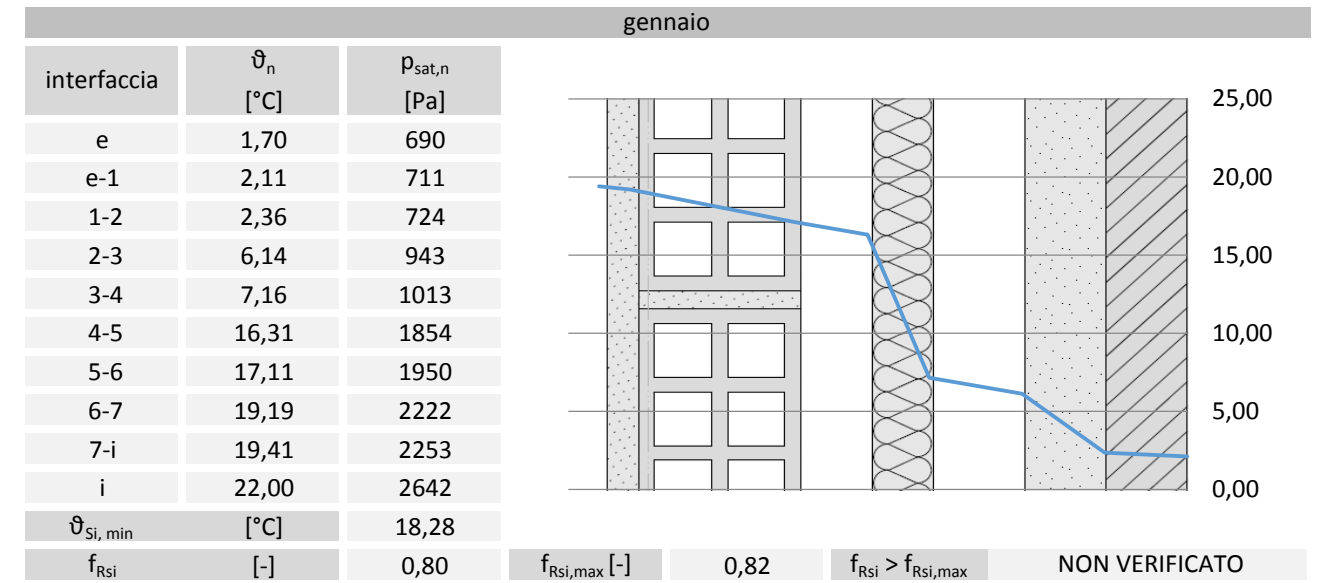
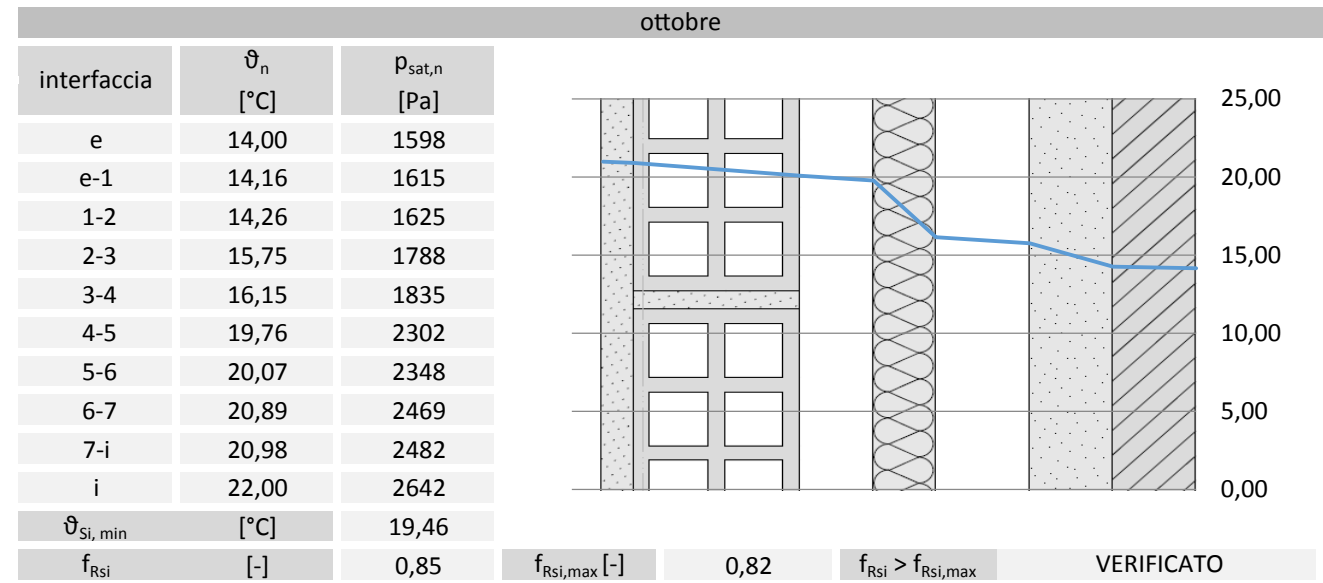
| strati funzionali | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| n | materiale | densità [kg/m³] | spessore L [m] | peso al m² L [kg] |
| esterno | | | | |
| 1 | pannello prefabbricato in c.a. | 2400 | 0,040 | 96 |
| 2 | massetto in cemento e vermiculite | 400 | 0,040 | 16 |
| 3 | camera d'aria | 1 | 0,045 | 0 |
| 4 | pannelli in EPS | 30 | 0,030 | 1 |
| 5 | camera d'aria | 1 | 0,035 | 0 |
| 6 | laterizi forati | 1800 | 0,080 | 144 |
| 7 | intonaco di base e di finitura | 1400 | 0,015 | 21 |
| interno | | | | |
| totale | | | 0,285 | 278 |

| proprietà fisiche | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|---|---|
| n | conducibilità termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m²K/W] | resistenza termica cumulata R' [m²K/W] | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] | spessore equivalente s _d [m] | spessore equivalente cumulato s' _d [m] |
| esterno | | | | | | | |
| 1 | 1,66 | 0,02 | 0,06 | 130 | | 5,20 | 5,20 |
| 2 | 0,11 | 0,36 | 0,43 | 8 | | 0,32 | 5,52 |
| 3 | - | 0,099 | 0,53 | 1 | | 0,01 | 5,53 |
| 4 | 0,034 | 0,88 | 1,41 | 60 | | 1,80 | 7,33 |
| 5 | - | 0,08 | 1,49 | 1 | | 0,01 | 7,34 |
| 6 | 0,40 | 0,2 | 1,69 | 6,7 | 3E-11 | 0,53 | 7,87 |
| 7 | 0,70 | 0,02 | 1,71 | 10 | | 0,15 | 8,02 |
| interno | | | | | | | |
| totale | | 1,96 | | | | 8,02 | |
| densità di flusso Φ [W/m²] | trasmittanza U [W/(m²K)] | trasmittanza limite U _{lim} [W/(m²K)] | sp. isolante da s _{min} [m] | | | | |
| 10,37 | 0,51 | 0,34 | 0,03 | | | | |

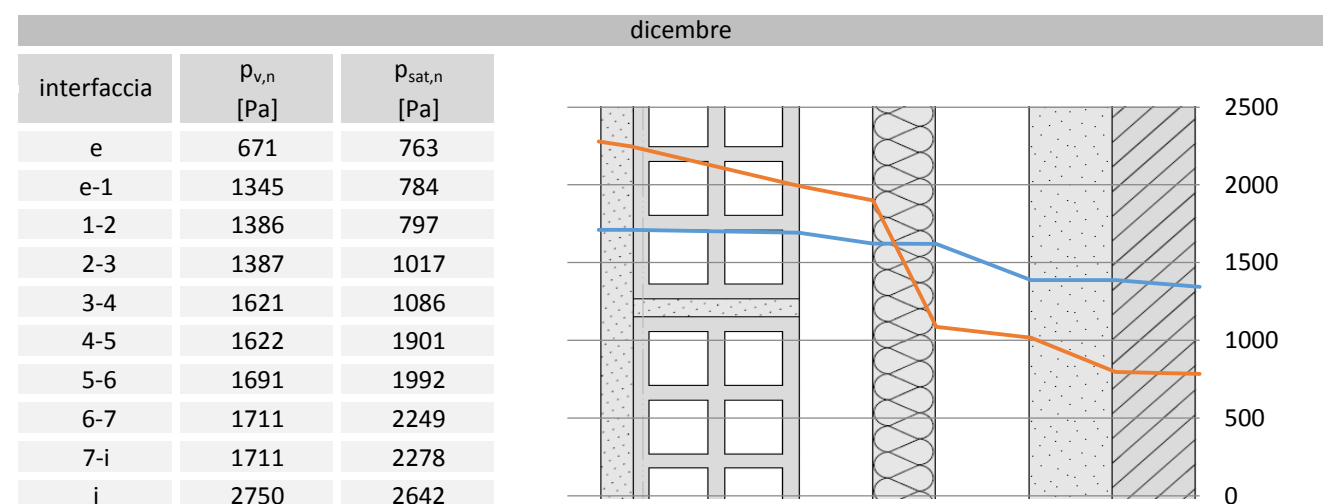
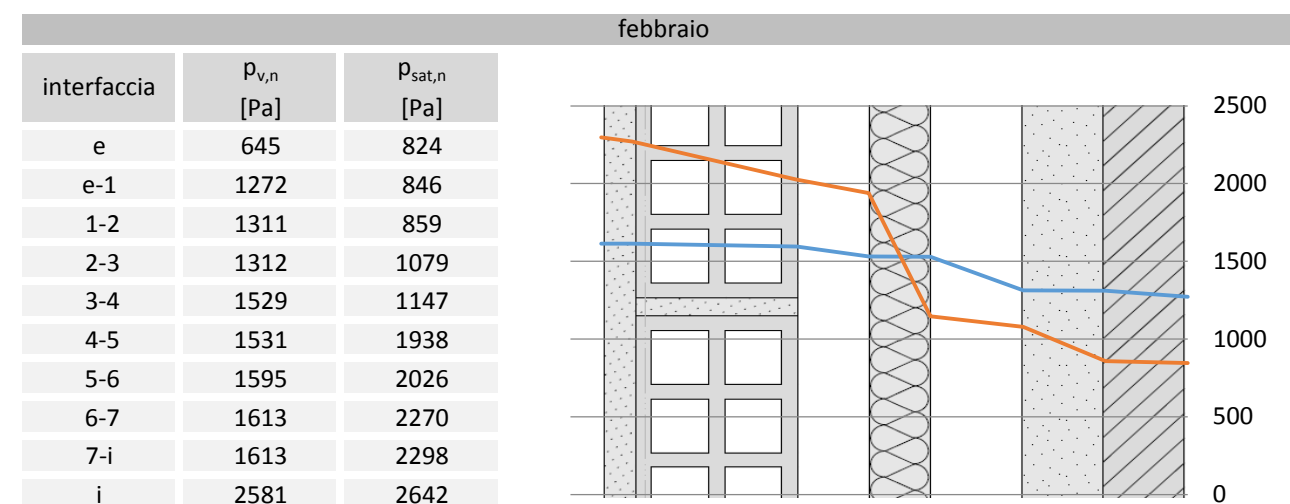
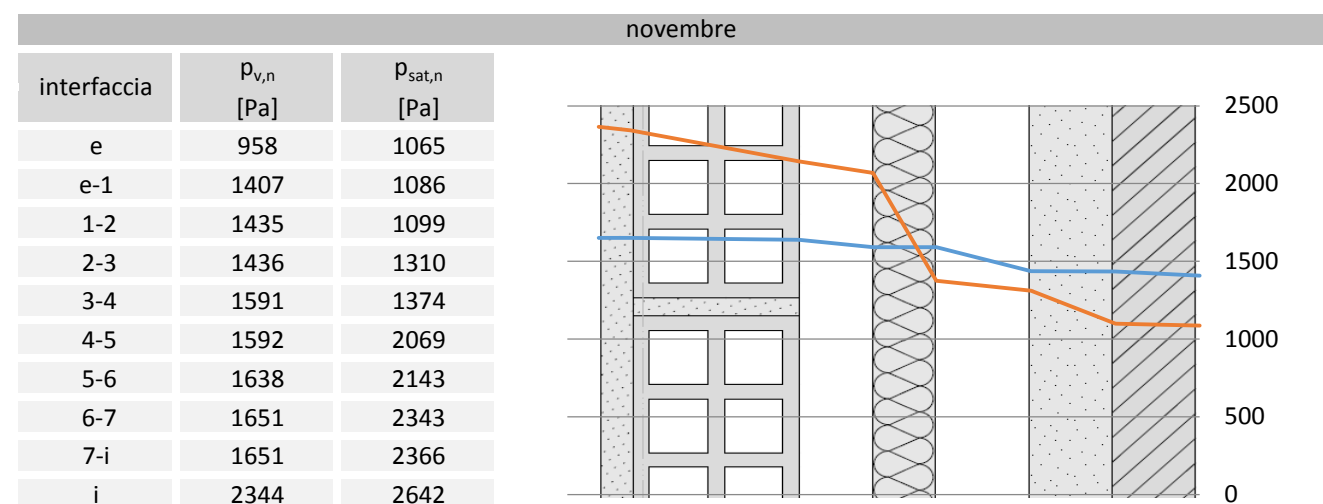
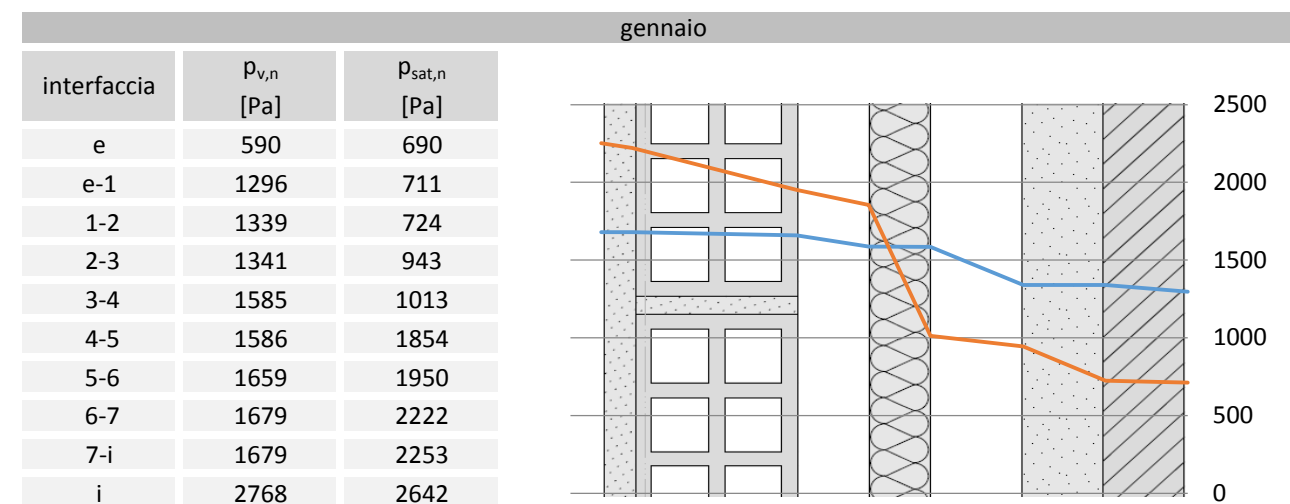
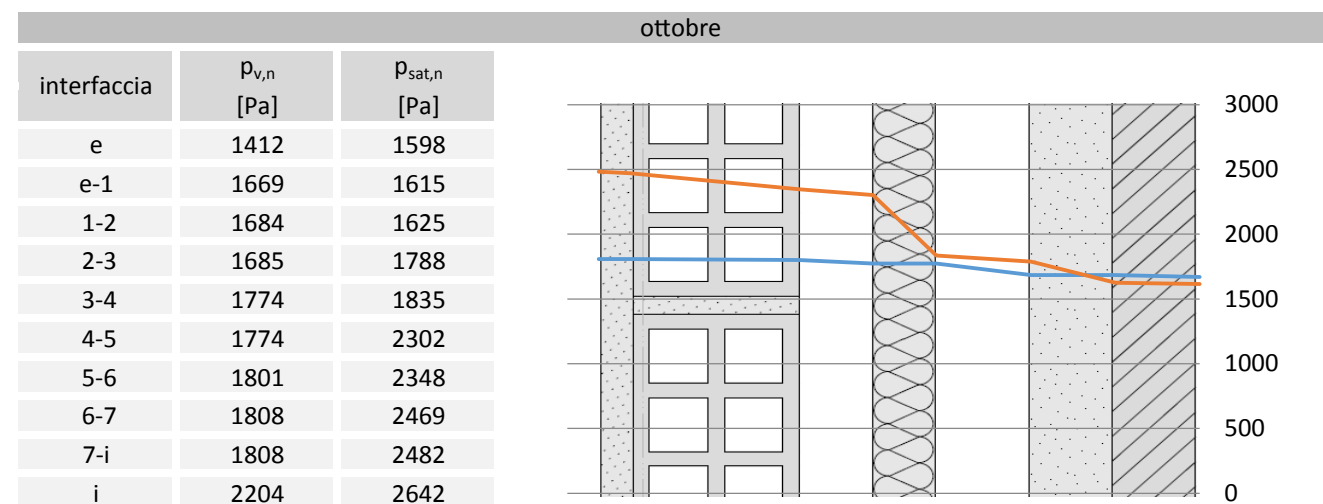
| condizioni al contorno | | | | | | | |
|------------------------|---|---------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|--|
| località | - | Milano | ϑ _e [°C] | 1,7 | ϑ _i [°C] | 22 | |
| me | - | gennaio | Φ _e [%] | 0,85 | Φ _i [%] | 0,64 | |
| | | | p _{sat,e} [Pa] | 690 | p _{sat,i} [Pa] | 2642 | |
| | | | p _e [Pa] | 590 | p _i [Pa] | 1679 | |
| | | | h _{cr,e} [W/(m²K)] | 25 | h _{cr,i} [W/(m²K)] | 4 | |



SCHEDA DI VERIFICA DELLA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE



SCHEDA DI VERIFICA DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE



Dall'analisi dei dati ottenuti emerge come, per la sezione corrente, vi sia rischio di condensazione sia di tipo superficiale, nei mesi dell'anno che presentano temperature più rigide, sia di tipo interstiziale, in tutti i mesi invernali. Questo è dovuto alle caratteristiche di isolamento esistente: il suo spessore è troppo sottile per garantire temperature superficiali interne abbastanza elevate, mentre la sua posizione centrale rispetto alla stratigrafia causa un brusco abbassamento dei valori della pressione di saturazione del vapore acqueo in uscita dalla parete. Se questo avviene nella porzione di facciata maggiormente isolata, si può desumere che il comportamento della chiusura nelle zone prive di isolamento termico e controparete sia ancora peggiore. La soluzione a queste carenze prestazionali, in caso di mantenimento della chiusura esistente e sovrapposizione di nuovi strati funzionali, può essere riscontrata nell'aggiunta di uno strato di materiale termoisolante sul lato esterno della facciata: in questo modo sarà possibile limitare il flusso termico in uscita dalla parete, innalzare le temperature della superficie interna e dei materiali costituenti la stratigrafia ottenendo contemporaneamente una ridistribuzione dei valori di pressione di vapore. Se ciò non fosse ancora sufficiente si dovrà prevedere anche l'applicazione di uno strato di freno del vapore sul lato interno della chiusura.

In questa fase non si ritiene necessario il calcolo del quantitativo di condensa in quanto è evidente che la stratigrafia dovrà essere modificata al fine di risolvere queste gravi carenze: esso sarà eventualmente effettuato per il pacchetto di chiusura in progetto, qualora non fosse ancora sufficiente a prevenire la totale assenza di condensazione in tutti i mesi dell'anno.

3.5.7.4 Resistenza al fuoco

Come specificato negli obiettivi di progetto, durante la riqualificazione dell'edificio monoblocco verranno posti in opera tutti i provvedimenti necessari all'adeguamento della struttura alla normativa in materia di prevenzione incendi. Saranno create compartimentazioni verticali per dividere ogni piano in tre compartimenti, pressoché coincidenti con i corpi A, B e D, e saranno create compartimentazioni orizzontali in corrispondenza di ogni piano.

Per prevenire il propagarsi di un eventuale incendio da un compartimento a quello soprastante, supposto un carico d'incendio C.I. > 200 MJ/m², la facciata deve presentare in corrispondenza di ogni solaio e di ogni muro trasversale, con funzione di compartimentazione, una fascia, realizzata costituita da uno o più elementi costruttivi di classe di resistenza al fuoco EI60 (o -> i) secondo le prescrizioni contenute nella lettera circolare n° 5043 del 15 aprile 2013.

Le porzioni opache di facciata esistente hanno altezza b + c + d sufficiente al rispetto delle prescrizioni sia per la facciata lato servizi che per quella lato degenze, con una misura rispettivamente pari a 1,55 e 1,6 m. I materiali costituenti, tuttavia, non sono sufficiente al raggiungimento da parte dell'elemento della classe di resistenza EI 60. In un ipotesi progettuale che preveda il mantenimento delle pareti esistenti, esse dovranno quindi essere integrate da appositi strati che ne innalzino la classe di resistenza, quali intonaco protettivo antincendio o placca ggio con lastre a base di silicato di calcio.

3.5.7.5 Reazione al fuoco

Il requisito per i materiali inseriti in facciata del rispetto della classe 1 di reazione al fuoco ovvero la classe B-s3-d0 è invece verificato: il calcestruzzo componente il pannelli prefabbricati, i davanzali e le mensole marcapiano, le piastrelle in dinker, i massetti a base di vermiculite, i mattoni forati, l'intonaco che li riveste sono classificati in classe A1 in base all'allegato 2 del Decreto 10 marzo 2005 sui materiali da costruzione non combustibili.

Tabella 22 – Allegato 2 del Decreto 10/03/2005 – Tabella 7.7 – Materiali da costruzione non combustibili appartenenti alla classe A1

| Materiale | Osservazioni |
|--|--|
| Argilla espansa | |
| Perlite espansa | |
| Vermiculite espansa | |
| Lana di roccia | |
| Vetro multicellulare | |
| Calcestruzzo | Include il calcestruzzo pronto per l'uso e i prodotti prefabbricati in cemento armato o in calcestruzzo compresso |
| Calcestruzzo in granuli (granulati minerali leggeri a bassa densità, ad eccezione dell'isolamento termico integrale) | Può contenere aggiunte e additivi (come le ceneri volanti), pigmenti e altri materiali. Comprende elementi prefabbricati |
| Elementi in cemento cellulare trattati in autoclave | Elementi costituiti di leganti idraulici, come il cemento e/o la calce mescolati a materiali fini (materiali silicei, ceneri volanti, loppa di altoforno) e materiali cellulari. Comprende elementi prefabbricati |
| Fibrocemento | |
| Cemento | |
| Calce | |
| Loppa di altoforno/ceneri volanti | |
| Aggregato minerale | |
| Ferro, acciaio e acciaio inossidabile | Non in forme finemente sminuzzate |
| Rame e leghe di rame | Non in forme finemente sminuzzate |
| Zinco e leghe di zinco | Non in forme finemente sminuzzate |
| Alluminio e leghe di alluminio | Non in forme finemente sminuzzate |
| Piombo | Non in forme finemente sminuzzate |
| Gesso e malte a base di gesso | Può comprendere additivi (ritardanti, materiali di riempimento, fibre, pigmenti, calce idratata, agenti di ritenuta dell'aria e dell'acqua, plastificanti), aggregati compatti (per esempio sabbia naturale o fine) o aggregati leggeri (perlite o vermiculite, per esempio) |
| Malta con agenti leganti inorganici | Malte per rinzafo e intonaco, malte per massetti e malte per murature contenenti uno o più agenti leganti inorganici, quali cemento, calce, cemento per murature e gesso |
| | |
| Elementi in argilla | Elementi in argilla o in altre materie argillose che contengono o meno sabbia, combustibili o altri additivi. Comprende mattoni, pavimenti in mattonelle ed elementi in argilla refrattaria (per esempio rivestimenti interni dei camini) |

I materiali isolanti sono installati in intercapedine e protetti dai materiali in classe A1 aventi spessori superiori ai 15 mm, di conseguenza possono appartenere alla E, quindi la presenza dell'EPS non genera criticità. Per l'intervento di riqualificazione sarà dunque possibile mantenere integralmente la chiusura opaca esistente nel rispetto della sicurezza antincendio.

3.5.8 Rilievo dello stato di degrado

Questa fase di indagine serve a rilevare lo stato di conservazione dell'edificio e le condizioni di degrado in esso presenti. In questo momento tuttavia non sarà necessario avere una conoscenza approfondita delle cause che hanno indotto il guasto: lo scopo del rilievo è infatti catalogare e mappare le anomalie riscontrate in termini di manifestazione visibile o rilevabile, posizione e estensione utili alle successive operazioni di progetto del risanamento. Nella fase di diagnosi, incrociare i dati emersi dal rilievo dello stato di degrado con le informazioni ricavate dagli altri rilievi (climatiche, storiche, morfologiche, tecnologiche, ecc.) consentirà infatti di avanzare ipotesi utili all'individuazione dell'origine del guasto.

La lettura dei quadri patologici allo stato di fatto è inoltre utile, riferendosi alla vita futura della chiusura che si sta realizzando, a ragionare su soluzioni che impediscano il ripresentarsi del fenomeno di degrado, ma anche a tecniche di ripristino compatibili e sinergiche con le scelte tecnologiche in una prospettiva di ottimizzazione delle soluzioni.

Al di là di situazioni localizzate e singolari di poca rilevanza rispetto all'insieme, le facciate dell'edificio Monoblocco sono in buono stato di autoconservazione, a dimostrazione del fatto che il progetto dell'epoca ha colto nel segno e ha prodotto un buon risultato. Tuttavia, come si è precedentemente evidenziato, il contributo che questo involucro offre alla combinazione di prestazioni richieste da una facciata non è sufficiente a garantire gli odierni standard qualitativi e si rende comunque opportuno un intervento straordinario di adeguamento.

04

Le strategie di intervento per la riqualificazione delle facciate

Appurata l'esigenza di intervenire sul costruito a fronte di più attuali esigenze spaziali o ambientali, le possibilità di trasformazione sono innumerevoli e caratterizzate da differenti livelli di intensità morfologica e tecnologica graduati per complessità e per impegno economico.³⁴ Alla luce di tale affermazione, il presente capitolo fornisce una panoramica delle principali strategie di intervento per la riqualificazione delle facciate, offrendo tuttavia una metodologia di confronto che consente di estendere l'analisi al caso più generale di strategie riguardanti l'involucro nel suo complesso, gli impianti e l'utilizzo di fonti rinnovabili. Inoltre, si analizzeranno solamente le strategie che coinvolgono la modifica dell'involucro per aggiunta, sottrazione o sostituzione di strati o elementi a sviluppo sostanzialmente bidimensionale. Non ci si soffermerà dunque sulle strategie utili alla rimodellazione architettonica di un manufatto esistente tramite modifica dei volumi, essendo tali interventi generalmente legati a problematiche di tipo funzionale e distributivo per il cui approfondimento si rimanda ai testi specialistici in materia; con lo sviluppo che segue si intende invece trattare di strategie che riguardano la modificazione della qualità ambientale più che la trasformazione spaziale.

A partire dall'analisi dello stato dell'arte vengono successivamente definite e analizzate quattro proposte progettuali di redadding applicate al caso di studio, differenti per complessità tecnologica, esecutiva e per impegno economico, al fine di identificare la soluzione di intervento ottimale rispetto al contesto di applicazione.

³⁴ Zambelli, E., Brandolini, S., Maserà, G., Nezirosi, D. & Ruta, M. 2004, *Ristrutturazione e trasformazione del costruito: tecnologie per la rifunionalizzazione e la riorganizzazione architettonica degli spazi*, Il Sole 24 Ore, Milano

4.1 Le possibili strategie di intervento

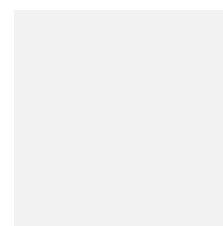
Si intende qui di seguito individuare una serie di strategie di intervento, catalogate in schede descrittive impostate in modo da facilitare al progettista la successiva fase di analisi comparativa utile a selezionare le scelte progettuali più adatte al caso di intervento di riqualificazione di una facciata. Non si tratta quindi di un elenco di specifiche *soluzioni costruttive*, che si rivelerebbero dopo qualche tempo obsolete o mai perfettamente applicabili al caso particolare, ma piuttosto di *concetti di prodotto*, ovvero generiche famiglie di soluzioni accomunate da determinati principi costruttivi che servono a garantire precise prestazioni tecnologiche e ambientali. Lavorare in questi termini, consente di analizzare con un sufficiente grado di approfondimento le caratteristiche costruttive, prestazionali, ergonomiche, gestionali ed economiche dei vari programmi di trasformazione del costruito, senza tuttavia fare riferimento a un grado di dettaglio tale da ricondurre la tipologia di intervento a una specifica soluzione tecnologica.

Rielaborando il modello di schedatura utilizzato nella pubblicazione sulla ristrutturazione e trasformazione del costruito a cura di Ettore Zambelli ³⁵, si proporrà di seguito una sorta di catalogazione delle possibili strategie specifiche per la riqualificazione delle chiusure verticali per una trasformazione tecnologica e ambientale, così organizzate:

STRATEGIA

Nome

Si illustra sinteticamente la tecnologia costruttiva e la modalità applicativa della soluzione.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

Si espone la variabilità di una certa soluzione nel mercato dei prodotti esistenti in commercio, a livello di tecnologia costruttiva, materiali e campi di applicazione.

PRESTAZIONI

Si tratta delle prestazioni fornite dall'applicazione della strategia. Esse possono consistere in un incremento delle prestazioni già proprie della chiusura esistente o nell'aggiunta di nuove che prima dell'intervento l'elemento tecnico non forniva.

³⁵ Zambelli, E., Brandolini, S., Masera, G., Nezirosi, D. & Ruta, M. 2004, *Ristrutturazione e trasformazione del costruito: tecnologie per la rifunzionalizzazione e la riorganizzazione architettonica degli spazi*, Il Sole 24 Ore, Milano

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

Si illustrano i presupposti necessari per l'applicazione della strategia in esame, quali la demolizione di elementi esistenti o l'adattamento della struttura portante al fine di ricevere nuovi carichi, e le implicazioni che la soluzione comporta su caratteristiche dell'edificio altre rispetto agli obiettivi per i quali l'intervento è attuato: può infatti capitare che l'applicazione di una strategia crei effetti collaterali indesiderati, che devono però essere attentamente previsti e controllati in modo da non dover rimettere mano sull'immobile appena riqualificato dopo breve tempo. In questo caso, la soluzione può consistere nell'attuazione di più strategie combinate e complementari.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

Si forniscono indicazioni riguardanti le implicazioni logistiche ed ergonomiche derivanti dall'applicazione della soluzione analizzata, per permettere al progettista di individuare velocemente una strategia compatibile coi vincoli ambientali del fabbricato e del sito in analisi o coi vincoli legati alle interazioni con gli utenti dell'edificio.

La colonna di sinistra riguarda infatti le caratteristiche della soluzione che potrebbero generare interferenza con il normale svolgimento delle attività all'interno dell'edificio: il lato della chiusura dal quale è possibile eseguire le lavorazioni, la necessità di demolire elementi esistenti che genera polveri, macerie e rumore, la necessità di spostare gli utenti per lo svolgimento delle attività di riqualificazione e indicazioni sulla leggerezza della soluzione, che incide sulla durata dello spostamento e dell'intervento nel suo complesso.

La colonna di destra riguarda invece le attrezzature di cantiere e i requisiti spaziali che questo necessiterà: l'esigenza di montare opere provvisorie, il sistema di sollevamento minimo da utilizzare e la collocazione dell'area di stoccaggio dei materiali edili.

Alcune voci sono caratterizzate da un punteggio sull'intensità della qualità operativa connotante la soluzione in esame, al fine di permettere al progettista un rapido confronto tra strategie d'intervento alternative.

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|
| Intervento eseguito dall': | <input type="radio"/> esterno | Punteggio: | <input type="radio"/> |
| | <input type="radio"/> interno | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | | <input type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input type="radio"/> esterno |
| Rapidità dell'intervento: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | <input type="radio"/> interno |
| Leggerezza della soluzione: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

Vengono individuate le caratteristiche connotanti la propensione di una soluzione tecnica a essere sottoposta a interventi di manutenzione, riparazione, sostituzione o aggiornamento prestazionale. Se qualsiasi edificio è, come si è già detto, un organismo che evolve col tempo, sarà necessario valutare e prevedere la possibilità di intervenire nuovamente sugli elementi tecnici obsoleti, danneggiati o non più rispondenti ai livelli di prestazione attesi, senza dover sostenere oneri eccessivi.

Le voci sono caratterizzate da un punteggio sull'intensità della qualità operativa connotante la soluzione in esame, al fine di permettere al progettista un rapido confronto tra strategie d'intervento alternative.

| | | | |
|-----------------------------|-----|-------------------|-----|
| Accessibilità: | ○○○ | Sostituibilità: | ○○○ |
| Pulibilità: | ○○○ | Riutilizzabilità: | ○○○ |
| Riparabilità: | ○○○ | Riciclabilità: | ○○○ |
| Manutenzione ordinaria: | | | |
| Manutenzione straordinaria: | | | |

COSTO

Si fornisce una fascia di costo indicativa per la soluzione in esame e per alcune sue varianti tecnologiche. Considerando che i costi in edilizia sono estremamente variabili poiché dipendono, di volta in volta, dalla specifica tecnologia costruttiva, dai materiali impiegati, dalle modalità realizzative, dalle precise condizioni al contorno dello specifico progetto, i valori di seguito riportati sono puramente indicativi, ma utili a fornire un ordine di grandezza del costo della soluzione in esame. Essi sono stati tratti dalla letteratura in materia di recupero³⁶ e dal prezzario delle opere edili riferito alla Lombardia. Si tenga comunque presente che i costi indicati sono quelli diretti della stratigrafia integrativa ma dovranno all'occorrenza essere integrati con i costi delle opere provvisorie di cantiere necessarie allo svolgimento dei lavori di posa.

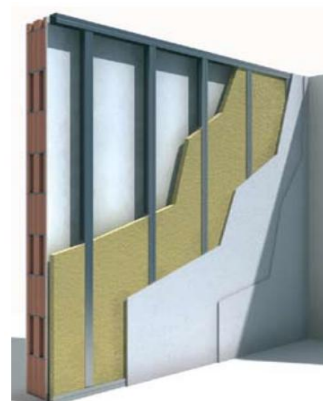
CASI DI INTERVENTO

Si riporta un esempio rappresentativo dell'applicazione della strategia d'intervento illustrata.

³⁶ Zambelli, E., Brandolini, S., Masera, G., Nezirosi, D. & Ruta, M. 2004, *Ristrutturazione e trasformazione del costruito: tecnologie per la rifunzionalizzazione e la riorganizzazione architettonica degli spazi*, Il Sole 24 Ore, Milano

Controparete interna

Si sovrappone internamente alla chiusura opaca verticale esistente una controparete costituita da uno strato continuo di pannelli isolanti e da uno strato di finitura.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

La controparete può essere eseguita applicando sulla muratura esistente un'orditura metallica entro la quale sono inseriti i pannelli isolanti, successivamente rifinita da lastre di gesso rivestito. In alternativa sono applicate alla muratura esistente, che deve essere resistente e asciutta, lastre preaccoppiate composte da gesso rivestito e strato isolante, fissate alla muratura per adesione tramite gesso adesivo, o pannelli rigidi (ad esempio pannelli minerali in idrati di silicato di calcio) che possono essere successivamente intonacati.

Il tipo di rivestimento può poi variare su un'ampia gamma di prodotti: lastre per normale costruzione, resistenti all'umidità, resistenti al fuoco, porta intonaco, ecc. La parete riqualificata può poi essere completata con i più svariati metodi di finitura: tinteggiatura, tappezzeria, intonaco o piastrelle.

L'utilizzo di questa tecnologia, non visibile dall'esterno, rende questa strategia idonea nei casi nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati in cui sia impossibile alterare l'aspetto esterno della facciata, ad esempio per via di decorazioni pittoriche o in rilievo.

Inoltre questa strategia di intervento, non obbliga un intervento globale sull'intero edificio ma consente di riqualificare singole porzioni, ad esempio appartamenti, in totale indipendenza dal resto dell'immobile.

PRESTAZIONI

Lo strato di pannelli isolanti aumenta la resistenza termica della chiusura verticale. L'applicazione dell'isolante sul lato interno della chiusura genera tuttavia improvvisi salti di resistenza alla diffusione del vapore e di temperatura (quindi di pressione di saturazione del vapore) tali da poter causare l'insorgere di fenomeni di condensazione interstiziale, scongiurabili tramite l'utilizzo di materiali isolanti traspiranti o barriere che frenino la diffusione del vapore. L'isolamento dall'interno inoltre non consente di beneficiare della massa

e quindi della capacità termica della parete che rimane all'esterno, riducendo l'inerzia termica dell'edificio: in questa condizione gli ambienti si riscaldano più rapidamente, rendendo tale strategia vantaggiosa per gli edifici in cui si verificano spesso periodi di spegnimento dell'impianto di riscaldamento (seconde case, scuole, teatri, ecc.) ma critica in presenza di apporti energetici gratuiti importanti. Interrompendosi in corrispondenza dei solai viene a mancare la continuità dello strato isolante, impedendo l'eliminazione completa dei ponti termici esistenti e rendendo necessaria un'attenta verifica in merito ai fenomeni di condensazione superficiale.

Se dotata di sottostruttura, la controparete può essere dotata di un'intercapedine utile per installare impianti senza intaccare le pareti esistenti. Inoltre, la circolazione d'aria che si instaura nella cavità agevola lo smaltimento dell'umidità proveniente dagli ambienti interni ed è consigliabile nei casi di risanamento di chiusure con problemi locali di umidità (se a contatto con la parete ammalorata, lo strato isolante potrebbe essere intaccato dall'acqua di condensa).

La controparete può contribuire in maniera significativa all'aumento del potere fonoisolante della chiusura verticale.

Scegliendo l'opportuno rivestimento è inoltre possibile assicurare un'elevata protezione al fuoco della struttura esistente.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

In funzione del tipo di muratura, è necessario valutare la possibilità di fissare le lastre direttamente alla parete esistente o desolidalizzare tramite una sottostruttura, con particolare attenzione in riferimento alla planarità della parete di appoggio.







L'applicazione della controparete all'interno della chiusura genera una riduzione della superficie calpestabile dell'ambiente interno, determinando quindi la riduzione delle dimensioni dei locali, e contemporaneamente un aumento dell'imbotte che, a seconda degli spessori in gioco, può avere conseguenze sul livello di illuminamento degli ambienti interni.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|----------------------------|--|--------------------------|--|
| Intervento eseguito dall': | <input type="radio"/> esterno | Ponteggio: | <input type="radio"/> |
| | <input checked="" type="radio"/> interno | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru |
| Spostamento degli utenti: | <input checked="" type="radio"/> | | <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input type="radio"/> esterna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | <input checked="" type="radio"/> interna |
| Legezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |

L'intervento è eseguito interamente dall'interno dell'edificio, senza la necessità di installare opere provvisorie esterne (bisogna comunque definire il sistema di conferimento dei materiali ai piani). Se l'intervento avviene per singoli ambienti o per zone è possibile evitare di spostare gli utenti dagli alloggi.

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|---|-------------------|---|
| Accessibilità: |  | Sostituibilità: |  |
| Pulibilità: |  | Riutilizzabilità: |  |
| Riparabilità: |  | Riciclabilità: |  |

Manutenzione ordinaria: Periodiche operazioni di pulizia del rivestimento.

Manutenzione straordinaria: Il ripristino di parti ammalorate si esegue asportando e sostituendo la porzione controparete danneggiata, avendo cura di ripristinare la continuità della finitura superficiale.

COSTO

Fascia di costo: < 50 €/m²

- controparete incollata, eseguita mediante applicazione di lastre rigide di gesso rivestito (1200 x 1300 x 12,5 mm) accoppiate con materiale isolante (lana di vetro, lana di roccia o polistirene espanso estruso): 20 – 40 €/m², per uno spessore di isolante da 15 a 55 mm.
- controparete con sottostruttura, eseguita mediante applicazione di lastre rigide di gesso rivestito (1200 x 1300 x 12,5 mm) su profili di acciaio zincato con interposto materiale isolante (lana di vetro o lana di roccia): 30 – 50 €/m², per uno spessore di isolante da 15 a 55 mm.

Isolamento dell'intercapedine

Se la chiusura opaca verticale esistente è dotata di intercapedine, si insuffla in essa un idoneo materiale isolante attraverso fori di circa 4 cm di diametro praticati nella parete a distanza di 2 m l'uno dall'altro.

**VARIABILITÀ TECNOLOGICA**

Il tipo di riempimento può essere costituito da diversi materiali isolanti, purché inerti e sfusi, quali ad esempio perlite, vermiculite, argilla espansa, fibre minerali, fibre di cellulosa, schiume espandenti, e cc.

L'utilizzo di questa tecnologia, non visibile dall'esterno, rende questa strategia idonea nei casi nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati in cui sia impossibile alterare l'aspetto esterno della facciata, ad esempio per via di decorazioni pittoriche o in rilievo.

PRESTAZIONI

Lo strato di materiale isolante iniettato aumenta la resistenza termica della chiusura verticale. L'applicazione dell'isolante nella mezzera della chiusura genera tuttavia improvvisi salti di resistenza alla diffusione del vapore e di temperatura (quindi di pressione di saturazione del vapore) tali da poter causare l'insorgere di fenomeni di condensazione interstiziale, scongiurabili tramite l'utilizzo di materiali isolanti traspiranti o barriere che frenino la diffusione del vapore. L'isolamento dell'intercapedine consente di beneficiare per lo meno della massa della controparete interna e quindi della sua capacità termica, migliorando l'inerzia termica dell'edificio. Interrompendosi in corrispondenza dei solai viene a mancare la continuità dello strato isolante, impedendo l'eliminazione completa dei ponti termici esistenti e rendendo necessaria un'attenta verifica in merito ai fenomeni di condensazione superficiale.

Riempire l'intercapedine riduce la circolazione d'aria che si instaurava nella cavità e agevola lo smaltimento dell'umidità proveniente dagli ambienti interni; è quindi consigliabile un'attenta verifica della possibilità di formazione di fenomeni condensativi.

L'isolante aggiunto può contribuire all'aumento del potere fonoisolante della chiusura verticale.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

Prima dell'iniezione del materiale isolante si devono praticare i fori in diversi punti del paramento della muratura a cassetta, che andranno poi ripristinati a lavorazioni ultimate. Le tecniche di posa, tuttavia, non consentono di testare con precisione la corretta diffusione dell'isolante all'interno della parete, a meno di verificare l'uniformità dell'insufflaggio con indagini termografiche.

Il riempimento delle intercapedini non implica significative variazioni di carico e ha inoltre il vantaggio di non aumentare lo spessore delle chiusure. Lo spessore dello strato isolante, e quindi il vantaggio dal punto di vista energetico, è tuttavia vincolato dallo spessore dell'intercapedine esistente.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------------------|--|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input checked="" type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna <input checked="" type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |
| Leggerezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |

L'intervento può essere eseguito interamente dall'interno dell'edificio, senza la necessità di installare opere provvisorie esterne (bisogna comunque definire il sistema di conferimento dei materiali ai piani). Se l'intervento avviene per singoli ambienti o per zone è possibile evitare di spostare gli utenti dagli alloggi.

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|---|-------------------|---|
| Accessibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Riciclabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |

Manutenzione ordinaria: -

Manutenzione straordinaria: Il ripristino di parti ammalorate si esegue asportando e sostituendo la porzione controparete che racchiude la parte ammalorata, avendo cura di ripristinare la continuità della finitura superficiale.

COSTO

Fascia di costo: < 50 €/m²

Cappotto

Si sovrappone esternamente alla chiusura opaca verticale esistente uno strato continuo di pannelli isolanti, applicati tramite incollaggio e fissaggio meccanico con tasselli, successivamente rifinito con l'applicazione di un intonaco plastico a mato e tinteggiatura.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

I pannelli isolanti sono generalmente applicati alla chiusura esistente tramite incollaggio, con la funzione di collegamento e compensazione delle irregolarità per garantire la planarità della superficie finita. È comunque necessario il fissaggio meccanico tramite tasselli per evitare che i pannelli siano sottoposti a strappo o delaminazione a causa della depressione del vento, cicli di gelo-disgelo o sbalzi termici.

Se il supporto murario fosse molto irregolare, è possibile eseguire un intonaco di regolarizzazione prima della posa dei pannelli, peraltro utile a conferire maggiore rigidità alla parete in caso di sisma (soprattutto un comportamento simmetrico, se la parete è intonacata internamente).

Nel caso in cui il rivestimento estemo esistente si trovasse in cattivo stato di conservazione o in presenza di fenomeni di distacco, è possibile integrare la soluzione con una sottostruttura metallica costituita da profili orizzontali continui per il sostegno dei pannelli.

La finitura a base di intonaco tinteggiato conferisce all'opera finita un aspetto tradizionale, rendendo idonea questa strategia anche nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati. In alternativa, è possibile utilizzare pannelli isolanti preaccoppiati a un sottile strato di rivestimento minerale, metallico, o plastico.

PRESTAZIONI

Lo strato di pannelli isolanti aumenta la resistenza termica della chiusura verticale. L'applicazione dell'isolante sul lato estemo della chiusura non genera improvvisi salti di resistenza alla diffusione del vapore né di temperatura (quindi di pressione di saturazione del vapore) che risulta decrescente dall'interno verso l'esterno della chiusura, prevenendo l'insorgere di fenomeni di condensazione interstiziale. L'isolamento dall'esterno consente inoltre di beneficiare della massa e quindi della capacità termica della parete che rimane

all'interno, migliorando l'inerzia termica dell'edificio. La sua continuità, resa possibile dall'applicazione sul lato esterno della chiusura, consente l'eliminazione dei ponti termici esistenti, dovuti ad esempio dall'esposizione della struttura all'esterno dell'edificio, oltre che la riduzione della permeabilità all'aria e all'acqua dell'involucro, ad esempio in corrispondenza di giunti difettosi tra pannelli di facciata prefabbricati. La combinazione tra aumento di resistenza termica ed eliminazione dei ponti termici può risolvere problemi di condensazione superficiale. Lo strato di pannelli isolanti aumenta, seppur di poco, il potere fonoisolante della chiusura verticale, in modo più considerevole quanto maggiore è la massa specifica dell'isolante scelto.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

La leggerezza dello strato applicato non richiede particolari adattamenti preliminari della struttura esistente ai carichi aggiunti.

L'applicazione dello strato isolante all'esterno della chiusura genera un aumento dell'imbotte che, a meno di spessori rilevanti, non ha conseguenze significative sul livello di illuminamento degli ambienti interni.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna <input type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |
| Leggerezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|---|-------------------|---|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |

Manutenzione ordinaria: Periodiche operazioni di tinteggiatura.

Manutenzione straordinaria: Il ripristino di parti ammalorate si esegue asportando e sostituendo la porzione di isolante danneggiata, avendo cura di ripristinare la continuità della rete di armatura dell'intonaco plastico.

COSTO

Fascia di costo: 50 – 70 €/m²

- Cappotto in polistirene espanso o poliuretano con rivestimento in carta bitumata da 3 cm di spessore: 35 €/m² + 1,5 €/m² per ogni cm di spessore aggiuntivo.
- Cappotto in lana di roccia rigida da 100 kg/m² da 4 cm di spessore: 40 €/m² + 3 €/m² per ogni cm di spessore aggiuntivo.
- Rimozione dell'intonaco esistente: 7,5 €/m² se in cattivo stato, 10 €/m² se in buono stato di conservazione.

CASI DI INTERVENTO

La riqualificazione dell'edificio delle ex-Poste di Bolzano è il primo edificio pubblico italiano che rispetta gli standard di casa passiva. Costruito nel 1954 e sopraelevato di un piano nel 1975, l'edificio è stato adattato per l'Amministrazione della Provincia Autonoma nel 2006 per accogliere locali per conferenze e mostre al piano terra e gli uffici per i dipartimenti di urbanistica, natura e paesaggio ai piani superiori.



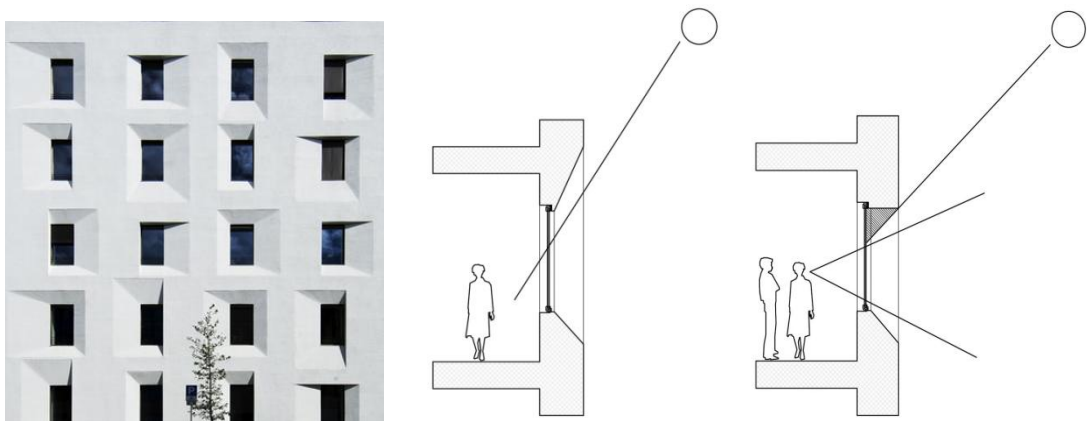
Figura 33 - Edificio ex-Poste a Bolzano
(www.provincia.bz.it,
www.divisare.com,
www.infobuildenergia.it)



A fronte di volumi molto compatti e della ridotta superficie finestrata, adatti alla conversione in edificio passivo, i progettisti dello studio Michael Tribus Architecture hanno optato per il rivestimento delle facciate esistenti con pannelli in EPS di grande spessore (35 cm), successivamente intonacati e tinteggiati. Il linguaggio architettonico regolare e ritmico

dell'involucro esistente è stato tuttora vivacizzato tramite la formazione di sguinci variamente inclinati, la cui conformazione diventa l'elemento caratterizzante della facciata.

La varia inclinazione con cui è stato tagliato a filo caldo l'isolante, oltre a creare un motivo architettonico semplice ma d'effetto, ha permesso di controllare l'illuminazione naturale degli ambienti interni in funzione della loro quota: ai livelli inferiori l'intradosso aperto verso il cielo permette di ricevere una migliore illuminazione diurna, mentre ai livelli superiori la veletta mantenuta orizzontale garantisce una maggiore ombreggiatura. Contemporaneamente, le mazzette laterali consentono di avere una visuale soggettiva in base alla posizione nell'ambiente delle persone che vi lavorano.



Tramite il nuovo isolamento a cappotto e la sostituzione dei serramenti esistenti con nuovi serramenti dotati di tripli vetri a protezione solare, l'intervento ha consentito di ridurre del 90% i costi d'esercizio legati al riscaldamento e al raffrescamento dell'edificio, il cui fabbisogno di calore nella stagione invernale è attualmente inferiore a 15 kWh/m²a.

Facciata ventilata

Si sovrappone esternamente alla chiusura opaca verticale esistente uno strato continuo di pannelli isolanti, tramite fissaggio meccanico con tasselli. Si installa quindi uno strato di finitura sorretto e distanziato, a formare una camera d'aria, da una sottostruttura ancorata alla struttura/chiusura esistente.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

Esiste in commercio una grande varietà tecnologica per questa soluzione, a seconda di diversi parametri quali:

- intensità di ventilazione: pareti molto debolmente o debolmente ventilate, pareti mediamente o fortemente ventilate
- sistema di supporto del rivestimento: ancoraggio puntuale o con sottostruttura a soli montanti, soli traversi o montanti e traversi che possono essere realizzati in acciaio inox o zincato, in lega di alluminio o in legno
- sistema di fissaggio del rivestimento: a vista o nascosto, realizzato tramite rivetti, viti, clip, ganci, boccole, piattine, sistemi a baionetta, ecc.
- materiale di rivestimento: minerale, ligneo, metallico, plastico, sintetico, composito, ecc.

A seconda dello spessore dell'intercapedine, è possibile integrare e mascherare in facciata dotazioni impiantistiche preesistenti o nate in occasione della riqualificazione in atto, quali pluviali, colonne montanti, colonne di scarico, cablaggi elettrici, ecc.

Lo strato di finitura può inoltre essere integrato da elementi fotovoltaici.

A seconda del materiale di rivestimento, l'utilizzo di questa tecnologia può conferire all'opera finita un aspetto tradizionale o moderno, rendendo questa strategia versatile e idonea sia nei casi di riqualificazione in cui si voglia rispettare l'estetica originaria, sia nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente.

PRESTAZIONI

Lo strato di pannelli isolanti aumenta la resistenza termica della chiusura verticale. L'applicazione dell'isolante sul lato esterno della chiusura non genera improvvisi salti di

resistenza alla diffusione del vapore né di temperatura (quindi di pressione di saturazione del vapore) che risulta decrescente dall'interno verso l'esterno della chiusura, prevenendo l'insorgere di fenomeni di condensazione interstiziale. L'isolamento dall'esterno consente inoltre di beneficiare della massa e quindi della capacità termica della parete che rimane all'interno, migliorando l'inerzia termica dell'edificio. La sua continuità, resa possibile dall'applicazione sul lato esterno della chiusura, consente l'eliminazione dei ponti termici esistenti, dovuti ad esempio dall'esposizione della struttura all'esterno dell'edificio, oltre che la riduzione della permeabilità all'aria e all'acqua dell'involucro, ad esempio in corrispondenza di giunti difettosi tra pannelli di facciata prefabbricati. La combinazione tra aumento di resistenza termica ed eliminazione dei ponti termici può risolvere problemi di condensazione superficiale.

L'intercapedine d'aria interrompe la continuità materiale tra lo strato di finitura e quelli retrostanti, trasformando il primo in uno strato "sacrificale" funzionale alla protezione dalle agenti atmosferici degli altri elementi del pacchetto di chiusura. Inoltre, la circolazione d'aria che si instaura nella cavità agevola lo smaltimento dell'umidità proveniente dagli ambienti interni, se non è addirittura sfruttata per implementare la prestazione termoenergetica della parete purché questa sia appositamente studiata, conformata e governata per tale scopo.

Il rivestimento a parete ventilata può contribuire in maniera significativa all'aumento del potere fonoisolante della chiusura verticale, funzionando in modo simile a una trappola acustica.

I pannelli fotovoltaici permettono di convertire l'energia solare incidente sulle facciate in energia elettrica, utile a ridurre la domanda energetica dell'edificio.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

In funzione del tipo di rivestimento, è necessario dimensionare la sottostruttura e verificare i fissaggi di quest'ultima alla struttura portante esistente.

L'applicazione della parete ventilata all'esterno della chiusura genera un aumento dell'imbotte che, a seconda degli spessori in gioco, può avere conseguenze sul livello di illuminamento degli ambienti interni.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|--|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| | <input type="radio"/> interno | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | | <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | <input type="radio"/> interna |
| Leggerezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|-----|-------------------|-----|
| Accessibilità: | ●○○ | Sostituibilità: | ●●● |
| Pulibilità: | ●●● | Riutilizzabilità: | ●●○ |
| Riparabilità: | ●●● | Riciclabilità: | ●●○ |

Manutenzione ordinaria: Periodiche operazioni di pulizia del rivestimento di facciata.

Manutenzione straordinaria: In fase di progettazione è fondamentale prediligere sistemi che prevedono l'ancoraggio indipendente dei singoli elementi di rivestimento, in modo che il ripristino di parti danneggiate si possa eseguire asportando e sostituendo le singole lastre interessate. Anche il ripristino di parti ammalorate di isolate si esegue asportando e sostituendo la porzione danneggiata.

COSTO

Fascia di costo: 200 – 300 €/m²

CASI DI INTERVENTO

Il quartiere Gratosoglio della periferia di Milano nacque nel 1965-1966 sul progetto dello studio di architettura di Banfi, Belgioioso, Peressutti e Rogers (BBPR) che si confrontarono con l'enorme domanda di nuovi alloggi generata dall'immigrazione dell'epoca verso la capitale del nord Italia. Gli architetti scelsero dunque un sistema costruttivo prefabbricato per risparmiare tempo e denaro con il quale vennero costruite imponenti stecche di dieci piani.

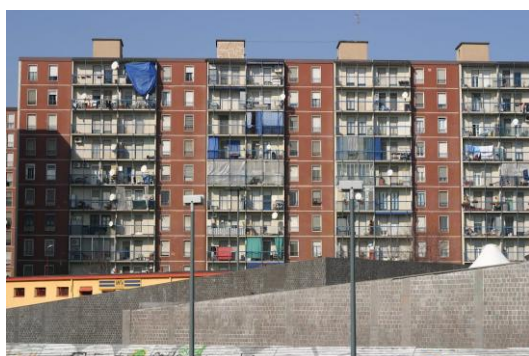
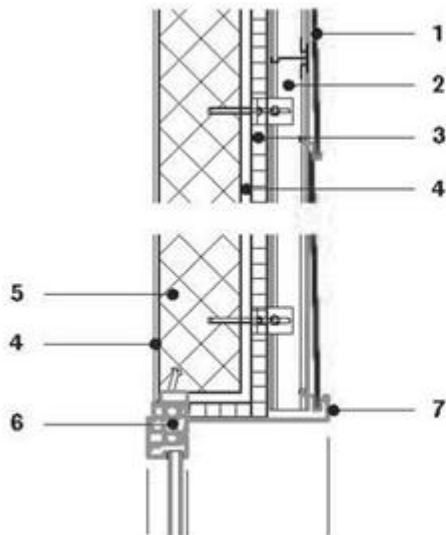
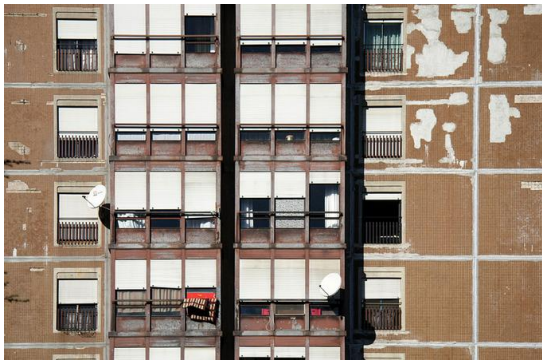


Figura 34 - Quartiere residenziale a Gratosoglio, Milano (www.skyscrapercity.com, www.arketipomagazine.it)

Quarant'anni più tardi, per ripristinare l'obsolescenza causata dalle intemperie e adeguare gli edifici agli attuali standard qualitativi, la riqualificazione si è resa essenziale. I contraenti generali responsabili dell'intervento, Aler Milano, hanno deciso per la realizzazione di una facciata ventilata da sovrapporre alle chiusure esistenti, adatta a un'operazione di ripristino poco invasiva rispetto al più tradizionale lavoro di scrostatura e rifacimento delle finiture superficiali in presenza dell'utenza degli immobili in quanto la produzione di polveri e rumori è ridotta al minimo.

L'intervento ha dunque previsto l'applicazione di una sottostruttura in acciaio zincato direttamente sulla superficie allo stato di fatto (a seguito del ripristino delle parti gravemente ammalorate), di uno strato isolante in lana di roccia e del rivestimento di finitura costituito da lastre preformate in cemento composito variamente colorato. Contestualmente, si è proceduto alla sostituzione dei parapetti dei balconi degli anni Sessanta, realizzati in pannelli di amianto, con nuovi pannelli sempre in cemento composito o vetro.



- 1 Swisspearl® cement composite panel**
- 2 Profile**
- 3 Thermal insulation**
- 4 Plaster**
- 5 Concrete**
- 6 Metal window**
- 7 Metal cover**

Doppia pelle

Si sovrappone esternamente alla chiusura opaca verticale esistente uno strato continuo vetrato sorretto e distanziato, a formare una camera d'aria, da una sottostruttura ancorata alla struttura/chiusura esistente.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

È possibile realizzare intercapedini a tutt'altezza o inserire interruzioni orizzontali a intervalli definiti: in questo caso si evita la propagazione dei rumori tra ambienti adiacenti per riflessione in intercapedine, ma è necessario che la camera sia di dimensioni sufficienti per l'attivazione dell'effetto camino efficace in estate.

Lo schermo esterno può essere costituito da lastre indipendenti fissate su una sottostruttura o essere già integrato in un elemento modulare di facciata quale ad esempio una cellula preassemblata in stabilimento.

In concomitanza di tale intervento possono essere integrati in facciata sistemi di protezione dalla radiazione solare o dotazioni impiantistiche quali elementi fotovoltaici, pluviali, colonne montanti, colonne di scarico, cablaggi elettrici, ecc.

L'utilizzo di tecnologie a doppia pelle generalmente conferisce all'opera finita un aspetto moderno, rendendo questa strategia idonea nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente con un linguaggio hi-tech. L'applicazione di questa strategia non è adatta nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati laddove sia richiesto il rispetto dell'aspetto tradizionale degli edifici.

PRESTAZIONI

La pelle vetrata estema, dotata di griglie o elementi apribili, consente di gestire i flussi di calore per ottenere una maggiore efficienza energetica. In inverno, con le prese chiuse, si sfrutta l'effetto serra per riscaldare l'aria contenuta nell'intercapedine: essa offre quindi resistenza ai flussi di energia uscente e può cedere calore agli ambienti interni per conduzione attraverso le chiusure della pelle interna o per convezione, convogliando verso ambienti o verso l'UTA l'aria preriscaldata. In estate, con le prese aperte, si sfrutta l'effetto camino per asportare il calore accumulato e ventilare naturalmente gli alloggi anche in presenza di maltempo.

L'intercapedine d'aria interrompe la continuità materiale tra lo strato di finitura e quelli retrostanti, trasformando il primo in uno strato "sacrificale" funzionale alla protezione dalle agenti atmosferici degli altri elementi del pacchetto di chiusura. Inoltre, la circolazione d'aria che si instaura nella cavità agevola lo smaltimento dell'umidità proveniente dagli ambienti interni.

Il rivestimento a doppia pelle può contribuire in maniera significativa all'isolamento acustico della chiusura verticale dai rumori aerei provenienti dall'esterno, anche se vi è il rischio di ottenere l'effetto contrario nei confronti dei rumori aerei provenienti dagli ambienti interni: se non opportunamente compartimentato, lo schermo vetrato può infatti generare indesiderati fenomeni di riflessione l'onda sonora.

Se sono integrati nella doppia pelle sistemi di captazione o protezione dalla radiazione solare, questa strategia consentirà anche il soddisfacimento di tutte le prestazioni connotanti la loro installazione.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

Il peso proprio della vetrata e la notevole distanza di quest'ultima dal filo della facciata interna richiedono un'adeguata resistenza della struttura esistente. Sarà dunque necessario valutare se realizzare una struttura appesa alla sommità dell'edificio tramite elementi reticolari, a sbalzo in corrispondenza degli elementi strutturali di ogni piano o indipendente che scarichi le sollecitazioni a terra.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input checked="" type="radio"/> gru <input type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna <input type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Leggerezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|-------------------------|--|-------------------|--|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Manutenzione ordinaria: | Periodiche operazioni di pulizia del rivestimento di facciata. È quindi utile prevedere passerelle interne all'intercapedine per | | |

la pulizia interna e un sistema di ponteggio mobile sospeso per la pulizia esterna.

Manutenzione straordinaria: La sostituzione di elementi danneggiati è semplificata dalla posa a secco della maggior parte dei componenti costituenti il sistema. In fase di progettazione è fondamentale prediligere sistemi che prevedono l'ancoraggio indipendente dei singoli elementi di rivestimento, in modo che il ripristino di parti danneggiate si possa eseguire asportando e sostituendo le singole lastre interessate. Anche il ripristino di parti ammalorate di isolate si esegue asportando e sostituendo la porzione danneggiata.

COSTO

Fascia di costo: > 300 €/m²

Considerando che nella maggior parte dei casi le soluzioni sono prodotte su misura per i singoli progetti, il costo indicato è indicativo per l'aggiunta di una struttura in profili di alluminio comprensivi di vetro chiaro temprato e connessioni alla struttura esistente. Nel caso sia anche necessario un intervento di risanamento della facciata opaca retrostante, è poi necessario aggiungere i costi riportati nelle relative schede.

CASI DI INTERVENTO

L'intervento progettato da Goring & Straja Architects riguarda il recupero di un tradizionale edificio per uffici anni Sessanta (palazzo della Vetra) a Milano, rimodellato nel 2004 per aggiornare gli spazi ai più moderni standard qualitativi richiesti a un immobile per uffici adatto alle esigenze di oggi: funzionalità, flessibilità, luminosità e comfort ambientale.



Figura 35 - Palazzo della Vetra, Milano (www.gasworkstudio.com, www.divisare.com)

Tra le operazioni di aggiornamento dell'immobile, svuotato e ritrasformato, spicca la riqualificazione della facciata principale che si affaccia su via della Chiusa, ripensata con l'aggiunta di una doppia parete in vetro strutturale aggettante di 1 – 2 metri rispetto alla parete interna e di frangisole in legno che ricordano l'edificio a quello adiacente. Accrescendo le caratteristiche di luminosità dei nuovi spazi di lavoro, migliorando il comfort interno grazie alla riduzione dello sbalzo termico tra interno ed esterno, fungendo da barriera acustica rispetto al traffico intenso della via sottostante, la nuova facciata crea al contempo una nuova immagine riconoscibile del contesto urbano.



Sostituzione della chiusura

Si demolisce la chiusura verticale esistente che viene sostituita da una nuova parete rispondente ai requisiti progettuali. L'operazione è possibile solo in presenza di murature di tamponamento non portanti.

**VARIABILITÀ TECNOLOGICA**

Adottando questa strategia la gamma delle possibilità tecnologiche è estremamente ampia, potendo sostituire la chiusura esistente con un nuovo sistema, più leggero e flessibile, che può essere opaco o trasparente. Si spazia quindi dalle soluzioni più tradizionali in laterizio o blocchi cementizi, a quelle assemblate a secco costituite da una sottostruttura alla quale si sovrappongono i vari strati specializzati, alle facciate continue in vetro e alluminio. Un'ulteriore scelta può essere effettuata sulla modalità costruttiva, che può avvenire completamente in situ oppure prevedere l'utilizzo di cellule prefabbricate in stabilimento, che possono rispondere in maniera più puntuale alle esigenze di rapidità di messa in opera.

In concomitanza di tale intervento possono essere integrati in facciata sistemi di protezione dalla radiazione solare o dotazioni impiantistiche quali elementi fotovoltaici, pluviali, colonne montanti, colonne di scarico, cablaggi elettrici, ecc.

A seconda del materiale di rivestimento, l'utilizzo di questa tecnologia può conferire all'opera finita un aspetto tradizionale o moderno, rendendo questa strategia versatile e idonea sia nei casi di riqualificazione in cui si voglia rispettare l'estetica originaria, sia nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente.

PRESTAZIONI

La scelta di questa strategia è obbligatoria quando la riqualificazione delle chiusure esistenti non permetta di raggiungere i livelli prestazionali attesi o risulti troppo onerosa, per via di livelli di prestazione residua caduti troppo oltre il limite di accettabilità o in presenza di patologie il cui risanamento risulti essere troppo complesso. I nuovi pacchetti di tamponamento, realizzati con tecniche innovative sicuramente tecnologicamente avanzate rispetto all'epoca di costruzione dell'edificio, dovranno quindi assolvere in toto a tutte le prestazioni richieste ad una chiusura verticale: resistenza meccanica, tenuta all'aria e all'acqua, illuminazione e aerazione, isolamento termico, controllo della condensazione superficiale e

interstiziale, isolamento acustico, sicurezza antincendio, attrezzabilità, integrabilità impiantistica, ecc.

Con l'installazione di tamponamenti completamente nuovi è possibile ridefinire il rapporto tra superficie opaca e superficie trasparente, in modo da aumentare i livelli di illuminamento naturale all'interno degli ambienti.

Se sono integrati nella doppia pelle sistemi di captazione o protezione dalla radiazione solare, questa strategia consentirà anche il soddisfacimento di tutte le prestazioni connotanti la loro installazione.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

L'operazione è possibile solo in presenza di una struttura a telaio con murature di tamponamento non portanti. Prima della realizzazione delle nuove chiusure si deve quindi provvedere alla rimozione di quelle esistenti, conservando i soli elementi strutturali.

La sostituzione delle chiusure non implica significative variazioni di carico, soprattutto se le nuove pareti sono realizzate con tecnologie leggere.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru <input type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input type="radio"/> esterna <input checked="" type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Leggerezza della soluzione: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|---|-------------------|---|
| Accessibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Riciclabilità: | <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |

Manutenzione ordinaria: Periodiche operazioni di pulizia del rivestimento di facciata con modalità dipendenti dalla tecnologia scelta.

Manutenzione straordinaria: La sostituzione di elementi danneggiati è semplificata se si prediligono tecnologie stratificate a secco, che permettono di intervenire puntualmente sugli strati interessati dal malfunzionamento, in maniera rapida e pulita, senza necessità di rompere e ricostruire settori di chiusura. In fase di

progettazione è fondamentale prediligere sistemi che prevedono l'ancoraggio indipendente dei singoli elementi di rivestimento, in modo che il ripristino di parti danneggiate si possa eseguire asportando e sostituendo le singole parti interessate.

COSTO

Fascia di costo: 50 – 250 €/m² (esclusi i rivestimenti esterni)

- parete leggera su sottostruttura metallica, con rivestimento interno a doppia lastra di gesso rivestito e rivestimento esterno in lastra di fibrocemento, con interposto isolante in lana minerale: 45 €/m²
- parete in muratura di laterizi alveolati da 25 cm, con intonaco interno di finitura: 60 €/m²
- parete in muratura in blocchi di ds, con intonaco interno di finitura: 50 €/m²
- parete in muratura di blocchi di ds cellulare, con intonaco interno di finitura: 45 €/m²
- demolizione delle chiusure esistenti: 45 – 100 €/m² a seconda del materiale e del metodo utilizzato (a mano o a macchina)

CASI DI INTERVENTO

Progettate da Laura Lazzari e Giancarlo Perrotta e costruite dalle Ferrovie dello Stato alla fine degli anni Ottanta, le due torri di Garibaldi sono state oggetto di riqualificazione a soli vent'anni dalla loro edificazione. Le vecchie facciate in pannelli prefabbricati di GRC color pastello presentavano infatti diversi errori progettuali: a partire dai giunti mal concepiti che consentivano infiltrazioni d'aria, aumentando notevolmente i consumi energetici per il condizionamento degli ambienti, alle caratteristiche di isolamento termico insufficienti a contrastare i carichi estivi, non smaltibili dal sistema di condizionamento che servendo unitamente la stazione sottostante non permetteva di gestire la struttura in maniera autonoma e mitigare gli sprechi energetici.



Figura 36 - Torri FS Garibaldi, Milano
(www.tesker.it,
www.skyscrapercity.com)

Il nuovo progetto redatto da Massimo Roj con lo studio milanese Progetto CMR, oltre alla riorganizzazione funzionale e impiantistica delle torri, ha perciò coinvolto pesantemente l'involucro edilizio, interamente rimosso e sostituito con tecnologie innovative: cellule vetrate a doppia pelle, facciate ventilate o pannelli fotovoltaici.

Le facciate dei fronti principali (est e ovest) di circa 1.500 m² sono state realizzate con un sistema a cellule indipendenti a doppia pelle, costituite da un vetro esterno stratificato, intercapedine ventilata e vetrocamera interno apribile. Il telaio delle cellule è realizzato con profilati di alluminio a taglio termico, di spessore variabile al fine di creare un gioco di sfaccettature del vetro esterno che movimentata l'immagine della facciata. All'interno dell'intercapedine, in corrispondenza della zona interpiano, è posizionato un pannello isolante spandrel, composto da lastre esterne in acciaio, coibentazione con lana minerale isolante e lato interno in lamiera di acciaio zincato, che risvolta in orizzontale fino al vetro esterno.



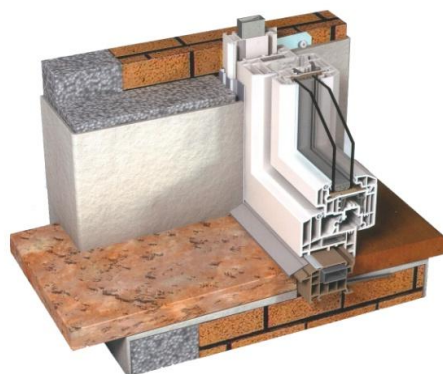
Le parti cieche dei prospetti sono invece una facciata ventilata costituita da elementi modulari composti, con rivestimento in pietra naturale chiara sabbata accoppiata ad un supporto di alluminio alveolare con funzione di alleggerimento del pannello.

I prospetti esposti a sud-ovest sono invece rivestiti di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia, per una superficie complessiva di poco superiore a 400 m² con potenza nominale circa pari a 50 kW.

Nota interessante che ha riguardato il cantiere dell'intervento è stata la suddivisione degli orari di lavoro in base ai campi di pertinenza: l'azienda che si è occupata della ristrutturazione interna lavorava fino alle 16, alternandosi poi con l'azienda che ha realizzato le facciate che lavora fino alla mezzanotte nel cantiere ben illuminato. Le due torri a seguito dell'intervento sono passate in classe energetica B, che consentirà una riduzione di quasi il 55% dei costi dei consumi energetici, anche grazie a circa 30.000 kWh prodotti annualmente da pannelli fotovoltaici, con un costo annuo di gestione pari a 30 euro al metro quadrato.

Sostituzione dei serramenti

Si sostituiscono i serramenti esistenti con serramenti più prestanti di nuova generazione.

**VARIABILITÀ TECNOLOGICA**

Esiste in commercio una grande varietà tecnologica per questa soluzione, a seconda di diversi parametri quali:

- tipo di apertura (quindi livello di ergonomia e di sicurezza durante l'utilizzo): battente, vasistas, oscillobattente, scorrevole, ecc.
- tipo del telaio: in legno, alluminio, acciaio, pvc o misto, con o senza taglio termico in materiale plastico.
- tipo di vetro: singolo o in vetrocamera, selettivo, bassoemissivo, assorbente, riflettente, stratificato, intumescente, fotovoltaico, cromogenico, a cristalli liquidi, autopulente, sottovuoto, ecc.
- tipo di giunto di tenuta: chiuso o aperto.
- materiale: ligneo, metallico, plastico, composito.

È inoltre possibile l'utilizzo di serramenti doppi costituiti da due superfici vetrate separate da un'intercapedine che possa essere chiusa per sfruttare l'effetto serra o aperta per fare scorrere l'aria esterna o interna e preriscaldarla/preraffreddarla prima di essere immessa in ambiente o mandata alle unità di trattamento. Questa è una possibile soluzione anche nel caso in cui non si volesse sostituire il vecchio serramento, prevedendo la posa di un nuovo serramento esterno indipendente.

In concomitanza con la sostituzione dei serramenti esistenti è possibile installare sistemi di schermatura solare esterni o interni per il controllo del flusso luminoso, oppure sistemi di trasporto indiretto della luce all'interno dell'edificio. Il vetro può inoltre essere integrato da elementi fotovoltaici.

La realizzazione ad hoc dei serramenti tipica di pressoché tutti gli interventi in edilizia garantisce, qualora necessaria, la possibilità di ricalcare le forme del passato con le nuove

tecnologie, conferendo all'opera finita un aspetto tradizionale e rendendo idonea questa strategia anche nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati.

PRESTAZIONI

La sostituzione dei serramenti consente di migliorare la prestazione in termini di resistenza meccanica ai carichi del vento, tenuta all'aria e tenuta all'acqua, resistenza termica, isolamento acustico. La resistenza termica incrementa notevolmente in presenza di serramenti dotati di telaio a taglio termico e vetrocamera, preferibilmente riempito con argon, utile a prevenire al contempo fenomeni di condensazione superficiale in presenza di telai metallici. L'isolamento acustico invece dipende sostanzialmente dalle caratteristiche del telaio e del vetrocamera (da riempire con kripton se si predilige la prestazione acustica a quella termica), oltre che dalla corretta posa in opera.

I vetrocamera trattati col deposito di strati di ossidi metallici possono essere utilizzati per ridurre le dispersioni di calore irraggiato dall'interno degli ambienti attraverso l'involucro trasparente durante la stagione invernale (vetro bassoemissivo), o per ridurre la radiazione solare entrante durante la stagione estive (vetro riflettente), pur mantenendo, in entrambi i casi, buone proprietà di trasmissione luminosa.

I pannelli fotovoltaici integrati in porzioni delle parti vetrate permettono di convertire l'energia solare incidente sulle facciate in energia elettrica, utile a ridurre la domanda energetica dell'edificio, oltre a fungere da filtro alla radiazione solare.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

La sostituzione dei serramenti non implica significative variazioni di carico.

Nel caso in cui fosse necessario un maggiore livello di illuminamento degli ambienti interni, è possibile allargare il vano murario e installare serramenti di dimensioni maggiori.

In un intervento di riqualificazione dell'involucro edilizio, è auspicabile intervenire sui serramenti contestualmente all'aggiornamento prestazionale delle chiusure opache, in modo da poter studiare la soluzione ottimale per il rifacimento di tutti i nodi di interfaccia (davanzale, spallette, delino, sottofinestra, cassetto, sistemi oscuranti ecc.) di tali elementi tecnici e garantire la continuità dell'isolamento termico, acustico, di tenuta all'aria e all'acqua.

La drastica riduzione della permeabilità all'aria dell'involucro può talvolta compromettere la salubrità dell'ambiente, causando l'insorgere di muffe, macchie, attacchi chimici e biologici ai materiali porosi. In concomitanza dell'intervento sui serramenti sarà dunque necessario assicurare un adeguato ricambio d'aria tramite un impianto meccanico (o quantomeno aggiornando l'utenza sulla necessità di apertura/chiusura periodica dei serramenti, a costo di una perdita di parte dell'energia termica).

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|----------------------------|---|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input type="radio"/> esterno <input checked="" type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input type="radio"/> gru <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input checked="" type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input type="radio"/> esterna <input checked="" type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Legezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

Generalmente l'intervento può essere eseguito dall'interno dell'edificio, senza la necessità di installare opere provvisorie esterne (bisogna comunque definire il sistema di conferimento dei materiali ai piani) né di spostare gli utenti dagli alloggi, se la sostituzione avviene per singoli elementi o per zone, installando il nuovo serramento subito dopo la rimozione del vecchio. Se invece si prevede l'ampliamento della superficie finestrata con opere di demolizione di parti murarie, è necessario rendere inaccessibili per brevi periodi i locali dell'alloggio coinvolti dai lavori o il trasferimento temporaneo degli utenti.

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|-----------------------------|--|-------------------|--|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Manutenzione ordinaria: | Periodiche operazioni di pulizia degli elementi vetrati, garantite prevedendo, in fase progettuale, la possibilità di apertura di tutte le porzioni degli infissi in modo che sia possibile raggiungere il <u>lato esterno</u> in condizioni di sicurezza e senza fare ricorso a sistemi esterni (bracci meccanici, ponteggi mobili, e cc.). | | |
| Manutenzione straordinaria: | Il ripristino di parti danneggiate si esegue asportando e sostituendo la singola porzione vetrata, la porzione apribile, le parti mobili e soggette a usura (guarnizioni, cerniere, maniglie, serrature, e cc.) o l'intero serramento. | | |

COSTO

Fascia di costo: 250 – 500 €/m²

- Serramenti in alluminio verniciato, comprendenti vetrocamera: > 250 €/m²
- Serramenti in legno, comprendenti vetrocamera: > 300 €/m²
- Rimozione dei serramenti esistenti in legno o acciaio: 15 €/m²

CASI DI INTERVENTO

Un interessante intervento basato su questa strategia è quello che ha interessato un complesso di edifici residenziali a Sheffield, nel Regno Unito. L'insediamento fu edificato nel 1961 sull'onda dei programmi di edilizia sociale che in Gran Bretagna miravano a convertire quartieri di abitazioni fatiscenti in luoghi con dignitose condizioni dell'abitare per le classi popolari. Il progetto, influenzato dai principi architettonici e urbanistici di Le Corbusier, si sviluppa in differenti stecche, le cui facciate mostrano il telaio strutturale nel quale sono inserite campiture in laterizio a vista. L'evoluzione sociologica e il degrado nelle condizioni abitative nel corso del tempo determinano il declino dell'insediamento fino a produrre i fenomeni di rapida fatiscenza ed abbandono che raggiungono il culmine nel corso degli anni Ottanta e Novanta, quando la condizione degli edifici diviene spettrale. Erano inoltre presenti marcati fenomeni di degrado strutturale dovuti alla corrosione dei ferri, fenomeni chimici e alla qualità non ottimale dei materiali impiegati, che inducono un decadimento della capacità resistente dell'intera struttura.

Figura 37 - Edificio residenziale a Sheffield, Inghilterra (www.hawkinsbrown.com)



Nonostante questi problemi, il complesso nel 1998 venne riconosciuto come architettonicamente significativo per il suo ruolo come parte dell'identità della città: per questo motivo, la riqualificazione architettonica e funzionale avviata nel 2013 è avvenuta in un'ottica di rispetto e dialogo con l'esistente, mantenendo inalterata la griglia strutturale originale e sostituendo invece le campiture di facciata in essa contenute, anche per preservare le qualità intrinseche del progetto originario, dall'accurato studio della ventilazione naturale alla predisposizione di impianti centralizzati per il riscaldamento, dalla disponibilità di balconi interni al filo di facciata per ogni cellula abitativa all'orientamento ottimizzato per le zone giorno e notte.

A seguito di una vasta campagna di ripristino e di miglioramento strutturale, l'intervento ha riguardato la sostituzione delle porzioni di chiusura in laterizio facciavista con colorati e rilucenti pannelli in alluminio anodizzato, ridefinendo le proporzioni tra superfici trasparenti e opache per conferire maggiore luminosità agli ambienti, oltre che la sostituzione dei massicci parapetti dei balconi in cemento con più snelle ringhiere, nella ricerca di una percezione di tono più leggero e colorata per un complesso la cui intelaiatura rimane evidente ed architettonicamente significativa.



Schermature solari

Si installano elementi per il controllo dell'irraggiamento solare in corrispondenza delle chiusure verticali trasparenti, per controllare l'illuminazione naturale degli ambienti e gli apporti solari gratuiti al fine di contenere la domanda di energia per la climatizzazione estiva.

**VARIABILITÀ TECNOLOGICA**

Esiste in commercio una grande varietà tecnologica per questa soluzione, a seconda di diversi parametri quali:

- posizione: interna o esterna alla chiusura.
- direzione: orizzontali, verticali o paralleli alla chiusura.
- regolazione: fissi o regolabili.
- materiale: minerale, ligneo, metallico, plastico, sintetico, composito, ecc.

Le schermature possono inoltre essere integrate da elementi fotovoltaici o da materiali riflettenti per convogliare, se opportunamente conformate, la luce naturale verso le zone più interne dell'edificio.

L'utilizzo di tecnologie per il controllo dell'irraggiamento solare può conferire all'opera finita un aspetto tradizionale, rendendo possibile questa strategia anche nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati, oppure un aspetto moderno, idoneo nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente.

PRESTAZIONI

Le schermature solari consentono di limitare l'irraggiamento solare diretto degli ambienti

- riducendo, nella stagione estiva, il surriscaldamento dovuto ai guadagni energetici attraverso le chiusure trasparenti (se fisse, devono tuttavia essere progettate per non impedirlo nella stagione invernale, nella quale gli apporti gratuiti contribuiscono al contenimento del fabbisogno energetico)
- riducendo il flusso luminoso e risolvendo situazioni di scarso comfort visivo dovuto a fenomeni di riverbero o abbagliamento.

Se regolabili, consentono all'utente di intervenire puntualmente sulla quantità di energia entrante massimizzando il beneficio da essi ottenibile.

Il sistemi di schermatura solare possono contribuire in maniera all'aumento del potere fonoisolante della chiusura verticale, infrangendo l'onda sonora incidente su di essa.

I pannelli fotovoltaici permettono di convertire l'energia solare incidente sulle facciate in energia elettrica, utile a ridurre la domanda energetica dell'edificio.

I *light shelf* permettono di riflettere l'energia solare incidente e convogliarla in modo indiretto nelle zone più interne degli ambienti, riducendo la domanda energetica per l'illuminazione dell'edificio e i carichi termici dovuti ai corpi illuminanti.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

In funzione del sistema, è necessario progettare un'apposita sottostruttura e verificare i fissaggi di quest'ultima alla struttura portante esistente, ponendo particolare attenzione ai casi che prevedono l'installazione di carichi concentrati considerevoli quali ad esempio schermature solari di grande dimensione.

L'installazione di sistemi di schermatura solare può determinare una diminuzione dei livelli di illuminamento all'interno degli alloggi. In questo caso può essere utile accoppiare la funzione di schermatura a quella di captazione e trasporto della luce attraverso un'opportuna configurazione degli elementi.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|------------------------------|--|--------------------------|--|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input checked="" type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input checked="" type="radio"/> gru <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna <input checked="" type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Le ggerenza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|-------------------------|---|-------------------|--|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Manutenzione ordinaria: | Periodiche operazioni di pulizia della superficie, effettuate con maggior frequenza in presenza di elementi fotovoltaici o riflettenti. | | |

Manutenzione straordinaria: La sostituzione di elementi danneggiati è semplificata dalla posa a secco della maggior parte dei componenti.

COSTO

Fascia di costo: 50 – 500 €/m²

- Tenda interna alla veneziana con lamelle in alluminio regolabili: 25 €/m²
- Tenda esterna alla veneziana con lamelle in alluminio regolabili dall'interno: 50 €/m²
- Tenda esterna a rullo con lamelle in fibra di vetro rivestita in pvc, completa di cassonetto: 50 €/m²
- Sistema a lamelle esterne in alluminio da 15 – 30 cm, completo di sottostruttura portante: 250 – 500 €/m² a seconda del tipo di sottostruttura, dell'eventuale motorizzazione, e cc.
- Sistema a lamelle esterne in vetro, completo di sottostruttura portante: > 450 €/m² a seconda del tipo di vetro, del tipo di sottostruttura, dell'eventuale motorizzazione, ecc.

CASI DI INTERVENTO

Caso rappresentativo di questa strategia di redadding è il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli ex magazzini Casa di Bianco a Cremona, realizzato nel 2005 dallo studio Mario Cucinella. Il progetto prevedeva la ristrutturazione completa dello stabile, al fine di rivitalizzare il sistema commerciale e culturale del centro cittadino, tramite l'installazione di un insieme variegato di destinazioni funzionali: attività commerciali, abitazioni e una ludoteca. L'edificio, parzialmente vincolato in quanto costituito da una torre medievale, da una costruzione cinquecentesca rimaneggiata negli anni Venti e una parte pesantemente rimaneggiata negli anni Settanta, è stato ristrutturato e restaurato nel rispetto delle normative urbanistiche e paesaggistiche che vietavano la demolizione e ricostruzione del volume.



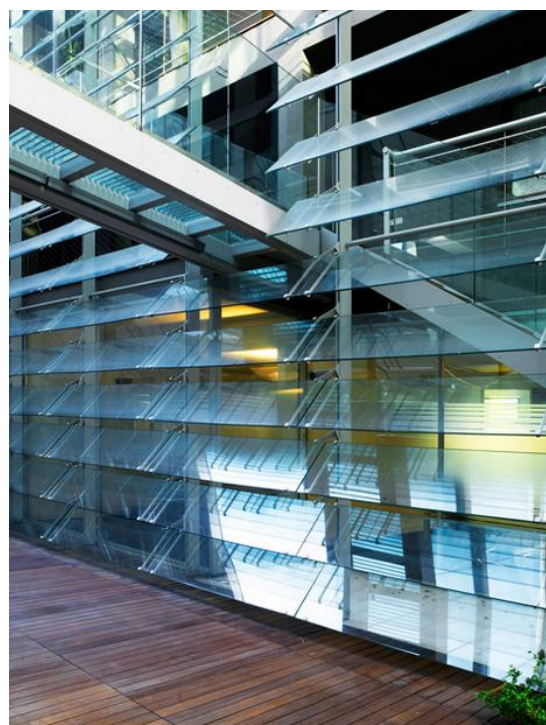
Figura 38 - Ex Casa di Bianco, Cremona
(www.mcarchitects.it)

Il progetto ha quindi interessato la ristrutturazione della torre e della facciata cinquecentesca, mentre è stato possibile demolire e ricostruire le facciate della parte più recente dando una nuova immagine all'edificio.



L'involucro originario è stato infatti reinterpretato in chiave contemporanea ricercando un dialogo rispettoso col contesto circostante in termini di volumi e materiali: le facciate, rifinite con vetri colorati, sono infatti racchiuse da un secondo layer costituito da grandi schermature solari in acciaio ispirate alle facciate tradizionali della città, che ne riprendono la cromia e la scansione ritmica del prospetto.

Anche il cortile interno su cui si affacciano le residenze è caratterizzato da importanti elementi frangisole che, realizzati in vetro e acciaio, conferiscono all'antico patio un'immagine decisamente più contemporanea.



Elementi di captazione dell'energia solare

Si installano elementi per la captazione e lo sfruttamento dell'energia solare ai fini del risparmio energetico. La convenienza nell'utilizzo di questi sistemi risiede, oltre che nei guadagni energetici, nell'integrazione degli elementi impiantistici con i tradizionali componenti dell'involucro affinché essi sostituiscano alcune parti e non siano applicati a poste posteriori, causando ridondanza di materiali e costi.



VARIABILITÀ TECNOLOGICA

Esiste in commercio una grande varietà di sistemi per lo sfruttamento dell'energia solare:

- **Collettori solari:** utilizzano la radiazione solare per riscaldare un vettore termico, normalmente acqua, per utilizzi domestici a bassa e media temperatura (60 – 80 °C). Possono dunque essere integrati nell'impianto di riscaldamento o di produzione di acqua calda sanitaria, ma il loro utilizzo risulta ottimale quando l'impianto esistente lavora a bassa temperatura. Sono composti da una superficie captante a collettori piani o sottovuoto, e uno scambiatore per il trasferimento dell'energia solare al fluido termovettore che vi passa attraverso. Oltre lo spazio per la superficie captante è necessaria la disponibilità di spazio per gli accumulatori e per gli allacciamenti idraulici tra collettori e rete idrica. Il dimensionamento richiede un bilancio energetico per individuare l'energia richiesta dall'utenza e quella che l'impianto è in grado di fornire. Generalmente il lasso temporale ottimale per il calcolo è quello che sfrutta l'impianto nel periodo compreso tra aprile e ottobre in cui l'insolazione è buona ma non è né quella ottimale, che porterebbe a un sottodimensionamento del sistema, né quella più sfavorevole, che porterebbe a una produzione eccedente il fabbisogno.
- **Pannelli fotovoltaici:** utilizzano la radiazione solare per produrre energia elettrica che può essere scambiata direttamente con la rete se l'impianto è *grid connected*. Se invece l'impianto è isolato, oltre lo spazio per la superficie captante è necessaria la disponibilità di spazio per gli accumulatori. Dal punto di vista impiantistico, questa tecnologia è più flessibile e meno vincolante rispetto alla precedente, in quanto necessita, oltre ai pannelli captanti in celle di silicio, di soli collegamenti elettrici. Il dimensionamento può essere effettuato per soddisfare gli usi elettrici del caso.
- Sistemi per il **preriscaldamento dell'aria** da immettere nell'edificio: utilizzano la radiazione solare per scaldare, per effetto serra, l'aria esterna da immettere

nell'edificio, quando passa attraverso una camera generalmente costituita da una lastra di vetro chiaro e un fondo in lamiera di colore scuro. Lo stesso effetto può essere ottenuto per mezzo di una facciata a doppio involucro in cui viene riscaldata l'aria che passa tra lo strato interno, opaco, e lo strato esterno, trasparente.

- Sistemi per il trasferimento diretto di calore all'interno dell'edificio: materiali capillari o a transizione di fase.

L'utilizzo di tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare generalmente conferisce all'opera finita un aspetto moderno, rendendo questa strategia idonea nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente. La varietà tipologica presente in commercio permette comunque un buon grado di "sobrietà" laddove si preferisca rispettare l'estetica originaria dell'edificio, seppur reinterpretandola con nuovi materiali, piuttosto che dichiarare le nuove funzioni dell'involucro con un linguaggio architettonico marcatamente hi-tech. A meno che l'installazione avvenga in porzioni di edificio non visibili, l'applicazione di questa strategia non è adatta nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati laddove sia richiesto il rispetto dell'aspetto tradizionale degli edifici.

PRESTAZIONI

Le prestazioni connotanti di questa strategia sono essenzialmente quelle precedentemente descritte, atte a sfruttare la radiazione solare per ridurre la domanda di energia elettrica o derivante da combustibili fossili.

Se tali sistemi di captazione sono correttamente integrati nell'involucro edilizio, ad esempio nel rivestimento di una facciata ventilata o negli elementi frangisole di un sistema oscurante, essi adempiranno inoltre a tutte le prestazioni connotanti il componente che sostituiscono.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

In funzione del sistema, è necessario progettare un'apposita sottostruttura e verificare i fissaggi di quest'ultima alla struttura portante esistente, ponendo particolare attenzione ai casi che prevedono l'installazione di carichi concentrati considerevoli quali ad esempio serbatoi di accumulo per l'acqua riscaldata o schermature solari fotovoltaiche di grande dimensione.

Prima dell'installazione dei nuovi sistemi impiantistici è necessario modificare gli impianti esistenti predisponendo gli allacciamenti idrici, elettrici o del sistema di distribuzione dell'aria.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|------------------------------|---|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> este mo <input checked="" type="radio"/> inte mo | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input checked="" type="radio"/> gru <input checked="" type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> este ma <input type="radio"/> inte ma |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Le ggerenza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|-----------------------------|--|-------------------|--|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Manutenzione ordinaria: | Periodiche operazioni di pulizia della superficie captante la radiazione solare. | | |
| Manutenzione straordinaria: | La sostituzione di elementi danneggiati è semplificata dalla posa a secco della maggior parte dei componenti dei sistemi analizzati, e dal limitato numero di connessioni agli impianti, che consente di asportarli e cambiarli velocemente. | | |

COSTO

Fascia di costo: 50 – 7000 €/m²

- Impianto solare termico di grandi dimensioni (50 – 100 m²): 400 – 500 €/m²
- Impianto fotovoltaico: 6000 – 7000 €/kWp (1 kWp è generalmente ottenibile con un modulo in silicio cristallino di circa 8 m²)

Il costo di molti sistemi è comunque molto elevato rispetto ai risparmi che permettono di ottenere. La disponibilità di agevolazioni finanziarie può rendere però interessante valutare la fattibilità degli interventi, il cui costo sarebbe altrimenti incettabile a fronte di un tempo di ritorno dell'investimento troppo elevato.

È inoltre opportuno, prima di procedere all'installazione di impianti per lo sfruttamento dell'energia solare, verificare alcuni presupposti che porterebbero all'ottimizzazione del consumo energetico con un minor impegno economico (consumi d'acqua e di corrente elettrica già ottimizzati tramite erogatori a basso flusso, aeratori per rubinetti, pompe di circolazione e corpi illuminanti ad alta efficienza, sistemi di controllo automatico dell'illuminazione quali sensori di presenza, timer, ecc.).

CASI DI INTERVENTO

Costruito nel 1962 a Manchester per ospitare la sede della compagnia assicurativa britannica CIS Ltd., la CIS Tower ha subito nel 2006 un importante intervento di re cladding che l'ha dotata della più grande facciata fotovoltaica in Europa. L'edificio è costituito da una torre per uffici alta 118 m rivestita da facciate continue in acciaio verniciato, alluminio e vetro, progettate per all'atmosfera piuttosto inquinata della città. Il corpo servizi in calcestruzzo armato che emerge dalla pianta rettangolare della torre, tuttavia, fu rivestito da milioni di piccole piastrelle che cominciarono a distaccarsi dopo 40 anni di esposizione all'inquinamento atmosferico e alle dilatazioni termiche non assorbite da appropriati giunti di dilatazione. L'intervento di risanamento del guasto è stato quindi occasione per il rinnovo completo del rivestimento della facciata, che è stata rivestita con più di 7000 pannelli fotovoltaici in grado di generare energia pulita riversata nella rete elettrica nazionale.

Figura 39 - CIS Tower,
Manchester, Regno
Unito
(www.solaripedia.com)



Colonne impiantistiche

Si installano colonne per contenere e mascherare in facciata nuovi montanti e allacciamenti impiantistici o per ampliare quelli già esistenti. Possono avere altezza variabile e non estendersi necessariamente a tutti i piani, ma sono particolarmente indicate per edifici in cui l'assetto distributivo è costante su tutti i piani.

VARIABILITÀ TECNOLOGICA

Isolamento?

L'utilizzo di tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare generalmente conferisce all'opera finita un aspetto moderno, rendendo questa strategia idonea nei casi in cui l'obiettivo è il restyling della connotazione architettonica all'edificio esistente. La varietà tipologica presente in commercio permette comunque un buon grado di "sobrietà" laddove si preferisca rispettare l'estetica originaria dell'edificio, seppur reinterpretandola con nuovi materiali, piuttosto che dichiarare le nuove funzioni dell'involucro con un linguaggio architettonico marcatamente hi-tech. A meno che l'installazione avvenga in porzioni di edificio non visibili, l'applicazione di questa strategia non è adatta nei casi di riqualificazione in contesti storici o vincolati laddove sia richiesto il rispetto dell'aspetto tradizionale degli edifici.

PRESTAZIONI

Questa strategia è particolarmente indicata quando risulta impossibile, per motivi dimensionali, funzionali o distributivi, far passare i nuovi condotti impiantistici nei cavetti già esistenti. In tale condizione, può risultare conveniente portare i nuovi montanti in facciata (qualora non vincolata) invece che procedere alla demolizione di porzioni di solaio a ogni piano dell'edificio per la realizzazione di nuove asole.

Posizionare gli impianti in una colonna esterna consente inoltre di isolare il rumore, aumentando il comfort acustico degli ambienti interni.

L'ispezionabilità della colonna consente di effettuare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria dall'esterno dell'edificio, senza arrecare disturbo o interrompere le attività svolte nell'immobile.

PRESUPPOSTI E IMPLICAZIONI

In funzione del sistema, è necessario progettare un'apposita sottostruttura e verificare i fissaggi di quest'ultima alla struttura portante esistente.

Prima dell'installazione dei nuovi sistemi impiantistici è necessario modificare gli impianti esistenti predisponendo gli allacciamenti idrici, elettrici o del sistema di distribuzione dell'aria.

LOGISTICA ED ERGOTECNICA

| | | | |
|----------------------------|---|--------------------------|---|
| Intervento eseguito dall': | <input checked="" type="radio"/> esterno <input type="radio"/> interno | Ponteggio: | <input checked="" type="radio"/> |
| Spostamento degli utenti: | <input type="radio"/> | Sistema di sollevamento: | <input checked="" type="radio"/> gru <input type="radio"/> argano |
| Demolizioni: | <input checked="" type="radio"/> | Area di stoccaggio: | <input checked="" type="radio"/> esterna <input type="radio"/> interna |
| Rapidità dell'intervento: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> | | |
| Legezza della soluzione: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | | |

GESTIONE E MANUTENZIONE

| | | | |
|----------------|--|-------------------|--|
| Accessibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> | Sostituibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| Pulibilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riutilizzabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |
| Riparabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> | Riciclabilità: | <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> |

Manutenzione ordinaria: Periodiche operazioni manutenzione degli impianti e di pulizia della superficie esterna della colonna.

Manutenzione straordinaria: In fase di progettazione è fondamentale prediligere sistemi che garantiscono l'ispezionabilità delle colonne impiantistiche mediante opportuni accorgimenti riguardanti gli elementi di rivestimento, in modo che il ripristino di parti danneggiate si possa eseguire senza rompere e ripristinare porzioni di facciata.

COSTO

Fascia di costo: 50 – 250 €/m²

Il costo di molti sistemi è comunque molto elevato rispetto ai risparmi che permettono di ottenere. La disponibilità di agevolazioni finanziarie può rendere però interessante valutare la fattibilità degli interventi.

Per ricapitolare e rendere agevole il confronto delle strategie analizzate e delle relative caratteristiche, si propone di seguito una tabella riassuntiva. Le caratteristiche proprie di ogni soluzione sono organizzate in tre gruppi – progettazione, esecuzione e gestione – al fine di semplificare la consultazione ai diversi soggetti del processo di riqualificazione, interessati da diversi aspetti riguardanti lo stesso prodotto: se un progettista guarderà in prima istanza agli aspetti tecnologici e prestazionali che una strategia può offrire per soddisfare determinate specifiche, un'impresa esecutrice sarà più interessata a comparare le implicazioni che una certa soluzione può avere a livello logistico ed ergonomico, mentre la valutazione dell'utilizzatore sarà più fortemente indirizzata dagli aspetti gestionali e manutentivi dell'opera negli anni a venire. Riprendendo l'impostazione data alle schede, a ogni voce è attribuito un punteggio di valutazione da 1 a 3.

| TABELLA RIASSUNTIVA DELLE POSSIBILI STRATEGIE DA ADOTTARE IN UN INTERVENTO DI RECLADDING E DELLE RISPETTIVE CARATTERISTICHE | | STRATEGIE | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | 01 controperete interna | 02 isolamento intercapedine | 03 cappotto | 04 facciata ventilata | 05 doppia pelle | 06 sostituzione chiusura | 07 sostituzione serramenti | 08 schermature solari | 09 captazione energia | 10 colonne impiantistiche |
| CARATTERISTICHE | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 |
| progettazione | variabilità tecnologica | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| | prestazioni termoigrometriche | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| | prestazioni acustiche | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | prestazioni ottico-luminose | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | protezione al fuoco | SI | NO | SI | SI | SI | SI | NO | NO | NO | NO |
| | integrabilità impiantistica | SI | NO | NO | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI |
| esecuzione | intervento eseguito da (E: esterno, I: interno) | I | E/I | E | E | E | E/I | I | E/I | E/I | E |
| | spostamento degli utenti | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO |
| | demolizioni | NO | NO | NO | NO | NO | SI | SI | NO | NO | SI |
| | rapidità dell'intervento | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | leggerezza della soluzione | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| | ponteggio | NO | S/N | SI | SI | S/N | SI | NO | S/N | S/N | SI |
| | sistema di sollevamento (G: gru, A: argano) | A | A | A | A | G | G | A | G/A | G/A | G |
| | area di stoccaggio (E: esterna, I: interna) | I | E/I | E | E | E/I | E/I | I | E/I | E | E |
| gestione | accessibilità | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| | pulibilità | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| | riparabilità | 2 | 0 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| | sostituibilità | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | riutilizzabilità | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| | riciclabilità | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| | fascia di costo (1: < 100, 2: < 300; 3: > 300 €/m ²) | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1-3 | 1-3 | 1-3 |

Tabella 23 - Possibili strategie da adottare in un intervento di recladding e rispettive caratteristiche

Gli interventi sugli impianti

Se le strategie analizzate riguardano esclusivamente le possibili tecniche di intervento sull'involucro verticale, è importante ribadire ancora una volta come anche nei casi in cui l'intervento tocchi solo gli aspetti edilizi sia di fondamentale rilievo tenere in considerazione gli effetti che questi avranno sulle condizioni ambientali interne e prevedere quantomeno un'azione sulla regolazione degli impianti esistenti. Qualora non fosse possibile un approccio integrato sia sull'involucro edilizio – per ridurre il fabbisogno di energia – che sulle dotazioni impiantistiche – per migliorare il rendimento stagionale e ridurre le perdite causate dalle inefficienze degli impianti esistenti – ma fosse presente la necessità di programmare i due tipi di intervento in tempi successivi, si è discusso di come la valorizzazione energetica del fabbricato debba necessariamente partire dall'aggiornamento prestazionale dell'involucro. Intervenire sugli impianti, tuttavia, è importante non solo quando l'obiettivo principale è migliorare l'efficienza, ma ogni qualvolta sia necessario assicurare il mantenimento delle condizioni di comfort desiderate in uno scenario dove sono mutate le condizioni al contomo.

Gli impianti meccanici di un edificio agiscono infatti sui parametri di temperatura e umidità dell'aria interna all'ambiente climatizzato al fine di garantire il benessere sensoriale delle persone che vi permangono. Ma che influenza può avere un'operazione di redadding su questi due parametri, e di conseguenza sul comfort ambientale all'interno dell'edificio?

La temperatura ambientale dipende essenzialmente da:

- trasmissione attraverso l'involucro, in funzione delle sue caratteristiche di isolamento
- ventilazione naturale, meccanica o per infiltrazioni
- apporti solari gratuiti, in funzione dell'"apertura" dell'edificio verso l'esterno in termini di superfici trasparenti e dalla loro protezione
- apporti interni gratuiti, in funzione delle apparecchiature e degli occupanti presenti.

L'umidità ambientale dipende essenzialmente da:

- ventilazione naturale, meccanica o per infiltrazioni
- apporti interni gratuiti, in funzione delle apparecchiature e degli occupanti presenti
- permeabilità dell'involucro edilizio al passaggio del vapore acqueo.

Assumendo di non mutare la destinazione funzionale interna e quindi l'ammontare degli apporti gratuiti originati dalle apparecchiature e dagli occupanti degli ambienti, e che l'aggiornamento dell'involucro non sia per ovvie ragioni finalizzato al solo ripristino estetico dell'immobile ma anche al contenimento dei consumi energetici, l'operazione di redadding avrà innanzitutto influenza sulla temperatura dell'aria riducendo i fenomeni di trasmissione e di irraggiamento attraverso l'involucro. L'applicazione di uno strato isolante per aumentare la

resistenza termica degli elementi di chiusura e l'installazione di schermature solari che regolino la radiazione solare in ingresso attraverso le superfici trasparenti dell'involucro consentiranno di avere flussi termici ridotti e minori rientri di calore indesiderati. In questo caso, la riduzione dei disperdimenti energetici avrà sempre esito positivo a patto che il sistema di regolazione dell'impianto sia in grado di rilevare le nuove condizioni ambientali, e lavorare a regime ridotto. Si immagini tuttora di combinare la strategia di isolamento della porzione di chiusura opaca con strategia che prevede la sostituzione dei serramenti esterni che, come ben noto, sono l'elemento più "debole" della chiusura essendo soggetti a due tipi di perdite di calore: per trasmissione e per via delle infiltrazioni d'aria attraverso i giunti. La riqualificazione del serramento influenzerà il miglioramento globale dell'immobile se intesa non come semplice ripristino di qualità degradate, ma come sostituzione finalizzata all'economia energetica, diventando vero e proprio mezzo di regolazione fra ambiente interno ed esterno più che semplice barriera contro gli agenti atmosferici. Tra le prestazioni richieste vi sarà dunque un basso valore di permeabilità all'aria, così come si dovrà pure curare il dettaglio di giunzione fra telaio fisso e muratura giacché anch'esso, se non correttamente eseguito, potrà essere responsabile di dispersioni. In questo caso, la permeabilità ridotta per ottenere un beneficio in termini di temperatura può portare a condizioni ambientali critiche per quanto riguarda l'umidità degli ambienti interni, così come accadrebbe se si modificassero le caratteristiche di diffusività della chiusura opaca applicando nuovi strati di sbarramento alla diffusione del vapore. È quindi evidente come sia indispensabile che l'umidità dell'aria che si forma all'interno dell'edificio venga evacuata tramite il "lavaggio" degli ambienti con aria di ricambio. Essa potrà idealmente provenire da ventilazione naturale, che implicherebbe altresì l'adeguamento del comportamento dell'utenza al nuovo edificio o l'installazione di bocchette d'aria regolabili appositamente predisposte per garantire un'efficace ventilazione "controllabile", ma che devono essere appositamente studiate con trappole acustiche per non trasmettere in ambiente il rumore esterno. In alternativa, il controllo igrometrico potrà essere garantito da un più affidabile impianto di ventilazione meccanica che assicuri un ricambio d'aria continuo e l'immissione di aria di rinnovo in condizioni di progetto. Laddove fosse richiesto un particolare controllo delle condizioni ambientali è ad esempio possibile installare un sistema di ventilazione meccanica *igrocontrollata*, in grado di modulare automaticamente le portate di estrazione o immissione dell'aria esterna in funzione dell'umidità relativa presente all'interno dell'ambiente.



Figura 40 – sistema Schüco VentoThem per l'aerazione controllata integrata nel serramento con recupero di calore (www.schueco.com)

4.2 Condizioni e vincoli progettuali

Per muovere ulteriori passi verso la scelta della più consona strategia di redadding per la riqualificazione delle facciate di un edificio, a questo punto si rende necessaria l'acquisizione di ulteriori informazioni riguardo alle condizioni di intervento e ai vincoli che da esse derivano. Così come il processo di conoscenza dell'oggetto è servito a comprendere l'edificio, il processo di conoscenza delle condizioni e dei vincoli progettuali è utile a comprendere l'intervento, ovvero le possibilità logistiche, temporali e tecniche che determineranno le modalità di svolgimento dei lavori e di conseguenza anche la scelta della strategia di redadding che ad esse si addice. Una loro puntuale individuazione è dunque fondamentale, anzi, funzionale al processo di scelta della strategia adatta a risolvere i deficit rilevati: essi saranno elementi discriminanti nel processo di individuazione della soluzione più adatta al caso di studio, oltre che condizionamenti sull'esecuzione dei lavori.

Di seguito si riportano alcuni degli aspetti più importanti riguardanti l'intervento in esame.

Interruzione dell'attività

L'analisi delle attività che si svolgono all'interno di un edificio e le esigenze della committenza hanno un'influenza determinante nella definizione del progetto di redadding e in generale di riqualificazione. La possibilità di interrompere temporaneamente la fruizione dei locali che la facciata racchiude avrà ricadute sulle scelte tecnologiche ed esecutive: un edificio su cui si possa agire solo dall'esterno, per esempio, richiederà un approccio alla progettazione completamente diverso da un edificio sul quale sia possibile agire anche dall'interno, predudendo o favorendo l'utilizzo di determinate soluzioni tecnologiche. E ancora, la possibilità di agire sull'intero prospetto nella stessa fase di cantiere piuttosto che la necessità di dividere l'intervento in più parti spostando di volta in volta l'utenza in altri spazi, ad esempio per piani o per strisce verticali di facciata, orienteranno la scelta su soluzioni che necessitano di essere posate in sequenza obbligata o su soluzioni che possono essere installate per campiture o strati indipendenti e ricordate a posteriori.

L'attività dell'Ospedale San Carlo Borromeo per ovvie ragioni non può essere interrotta nella sua totalità per la sua importanza strategica in ambito metropolitano³⁷. L'intervento deve quindi essere necessariamente frazionato in più parti al fine di garantire la continuità del servizio sanitario.

³⁷ Uno tra gli indici per misurare l'attività di una struttura sanitaria è il numero di accessi al pronto soccorso. I dati EUOL del mese di aprile 2013 riportano la distribuzione percentuale degli accessi al pronto soccorso di tutti gli ospedali milanesi e la ripartizione per tipologia di codice d'urgenza, dai quali figura che l'A. O. San Carlo Borromeo si colloca al terzo posto dopo il Niguarda e il Fatebenefratelli (che però comprende nella quota degli accessi tutti i pazienti con problemi oftalmologici).

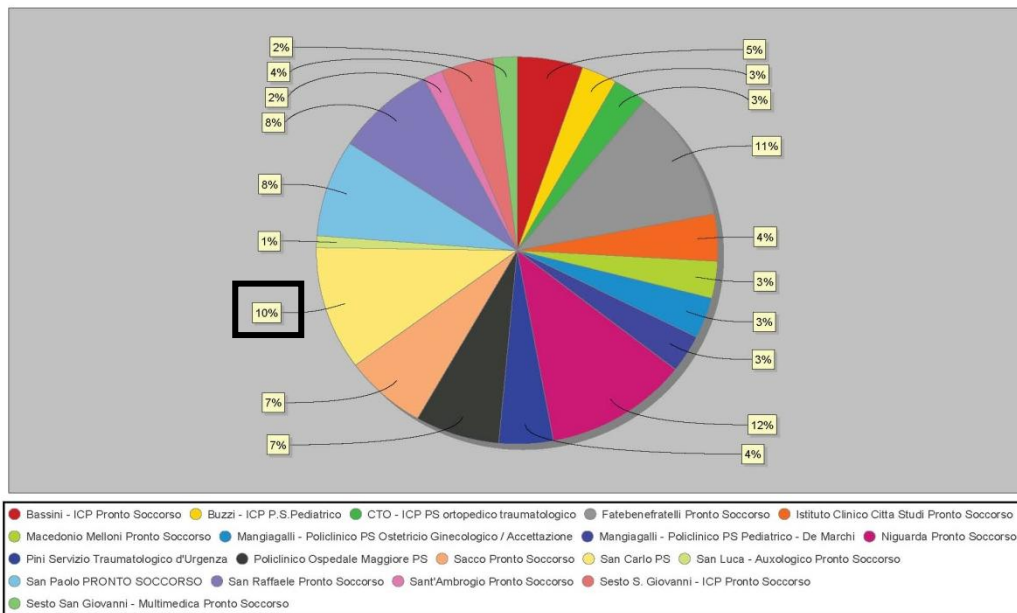


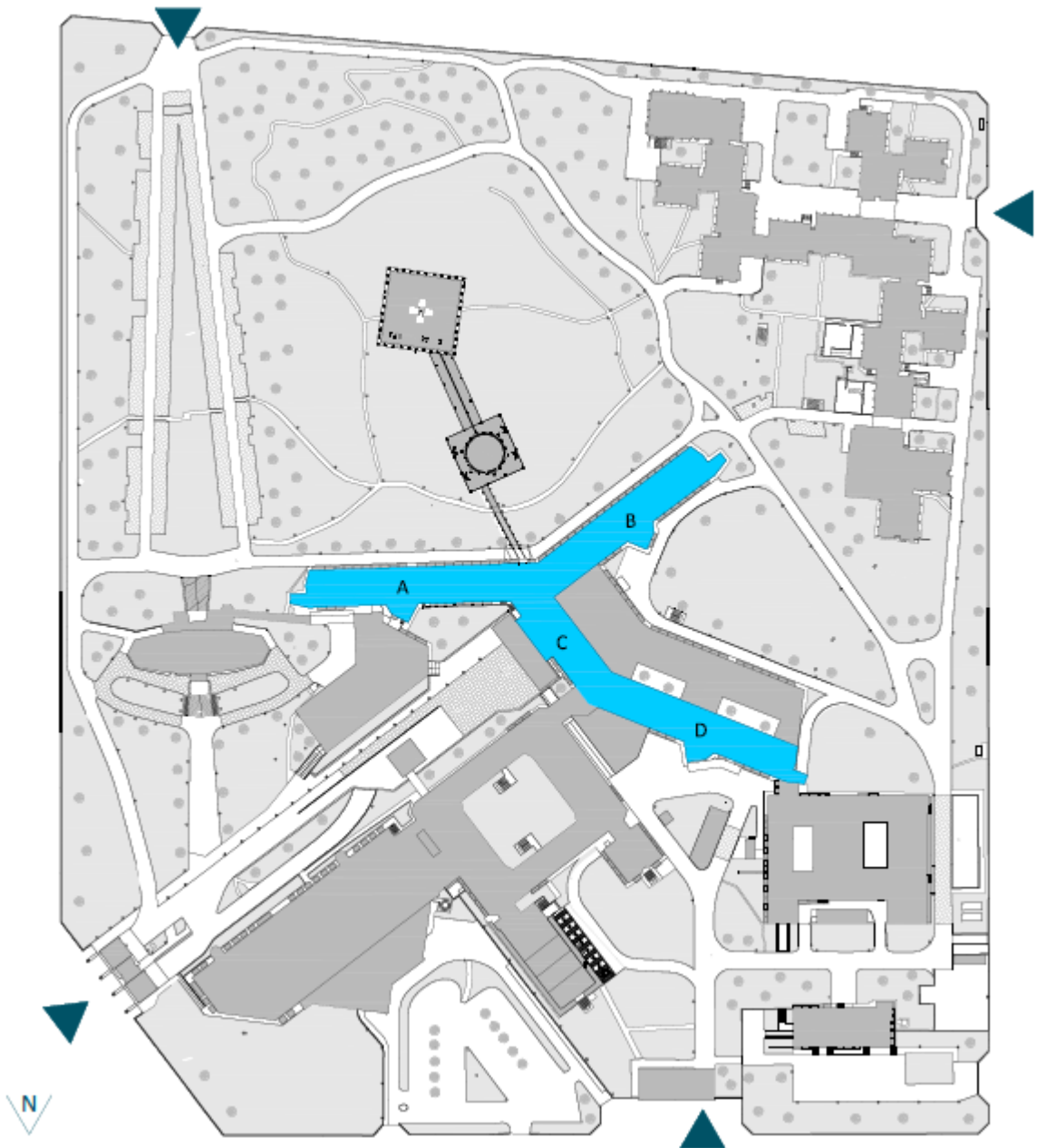
Figura 41 - Dati EUOL: distribuzione accessi al pronto soccorso nel comune di Milano

L'originaria concezione del complesso ospedaliero risultata estremamente razionale e funzionale in quanto, cinquant'anni dopo la sua progettazione e costruzione consente ancora di effettuare qualsiasi intervento manutentivo senza interruzioni delle attività o necessità di riorganizzazione. Degenze, servizi diagnostici, generali e di supporto sono infatti collocati all'interno di una rete che li collega con una certa ridondanza di percorsi sia interni che esterni, pur rimanendo entità indipendenti e autonome. Questa filosofia progettuale connota sapientemente sia l'intero complesso ospedaliero che i singoli edifici: l'edificio Monoblocco è infatti suddiviso in quattro distinti corpi di fabbrica (A, B, C, D) che risultano completamente indipendenti tra loro sia per quanto riguarda l'impiantistica, sia per quanto riguarda i percorsi di accesso verticali sia in condizioni normali che di esodo in caso di emergenza. La realizzazione dell'intervento può dunque avvenire per lavorando su un corpo per volta, senza necessariamente interrompere l'attività dell'intero edificio. Le aree di cantiere verranno quindi consegnate in tre fasi distinte:

- 1^a fase: corpi D e C – piani dal decimo al primo;
- 2^a fase: corpo B – piani dal decimo al primo – con esclusione del piano secondo;
- 3^a fase: corpo A – piani dal decimo al primo – con esclusione del piano secondo.

Nel corso dei lavori, in tutte le fasi di intervento, devono rimanere funzionanti tutte le attività collocate nei corpi non interessati dal cantiere e tutte le attività attualmente collocate ai piani rialzato e primo seminterrato, che rimarranno funzionalmente collegate agli impianti esistenti anche al termine dell'intervento.

Figura 42 -
Planimetria generale
del complesso
ospedaliero



Prima dell'inizio lavori, sarà cura dell'azienda ospedaliera provvedere al trasferimento di tutte le attività sanitarie attualmente presenti nei piani dal primo al decimo, che verranno consegnati liberi da personale e arredo mobile. Altresì verranno lasciati arredi fissi, terminali impiantistici, segnaletica e attrezzature mobili, ovvero tutto quello che la stazione appaltante decidesse di non recuperare. Nelle aree di cantiere consegnate dal piano primo al piano decimo tutti gli impianti esistenti potranno essere completamente dismessi. Saranno a carico dell'appaltatore unicamente le opere propedeutiche necessarie a garantire l'alimentazione delle aree collocate ai piani rialzato e primo seminterrato (allacciamenti provvisori e propedeutici al mantenimento dell'alimentazione elettrica e degli impianti idrico-sanitario, di scarico, di riscaldamento, di climatizzazione, di gas medici ecc.).

A lavori ultimati e dopo collaudo tecnico con esito positivo, la stazione appaltante provvederà a propria cura e spese al trasferimento degli arredi mobili esistenti e all'attivazione dei diversi

reparti e collocazione dei pazienti, liberando l'area oggetto della successiva fase di intervento, che verrà consegnata all'appaltatore nelle medesime condizioni di cui sopra.

Al fine di consentire il regolare svolgimento delle attività sanitarie nei corpi attivi durante i lavori di cantiere, verranno realizzate idonee protezioni da polveri e percorsi protetti di accesso all'utenza esterna, operatori e pazienti. Laddove le attività di cantiere e sanitarie si dovessero sovrapporre, verrà puntualmente concordato l'accesso e/o la parziale sospensione delle attività ospedaliere per consentire la realizzazione degli interventi di messa a norma quali compartimentazioni antincendio, ecc.

Cantiere

La progettazione del cantiere è la cerniera tra la definizione tecnologica ed economica del progetto e la fase di esecuzione in sito del progetto stesso³⁸. Il cantiere, essendo un luogo prototipo per via delle specificità e dei vincoli di contesto del sito su cui sorge, necessita infatti di una progettazione che consiste nella definizione spaziale ma anche temporale delle sue fasi di vita, analizzando le modificazioni che subirà parallelamente alla sequenza delle lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'edificio. Benché il suo progetto spetti esclusivamente all'appaltatore, anche in fase progettuale è necessario considerare le specificità del contesto per formulare ipotesi tecniche plausibili e compatibili con le possibili modalità operative. Individuati i vincoli è possibile analizzare le fasi di cantiere, definite come un ciclo di lavoro fondamentale per la realizzazione di una parte importante dell'opera, ovvero un insieme di operazioni e lavorazioni che di fatto non comportano un sostanziale mutamento nell'organizzazione del cantiere³⁹. In prima istanza è quindi necessario individuare, per ogni lavorazione, la necessità di aree di stoccaggio o carico e scarico, postazioni di lavoro fisse, modifica della logistica di cantiere, allestimento di sistemi di protezione o di opere provvisorie. Analizzato il plausibile processo produttivo dell'intervento sarà quindi necessario esaminare il programma dei lavori, individuare le principali fasi di cantiere e prefigurare la collocazione spaziale e temporale delle operazioni, i soggetti coinvolti, le attrezzature utilizzate.

In riferimento all'Ospedale San Carlo Borromeo, si può affermare che il progetto non è influenzato da stringenti vincoli di cantiere. L'edificio in esame sorge infatti all'interno di un lotto recintato dotato di svariati ingressi, buona viabilità interna e ampie aree libere che possono essere usate come aree di stoccaggio, carico e scarico senza mai generare interferenze. Tali aree potranno dunque essere delimitate in maniera molto flessibile tramite opportune recinzioni di cantiere dotate di consono grado di permeabilità e introspezione.

Grazie alla ridondanza di accessi e percorsi sia interni che esterni all'edificio sarà possibile, in tutte le fasi, separare in modo netto i percorsi destinati agli utenti che devono usufruire delle

³⁸ Gottfried, A. & Di Giuda, G.M. 2011, *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna

³⁹ Ibid.

parti di edificio ancora in uso da quelli destinati agli addetti ai lavori. I bracci che compongono il monoblocco sorgono isolati fatta eccezione dei piani più bassi nei punti di raccordo agli altri edifici del complesso. È quindi possibile l'allestimento di opere provvisorie di ponteggio lungo tutto il perimetro dell'edificio. Non si sono individuati particolari vincoli di superficie inamovibili o preesistenze che potrebbero interferire con lo svolgimento dei lavori o con gli accessi al cantiere, né vincoli aerei (linee elettriche, illuminazioni sospese, ecc.) che potrebbero interferire con le movimentazioni aeree. Sarà quindi possibile l'utilizzo di qualsiasi tipo di appa-recchio di movimentazione aerea (argani, gru, ponteggi mobili, ecc.) e di traiettoria. Non vi è pericolo di cadute di masse verso l'interno del cantiere, in quanto l'edificio Monoblocco risulta essere più alto rispetto a quelli circostanti, mentre sarà ovviamente necessario l'allestimento di sistemi di sicurezza per la prevenzione della proiezione e caduta di masse dal cantiere verso l'esterno che può verificarsi durante lo svolgimento delle lavorazioni in prossimità del perimetro del fabbricato. Non si riscontra neppure il pericolo causato da sostanze inquinanti prodotte all'esterno del cantiere, mentre sarà di fondamentale importanza, per via della destinazione d'uso dell'edificio, il controllo dell'emissione di sostanze nocive e pericolose producibili durante l'esecuzione dei lavori, nonché di agenti inquinanti in genere quali polveri, rumore, vibrazioni, ecc. A tale fine sarà possibile l'adozione di apposite schermature interne o di facciata.

Tempistiche

Tra in numerosi vincoli, i tempi sono sicuramente importanti. La rapidità delle lavorazioni è infatti una delle caratteristiche più rilevanti di un intervento di riqualificazione: essa, infatti, tocca direttamente gli utenti in quanto determina la durata del disagio ad essi arrecato, sia esso un disturbo ambientale o il loro spostamento provvisorio.

La prima fase dei lavori di riqualificazione dell'edificio Monoblocco riguarda la ristrutturazione dei corpi D e C. La durata dei lavori è stata stimata nella progettazione preliminare pari 19 mesi, comprensiva delle fasi di collaudo tecnico che permettano la presa in consegna anticipata dei reparti ristrutturati. Sono successivamente previsti 3 mesi di sospensione del cantiere, durante i quali la stazione appaltante effettuerà i traslochi dei diversi reparti di degenza svuotando contestualmente le aree oggetto della seconda fase dell'intervento. La seconda fase dei lavori riguarda la ristrutturazione del corpo B per una durata stimata in 15 mesi e sono previsti altri 3 mesi di sospensione del cantiere. La terza fase dei lavori riguarda la ristrutturazione del corpo A, con una durata stimata in 15 mesi più 3. Sono infine da prevedersi 4 mesi per l'ultimazione del collaudo finale tecnico-amministrativo dell'intervento.

Si riporta di seguito uno stralcio del crono programma riguardante la ristrutturazione del corpo B, stimato sull'ipotesi di riqualificazione delle facciate tramite applicazione di un cappotto esterno.



L'analisi di strategie migliorative per l'intervento sulle facciate sarà quindi effettuata nel rispetto di tale vincolo temporale per la loro messa in opera.

Altri vincoli

Un ulteriore e importante vincolo per la riqualificazione delle facciate in esame è l'installazione delle nuove colonne impiantistiche a servizio dei piani ristrutturati. Le nuove colonne montanti per l'adduzione di acqua calda e fredda ai terminali di nuova costruzione e per lo scarico di acque piovane e acque nere dei nuovi servizi igienici, saranno collocate esternamente al fabbricato per due motivi. Il primo riguarda l'aspetto igienico: predisporre le colonne all'interno della pianta significherebbe realizzare in adiacenza alle camere di degenza nuovi cavedi che corrono dal piano sotterraneo fino alla copertura e che, se non realizzati a completa tenuta (con conseguente aumento dei costi), sarebbero poco compatibili con le esigenze di igiene e salubrità richieste agli ambienti per il rischio di infiltrazioni d'aria non trattata, pulviscolo, insetti o piccoli animali. Il secondo motivo riguarda invece gli aspetti manutentivi: il guasto degli impianti è infatti uno dei principali motivi degli interventi di manutenzione dell'ospedale, che tuttavia, anche nei casi più semplici, richiedono lo svuotamento dei locali e l'adozione di importanti precauzioni per prevenire la diffusione dei prodotti delle lavorazioni di ripristino come la polvere, forte causa di propagazione batterica e di infezioni. L'installazione di montanti esterni risolve quindi queste due problematiche, richiedendo d'altro canto l'adozione di soluzioni tecnologiche per il redadding della facciata che consentano una buona integrazione impiantistica sia dal punto di vista estetico sia da quello manutentivo.

Nella direzione della massima manutenibilità delle nuove componenti impiantistiche, si è anche voluto implementare la soluzione progettuale preliminare proponendo l'installazione di unità bagno prefabbricate al posto della realizzazione in opera dei servizi igienici. Essi sono forniti in cantiere in un unico elemento già completo di finiture, sanitari, rubinetterie, arredi, accessori e della predisposizione impiantistica che va solo allacciato alla rete dell'edificio e completato con una controparete di finitura.

Prevedendo cellule di dimensioni pari a 1,80 x 2,40 m, è possibile accostarne due in luce ai pilastri sia in direzione longitudinale che trasversale, in modo da poterle liberamente disporre

all'interno della pianta del piano ovunque sia previsto il gruppo servizi, pur rimanendo di dimensioni idonee all'uso da parte di persone su sedia a ruote. Con uno sfalsamento di soli 60 cm tra le due cellule è inoltre possibile ottenere un vano tecnico ispezionabile e raggiungere tutti i componenti impiantistici del bagno senza dover obbligatoriamente liberare la camera di degenza, demolire e ripristinare la parete. È inoltre possibile raggiungere altrettanto agevolmente le diramazioni delle colonne esterne in corrispondenza dell'innesto nell'edificio. Le tubazioni di scarico, che attraversano la soletta REI tramite collarini antincendio, saranno invece ispezionabili smontando il controsoffitto del piano sottostante.

Figura 43 -
Distribuzione del
gruppo servizi di due
camere di degenza

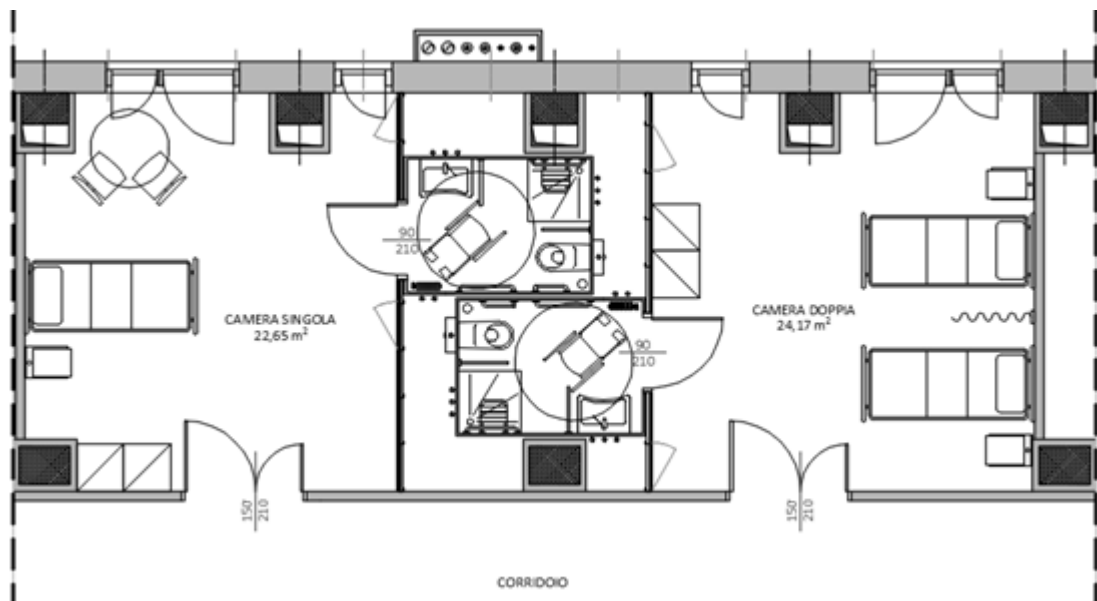


Figura 44 - Esempio
di unità bagno
prefabbricata
(www.sanika.it)



Oltre agli aspetti legati alla manutenzione, questa scelta porterà altri indubbi vantaggi quali:

- Avanzamento lavori più veloce (fino all'80% rispetto al bagno tradizionale);
- Leggerezza;
- Montaggio pulito;
- Pavimento in un unico elemento che garantisce l'impermeabilizzazione;
- Alta prestazione di isolamento acustico;
- Alto grado di igiene e pulitibilità;
- Un unico interlocutore per la realizzazione del bagno;
- Prezzi fissi garantiti alla chiusura del contratto.

Essi potranno essere forniti in un blocco unico o in singoli elementi da assemblare. Nel primo caso essi saranno sollevati per mezzo di gru fino al piano e movimentati su ruote al suo interno; potranno entrare nell'edificio attraverso la zona di collegamento tra i corpi A e B, dove sono presenti serramenti a tutt'altezza da rimuovere e i pannelli prefabbricati formano solo la veletta, oppure dalle zone di testa dove è prevista la realizzazione di un nuovo ascensore e saranno quindi demolite porzioni di facciata.



Figura 45 - Esempio dei due tipi di bagno prefabbricato (www.sanika.it)

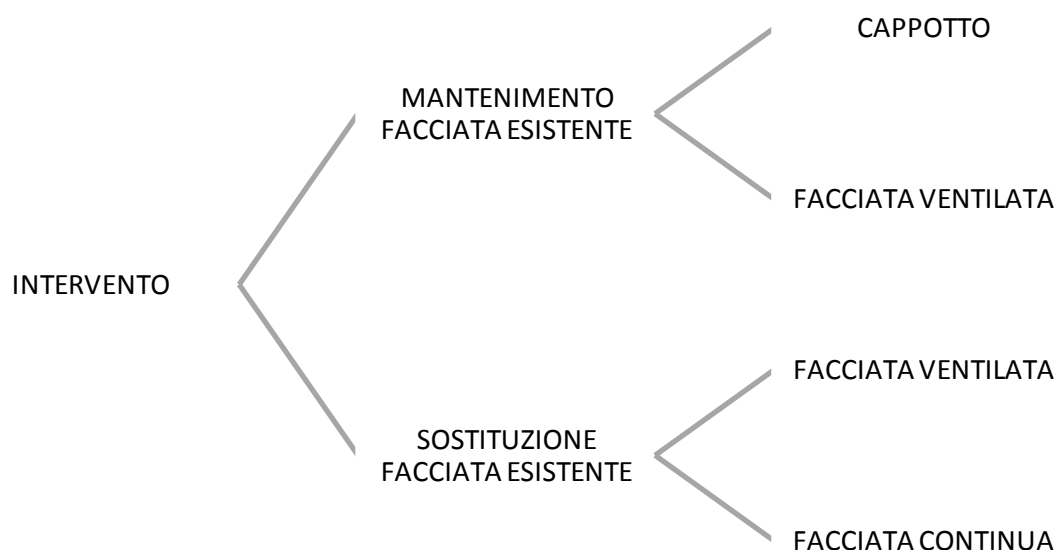
Affinché la quota del pavimento del bagno sia pari alla quota finita del pavimento della stanza, sarà necessaria la demolizione del massetto esistente in corrispondenza della superficie in pianta occupata dalla cellula. Prima del suo posizionamento sarà inoltre posata una guaina impermeabile di sicurezza raccordata allo scarico.

Essi saranno collegati alle colonne impiantistiche in facciata tramite derivazioni orizzontali che corrono all'intradosso del solaio soprastante (impianto idrico sanitario, impianto di riscaldamento) o all'intradosso del solaio sottostante (impianto di scarico), oltre che ai condotti aeraulici di ripresa che corrono nel controsoffitto del corridoio, come mostrato nelle tavole di dettaglio relative alle varie ipotesi progettuali.

4.3 Ipotesi di intervento

Vengono di seguito descritte e rappresentate le quattro ipotesi di intervento elaborate combinando le possibili strategie analizzate in relazione agli obiettivi e ai vincoli del progetto.

Si confrontano due approcci diversi al progetto di redadding: le prime due soluzioni prevedono di mantenere la chiusura esistente e agire su di essa per sovrapposizione di strati aggiuntivi (a esclusione della sostituzione dei serramenti), le ultime due soluzioni prevedono invece la demolizione della facciata esistente e il suo rifacimento completo. Relativamente alla tecnologia si porranno a confronto un cappotto, una facciata ventilata e una facciata continua a cellule prefabbricate (Tavole 08 e 09). Altre tipologie di intervento sono state valutate e scartate a seguito di alcune considerazioni di carattere generale: l'installazione di una controparete interna è stata esdusa per via delle scarse prestazioni termoigrometriche che fornisce, così come la strategia che prevede l'isolamento dell'intercapedine, poiché i pannelli prefabbricati di facciata sono dotati di controparete solo nella metà del parapetto; questi provvedimenti avrebbero risolto (parzialmente) solo alcune delle carenze prestazionali della parete esistente e sarebbero stati limitativi in relazione a un intervento di riqualificazione generale come quello in esame, che può e deve essere sfruttato come occasione per un redadding più efficace. L'applicazione di una doppia pelle sarebbe stata troppo onerosa dal punto di vista economico per via della notevole estensione della superficie da rivestire, così come un rivestimento fotovoltaico.



4.3.1 Ipotesi 01

4.3.1.1 Strategia

La prima soluzione analizzata prevede la combinazione di tre strategie: l'applicazione di un cappotto estemo, la sostituzione dei serramenti esistenti e l'installazione di nuove schermature solari.

4.3.1.2 Tecnologia

Per meglio comprendere le soluzioni descritte ci si riferisca alle sezioni tipo, ai dettagli di interfaccia e ai rendering rappresentati nelle Tavole 10, 11, 12 e 25.

Cappotto

Sarà realizzato tramite l'applicazione di uno strato di pannelli isolanti, incollati e tassellati, rifinito con intonaco plastico.

I pannelli isolanti saranno in polistirene espanso sinterizzato (EPS), per le sue buone caratteristiche di conducibilità termica, lavorabilità, basso costo e scarso assorbimento idrico. Avrà elevata stabilità dimensionale con un limite dello 0,2 % per scongiurare movimenti dei pannelli che causano elevate sollecitazioni sull'intonaco e sulle reti di armatura che possono quindi lesionarsi, basso assorbimento idrico con valore limite di 0,5 kg/m² (UNI EN 13163) al fine di evitare di aumentare la conducibilità termica del pannello ed elevata stabilità dimensionale secondo i limiti indicati in UNI EN 13499 per poter giustapporre correttamente i pannelli senza avere fessure fra gli uni e gli altri (e conseguenti ponti termici) e per garantire una superficie planare. Essi avranno la superficie esterna scabra per consentire un miglior aggrappo dell'intonaco.

Poiché la resistenza agli urti dell'EPS è piuttosto ridotta, la zoccolatura alla base dell'edificio sarà realizzata con isolante di maggiore densità o rinforzato corticalmente al fine di evitare punzonamenti provocati da atti di origine antropica, volontari o involontari.

I pannelli avranno spessore di 12 cm e saranno applicati dal basso verso l'alto, completamente accostati e sfalsati sia nei giunti verticali sia nei giunti d'angolo.

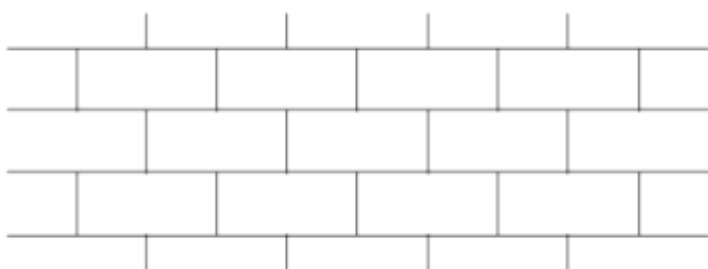


Figura 7

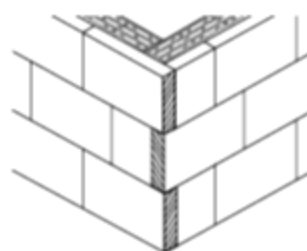


Figura 8

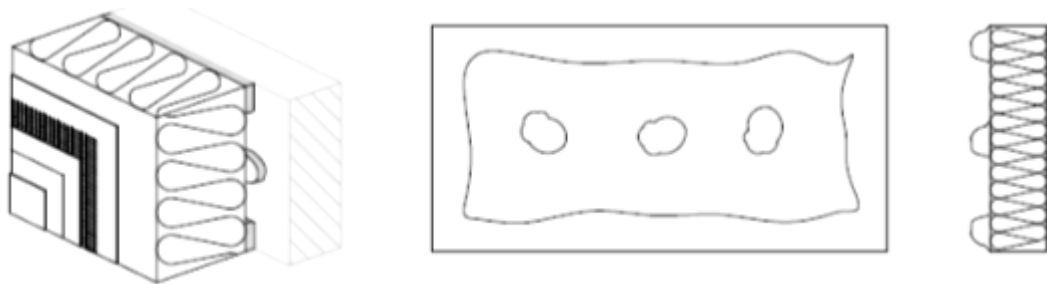
Isolante

Figura 46 - Sfalsamento dei giunti verticali e d'angolo tra i pannelli isolanti

Essi saranno sovrapposti ai pannelli prefabbricati di chiusura esistenti con fissaggio di tipo meccanico con adesivo supplementare, dove il carico è preso quasi completamente dai fissaggi meccanici, mentre il collante ha la funzione di collegamento (prendere la pressione del vento, contenere gli stati tensionali) ma soprattutto di compensazione (sp. 1 – 2 cm) per garantire la planarità della superficie; se manca, oltre che il difetto estetico, possono insorgere sforzi e tensioni generate dalle dilatazioni termiche causando fessurazioni e infiltrazioni.

L'incollaggio deve essere eseguito per punti e cordolo perimetrale con copertura del 40 % per evitare la formazione di moti convettivi d'aria tra lo strato isolante e il supporto murario (che potrebbero avvenire nel caso di incollaggio per soli punti) ma senza coprire di colla l'intera superficie del pannello per evitare che essa sbordi al momento della posa, rendendo difficoltoso il perfetto accostamento delle lastre e il controllo della planarità.

Figura 47 -
Incollaggio dei
pannelli isolanti per
punti e cordolo
perimetrale



Prima dell'incollaggio sarà necessario verificare l'idoneità della superficie che dovrà risultare priva di impurità, gravi irregolarità, superfici friabili e sfarinate, crepe, ecc. ed eventualmente trattarle per rimuovere il problema.

Figura 48 -
Trattamenti
superficiali per
elementi in
calcestruzzo o
materiale ceramico

| | Supporto | | |
|---|---|--|--|
| | Tipo | Stato | Trattamento |
| Muratura realizzata in: • Calcestruzzo posato in opera • Elementi in calcestruzzo prefabbricati • Calcestruzzo rivestito | | Polveroso | Spazzolare, lavaggio con getto d'acqua ad alta pressione ¹ , lasciar asciugare |
| | | Con incrostazioni | Scorstare e spazzolare |
| | | Residui di olii disaranti ed altri residui da cassero | Lavaggio ad alta pressione ¹ con un detergente adeguato, risciacquare con acqua pulita, lasciar asciugare |
| | | Efflorescenze ² | Grattare e spazzolare a secco |
| | | Sporco, grasso | Lavaggio ad alta pressione ¹ con un detergente adeguato, risciacquare con acqua pulita, lasciar asciugare |
| | | Residui di intonaco e creste | Scorstare |
| | | Irregolarità, buchi | Livellare con una malta idonea in una fase di lavoro separata (osservare i tempi di essiccamento) |
| | | Starinato, instabile, umido ³ | Scorstare, sostituire, (rispettare i tempi di essiccamento) lasciare asciugare |
| | Manca di aderenza tra pannelli o mattoni di rivestimento e nucleo di calcestruzzo | Realizzare un supporto stabile con incollaggio e/o ancoraggio prima dell'applicazione del sistema ETICS | |
| | Fughe superiori a 5 mm tra i pannelli o mattoni | Rinforzare le fughe con malta sementata, le fughe di raccordo riempite con schiuma devono essere preventivamente raschiate | |

| | Supporto | | |
|-----------------------|----------|--|---|
| | Tipo | Stato | Trattamento |
| Rivestimento ceramico | | Polveroso, sporco | Apportare, lavare, lasciare asciugare |
| | | Buchi, cavità | Eliminare buchi o cavità e riempire |
| | | Manca di adesione (es. su superfici lisce o vetrificate) | Creazione di un supporto idoneo con applicazione di un primer |
| | | Irregolarità | Livellare |

I tasselli meccanici eviteranno invece che l'isolante sia sottoposto a strappo o delaminazione a causa dell'azione di depressione del vento, delle tensioni dell'intonaco sottoposto a gelo e disgelo o dei forti sbalzi termici (dovuti ad esempio dall'irraggiamento solare in un giorno estivo, seguito da un temporale) che ne causano dilatazioni elevate.

I tasselli saranno del tipo idoneo al supporto, interamente in plastica, o con chiodo in acciaio zincato e testa in materiale plastico, o ancora con chiodo in acciaio inossidabile e testa in materiale plastico, in funzione delle verifiche di resistenza. In ogni caso al fine di ridurre il ponte termico da essi generato e di prevenire la formazione di segni in facciata per via delle diverse caratteristiche dei materiali al di sotto dell'intonaco, sarà effettuato un "ca rotaggio" di alcuni centimetri sulla superficie dell'isolante, posizionato il tassello e ricoperto di nuovo il tassello con un nuovo disco di materiale termoisolante.

Il fissaggio avverrà al centro del pannello ma anche sui bordi, per evitare la formazione delle "orecchie", deformazioni differenziali causate dal forte gradiente termico e tra la superficie esterna e interna del pannello.

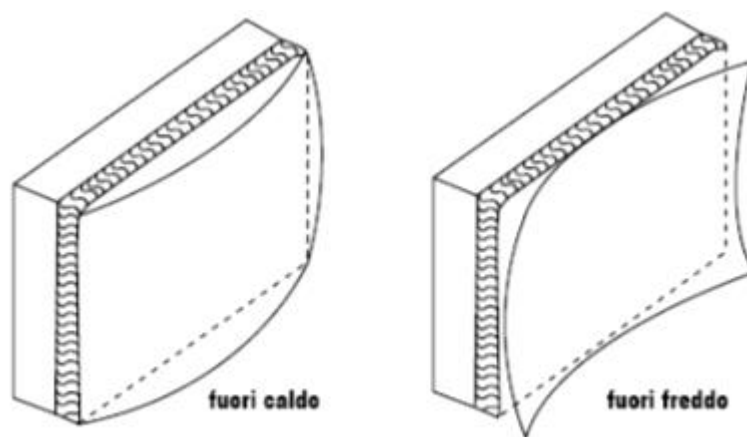


Figura 49 - Deformazioni differenziali del pannello termoisolante causate dalle sollecitazioni termiche

Il numero e lo schema dei tasselli dovrà essere funzione della velocità del vento e dell'altezza dell'edificio.

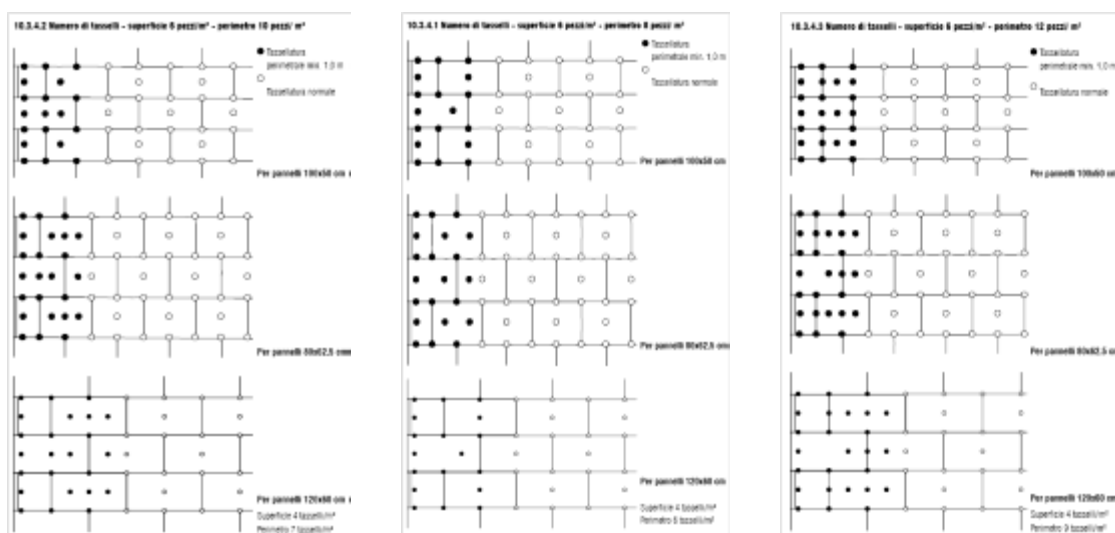


Figura 50 - Schemi di fissaggio a seconda del numero di tasselli per m²

La superficie esterna sarà rifinita con intonaco plastico composto da una prima mano di pasta a base di cemento, armata in fibra di vetro, una seconda mano di pasta a base di resine e infine trattato con primer e tinteggiato, per uno spessore totale di 4 – 5 mm. Esso dovrà essere caratterizzato da bassi valori di assorbimento idrico, al massimo pari a $0,5 \text{ kg/m}^2$ per evitare assorbimento d'acqua in occasione di forti piogge ma anche in occasione di fenomeni di condensazione superficiale. Sarà tuttavia caratterizzato da buona permeabilità al vapore acqueo per permettere all'edificio di smaltire l'umidità in esso prodotta tramite l'involucro e ridurre il rischio condensativo. La permeabilità al vapore minima prevista in normativa è pari, per un sistema con elemento termoisolante in polistirene, a $20 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (UNI EN 13499). L'intonaco dovrà inoltre possedere una sufficiente resistenza agli urti e resistenza al punzonamento, fornite essenzialmente dal tipo di armatura, poiché un deterioramento dello strato di rivestimento comporterebbe infiltrazioni di acqua all'interfaccia con l'elemento termoisolante e conseguenti possibili distacchi. Dovrà inoltre possedere buone caratteristiche di adesione, i cui valori minimi sono specificati nella guida ETAG 004, pari a $0,08 \text{ N/mm}^2$. La texture sarà caratterizzata da una rugosità medio-bassa che, nonostante potrebbe far apparire in modo più rilevante eventuali irregolarità di planarità, trattiene in modo minore le polveri consentendo una più ridotta manutenzione. La scelta del colore con cui viene tinteggiato un cappotto non ha valenza solo estetica ma è anche determinante per garantire una lunga durata al sistema. Il colore di una facciata ha un rapporto diretto con la sua temperatura superficiale: più una facciata è scura (vicina al nero), maggiore sarà la sua temperatura superficiale; più una facciata sarà di colore chiaro (vicina al bianco), minore sarà la sua temperatura superficiale. Nel caso di un sistema a cappotto la maggior parte dell'energia incidente sulla superficie viene assorbita dallo strato di rivestimento a causa dell'elemento termoisolante posto subito dietro che riduce il passaggio di energia. Il surriscaldamento potrebbe provocare criticità in termini di forti dilatazioni dello strato di rivestimento e dell'elemento termoisolante, causando di conseguenza lesioni e micro fessurazioni con conseguenti possibili infiltrazioni e distacchi. Si sceglie quindi di tinteggiare le facciate con colori chiari, con un indice di assorbimento $\alpha \leq 0,6$: in pratica questa limitazione esclude l'utilizzo solo di coloriture particolarmente scure o intense e lascia quindi una vasta scelta di tinte. Il rivestimento continuo di finitura, deve inoltre rispondere a precise e severe norme di resistenza a cicli misti di surriscaldamento-bagnatura-gelo, di resistenze meccaniche e allo strappo. La tinteggiatura dovrà inoltre possedere bassa idrosolubilità, buona stabilità ai raggi UV, bassa tossicità ed ecotossicità. La finitura superficiale dovrà inoltre possedere buona resistenza agli agenti biologici, caratteristica molto importante per un sistema a cappotto proprio per la sua tipologia di funzionamento: lo strato di rivestimento esterno rimane maggiormente bagnato rispetto ad un intonaco realizzato su una muratura in quanto esso è applicato sul pannello termoisolante che ha un basso assorbimento idrico e temperature superficiali più basse; si hanno quindi condizioni sotto le quali la crescita di funghi e alghe è maggiormente facilitata rispetto a quella di un normale intonaco su muratura. Per prevenire lo sviluppo è necessario che nel prodotto utilizzato siano presenti biocidi ad azione fungicida e

biocida. Operativamente, sarà importante la realizzazione di questo strato nelle idonee condizioni climatiche: durante l'intera fase di lavorazione, asciugatura e indurimento, la temperatura ambientale, del supporto e dei materiali deve essere almeno pari a 5 °C e mai superiore a 30 °C; andranno evitate le lavorazioni in presenza di vento e irraggiamento solare diretto, pioggia e nebbia che hanno effetti negativi sull'asciugatura e sulla presa.

Saranno poi previsti e installati tutti gli elementi speciali quali profili di partenza e di chiusura, profili d'angolo, elementi rompigoccia, rinforzi localizzati della rete d'armatura, profili di raccordo dell'intonaco con altri materiali, elementi per coprire i giunti di dilatazione, ecc.

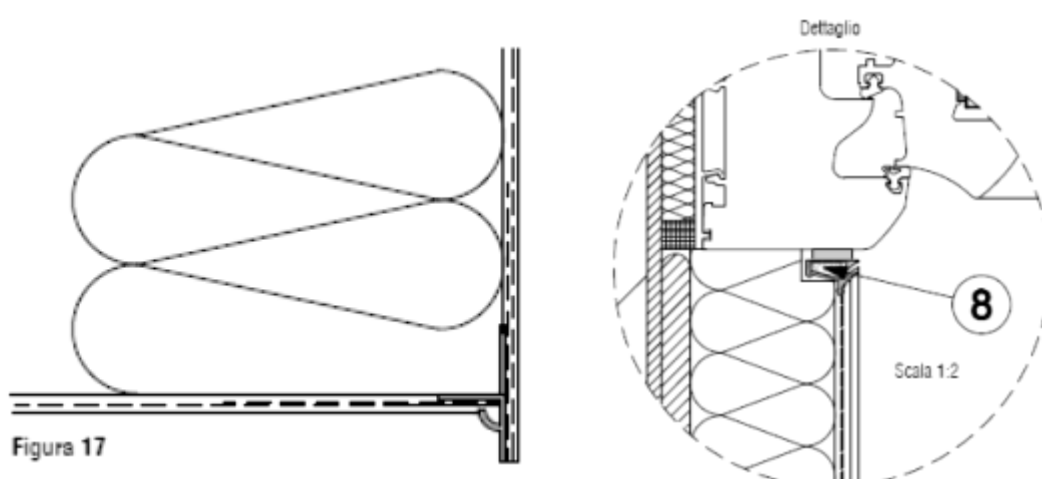


Figura 51 - Dettaglio rompigoccia e di interfaccia dell'intonaco plastico con altri materiali

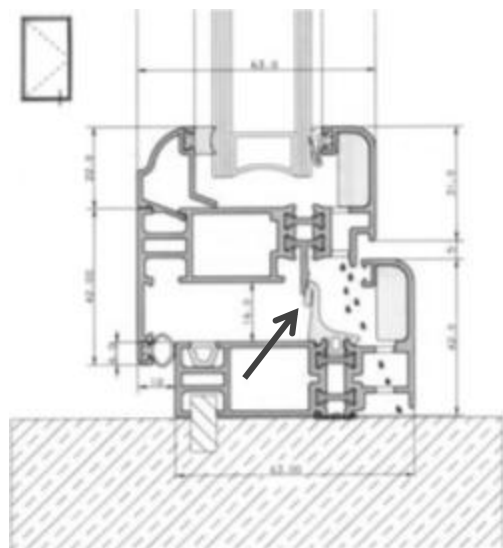
Internamente la stratigrafia sarà completata nella parte di pannello che funge da parapetto tramite il rivestimento della chiusura con una rasatura cementizia di regolarizzazione spessa 0,5 cm e un rivestimento vinilico di spessore pari a 1,5 mm da raccordare a quello del pavimento tramite sguscia. Sul fronte delle degenze, la parte di pannello che crea la veletta sarà invece isolata anche dall'interno poiché la mensola di protezione del serramento che sporge a 45° rende impossibile il raccordo dell'isolamento termico esterno col serramento, rappresentando un notevole ponte termico. L'isolamento sarà effettuato con materassini di lana di roccia aventi densità medio-bassa in modo da potersi adattare alla conformazione geometrica del vano in cui saranno installati; essi saranno tenuti in posizione tramite solo fissaggio meccanico. Il lato servizi presenta invece una conformazione geometrica che consente di dare continuità all'isolamento, a costo però di una notevole difficoltà operativa e di un risultato di dubbia affidabilità.

Serramenti

I serramenti esistenti saranno sostituiti con nuovi serramenti, a nastro sul lato degenze, rettangolari sul lato servizi. Essi avranno campiture apribili con anta a battente interno (per facilitare la pulizia e la manutenzione), campiture fisse vetrate che fungono da parapetto (la quota dei parapetti esistenti risulta fuori norma) e campiture fisse opache. Il telaio sarà

realizzato con profili estrusi in lega di alluminio e trattati superficialmente tramite ossidazione anodica. La larghezza del telaio fisso sarà di 70 mm mentre l'anta a sommonte (all'interno) misurerà 80 mm. Essi saranno dotati di taglio termico: il collegamento tra la parte interna e quella esterna dei profili sarà realizzato in modo continuo e definitivo mediante listelli di materiale sintetico termicamente isolante (poliammide). La tenuta sarà garantita con tecnologia a giunto aperto che è più affidabile rispetto a una tecnologia a giunto chiuso: quest'ultima è infatti rischiosa poiché se l'anta mobile dovesse danneggiarsi deformandosi oppure se le guarnizioni si tagliassero o invecchiassero senza essere correttamente mantenute, si perderebbe la garanzia di tenuta nei confronti di acqua e aria; al contrario, il serramento a giunto aperto garantisce migliori classi prestazionali poiché l'acqua, sotto l'azione combinata di pioggia e vento, entra in una camera di compensazione senza guarnizioni attraverso il giunto aperto su tutto il perimetro del serramento, perde energia cinetica, viene bloccata da una guarnizione a becco e defluisce attraverso dei fori di scarico quando la pulsazione degli agenti esterni finisce; la guarnizione a becco funziona come un diaframma: essa viene caricata quando la finestra è chiusa e ulteriormente compressa dall'azione del vento, assecondando la pressione nella camera di compensazione. In questo tipo di serramenti è comunque presente una seconda camera di sicurezza con una seconda guarnizione, all'interno della quale l'acqua entrata se ne va per evaporazione. Dai traversi inferiori dei serramenti sarà consentito lo scarico verso l'esterno dell'acqua meteorica evitando reflussi verso l'interno tramite asole di drenaggio in numero e dimensioni sufficienti, protette esternamente con apposite condiglie, che nel caso di zone particolarmente ventose, mentre in corrispondenza di specchiature fisse, saranno dotate di membrana.

Figura 52 - Esempio di serramento a giunto aperto



Le vetrazioni saranno costituite da vetrocamera 4-16-33.1 con profilo distanziatore in PVC, riempita con gas argon e dotata di coating bassoemissivo in faccia 3 che permette alla radiazione solare di entrare attraverso il vetro ma allo stesso tempo impedisce al calore dell'ambiente interno di uscire; ciò consente di ridurre i consumi energetici e di garantire che

la temperatura superficiale della lastra interna sia maggiore della temperatura di rugiada e il più prossima possibile a quella dell'ambiente, per evitare fenomeni condensativi e/o asimmetrie radiative.

Le specchiature opache saranno invece realizzate tramite pannelli in lana di roccia ad alta densità con finitura superficiale interna ed esterna costituita da una lamiera in acciaio inox prevemiciata.

Gli accessori di movimentazione dovranno essere scelti in funzione delle dimensioni e del peso dell'anta mentre gli accessori di manovra saranno costituiti, nelle camere di degenza, da maniglie rimovibili utilizzabili solo dal personale infermieristico.

Le guarnizioni cingivetro saranno in elastomero (EPDM) e compenseranno le sensibili differenze di spessore, inevitabili nelle lastre di vetrocamera, garantendo, contemporaneamente, una corretta pressione di lavoro perimetrale. Esse saranno dotate di alette che si estenderanno fino alla base della sede del vetro in modo da formare più camere. La guarnizione complementare di tenuta, anch'essa in elastomero (EPDM), avrà grandi dimensioni. Essa dovrà essere inserita in una sede ricavata sul listello isolante in modo da garantire un accoppiamento ottimale ed avere la battuta sul listello isolante dell'anta.

I profili di ferma vetro saranno inseriti mediante bloccaggi in plastica agganciati al ferma vetro stesso. Essi saranno sagomati in modo tale da supportare a tutta altezza la guarnizione cingivetro interna per consentire una pressione ottimale sulla lastra di vetro.

I serramenti saranno posati in opera su un falso telaio in acciaio zincato fissato alla chiusura esistente tramite idonei tasselli, ben isolato dall'esterno al fine di evitare la formazione di un ponte termico e il conseguente rischio di condensazione superficiale del vapore acqueo presente in ambiente. I giunti necessari alle tolleranze di posa e necessari per assorbire movimenti differenziali di natura termica e strutturale del componente saranno riempiti con schiuma poliuretana per garantire la continuità di tenuta, così come tutti i punti di discontinuità tra il serramento e la chiusura opaca saranno sigillati con apposito nastro, oppure a mezzo di cordone fondogiunto in poliuretano espanso e sigillante.

I serramenti saranno quindi completati con coprifili e davanzali realizzati per mezzo di scossaline in alluminio prevemiciato di spessore minimo pari a 1 mm, sorrette da apposite staffe in acciaio inossidabile di spessore minimo pari a 2 mm. Il collegamento tra la scossalina del davanzale e il serramento sarà effettuato con una forchetta posta a un livello più basso rispetto ai fori di scolo dell'acqua del giunto aperto, per poterla ricevere e portare all'esterno dell'edificio. Il davanzale e il cielino avranno bordi che risvoltano anche lateralmente per prevenire indesiderate percolazioni d'acqua.

Schermature solari

Esternamente ai serramenti saranno installate delle schermature solari motorizzate del tipo a veneziana impacchettabile con lamelle orientabili. La scelta è stata determinata dall'esigenza di controllare i flussi luminosi ed energetici incidenti sulle chiusure trasparenti in modo adattabile alle condizioni climatiche e alle esigenze degli utenti, senza tuttavia esigere la completa oscurabilità degli ambienti: nelle stanze di degenza ospedaliera anche di notte non vi è mai buio completo in quanto le porte delle camere rimangono sempre aperte per il transito degli infermieri e la sorveglianza dei pazienti. L'eliminazione del cassonetto dell'avvolgibile garantisce inoltre un maggior isolamento acustico e migliori condizioni igieniche, non avendo infiltrazioni d'aria incontrollate tra l'esterno e l'interno degli ambienti.

Le schermature saranno realizzate con profili estrusi in lega di alluminio di larghezza pari a 50 mm e spessore pari a 1 mm, bordati su entrambi i lati e trattati superficialmente tramite ossidazione anodica. Le lamelle saranno munite di guarnizioni in materiale sintetico su un bordo, per evitare qualsiasi rumorosità, dovranno garantire una buona sovrapposizione, arresto e orientamento delle a qualsiasi altezza, nonché discesa e risalita con passo costante.

Esse saranno corredate da guide laterali autoportanti in alluminio estruso applicate ai montanti fissi dei serramenti, dotate di inserti in materiale sintetico insonorizzante e resistente alle intemperie.

L'azionamento sarà automatizzato con pulsantiera a comando elettrico tramite motoriduttore inserito davanti al serramento e protetto dalle intemperie con una scossalina in alluminio preverniciato di spessore minimo pari a 1 mm sorretta da apposite staffe in acciaio inossidabile di spessore minimo pari a 2 mm. La catena di sollevamento e quella di comando dovranno essere in acciaio. I comandi consentiranno la manovra (apertura, chiusure e rotazione delle lamelle) in modo indipendente per ogni serramento.

Figura 53 – Esempio di schermature solari a veneziana



Colonne impiantistiche

La natura del sistema a cappotto non si presta all'integrazione impiantistica. Al fine di mascherare le colonne montanti che correranno in facciata sarà quindi necessario prevedere l'applicazione di profili in alluminio preverniciato a vitati su appositi connettori predisposti durante la fase di posa dello strato isolante, oppure l'applicazione di porzioni di parete ventilata costituita da staffe, montanti ed elementi di rivestimento smontabili in sequenza libera.

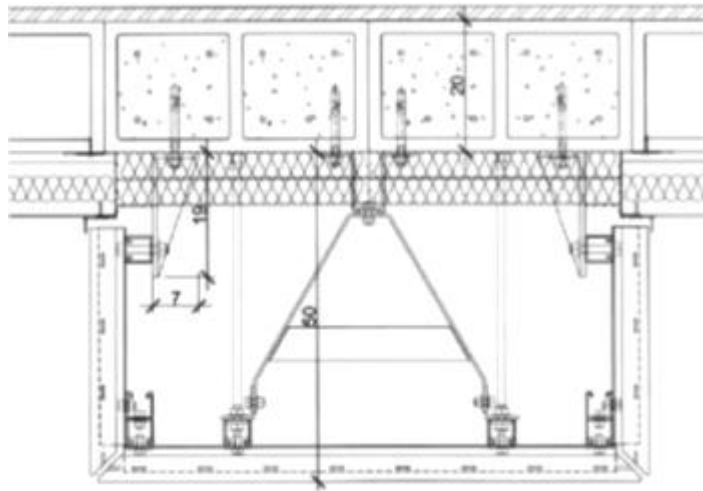


Figura 54 - Esempio di colonna montante a facciata ventilata per l'integrazione impiantistica dell'Ospedale Niguarda di Milano

4.3.1.3 Prestazioni

Resistenza meccanica

La resistenza meccanica della chiusura opaca rimane affidata alla stratigrafia esistente. La soluzione di redadding, tutta via, non comporta significativi aumenti di carico. L'applicazione di uno strato di EPS dal peso specifico 30 kg/m^3 in spessori di 12 cm sul lato esterno significa aggiungere soli $3,6 \text{ kg/m}^2$ che assieme ai 6 kg/m^2 di intonaco plastico ($1200 \text{ kg/m}^3 * 0,005 \text{ m}$) e ai $10,8 \text{ kg/m}^2$ di rasatura cementizia e rivestimento vinilico ($1800 \text{ kg/m}^3 * 0,005 \text{ m} + 1200 \text{ kg/m}^3 * 0,0015 \text{ m}$) non supera complessivamente i 20 kg/m^2 . Anche la sostituzione dei serramenti non causa particolari aggravii di carico, rappresentati principalmente dalla nuova tipologia di vetratura (peso dello strato di vetro aggiuntivo: $2400 \text{ kg/m}^3 * 0,008 \text{ m} = 19,2 \text{ kg/m}^2$). Le verifiche, oltre alle sollecitazioni statiche indotte alla struttura dai nuovi carichi, riguarderanno anche le verifiche di resistenza del sistema di ancoraggio dell'elemento termoisolante alle sollecitazioni dinamiche del vento (deformazione in pressione e strappo in depressione). Bisognerà verificare sia la resistenza del chiodo dei tasselli, sia la resistenza allo sfilamento della muratura in cui sono inseriti.

Permeabilità all'aria e tenuta all'acqua

Per quanto concerne le parti di chiusura opaca, tali requisiti non sono critici in quanto assolti completamente dallo strato di rivestimento del sistema a cappotto. Si consideri inoltre che esso viene applicato su una chiusura esistente che assolve ai questi requisiti anche prima dell'intervento di redadding.

I serramenti utilizzati saranno invece di classe di permeabilità all'aria 3 e di classe di tenuta all'acqua 7A, prestazioni che possono essere ad esempio raggiunte tramite l'installazione di un serramento Schuco piuttosto basilico quale il modello AWS 70, che garantisce permeabilità all'aria di classe 3, tenuta all'acqua di classe 9A e resistenza al vento di classe C4.

Isolamento termico

Il requisito di isolamento termico viene assolto dal comportamento del sistema a cappotto, con una forte componente dell'elemento termoisolante. Il mantenimento del pacchetto di chiusura esistente al suo interno consente inoltre di conservare una discreta massa utile ad avere un buon valore di inerzia termica.

Si ripetono i calcoli illustrati nel paragrafo riguardante le prestazioni residue della chiusura allo stato di fatto, utilizzando stavolta i dati climatici di progetto che prevedono l'utilizzo di un valore costante di umidità relativa φ , poiché con l'intervento di riqualificazione sarà installato un sistema di ventilazione meccanica per il controllo delle condizioni dell'umidità in ambiente.

Per prevedere un margine di sicurezza, si aggiunge 0,05 all'umidità relativa.⁴⁰ I valori di pressione interna si calcolano quindi a ritroso utilizzando la pressione di saturazione dell'aria interna e l'umidità relativa interna.

| mese | ϑ_e [°C] | $p_{s,e}$ [Pa] | p_e [Pa] | φ_e [-] | ϑ_i [°C] | $p_{s,i}$ [Pa] | p_i [Pa] | φ_i [-] |
|------|-----------------------|-------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| gen | 1,7 | 690 | 590 | 0,85 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |
| feb | 4,2 | 824 | 645 | 0,78 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |
| mar | 9,2 | 1163 | 943 | 0,81 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |
| apr | 14,0 | 1598 | 1163 | 0,73 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| mag | 17,9 | 2050 | 1326 | 0,65 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| giu | 22,5 | 2724 | 1840 | 0,68 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| lug | 25,1 | 3185 | 1736 | 0,55 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| ago | 24,1 | 3000 | 2012 | 0,67 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| set | 20,4 | 2395 | 1921 | 0,80 | 26 | 3359 | 1848 | 0,55 |
| ott | 14,0 | 1598 | 1412 | 0,88 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |
| nov | 7,9 | 1065 | 958 | 0,90 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |
| dic | 3,1 | 763 | 671 | 0,88 | 22 | 2642 | 1189 | 0,45 |

Le condizioni di progetto da verificare saranno in questo caso:

| SDP | | | | | | | |
|------|---------------|------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| mese | p_i [Pa] | $\varphi_{s,i}$ [-] | $p_{s,i}$ [Pa] | $\vartheta_{s,i,min}$ [°C] | ϑ_e [°C] | ϑ_i [°C] | $f_{R_{s,i,min}}$ [-] |
| gen | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 1,7 | 22 | 0,55 |
| feb | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 4,2 | 22 | 0,49 |
| mar | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 9,2 | 22 | 0,29 |
| apr | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 14,0 | 26 | 0,48 |
| mag | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 17,9 | 26 | 0,24 |
| giu | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 22,5 | 26 | -0,77 |
| lug | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 25,1 | 26 | -5,88 |
| ago | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 24,1 | 26 | -2,26 |
| set | 1848 | 0,80 | 2310 | 19,8 | 20,4 | 26 | -0,11 |
| ott | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 14,0 | 22 | -0,14 |
| nov | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 7,9 | 22 | 0,35 |
| dic | 1189 | 0,80 | 1486 | 12,9 | 3,1 | 22 | 0,52 |

I materiali aggiuntivi saranno caratterizzati dalle seguenti proprietà:

| PROPRIETÀ DEI MATERIALI | | | | | | | |
|--------------------------|-----------|---------------------------------|--|---|-----------|--|---|
| materiale | fonte | densità [kg/m ³] | conducibilità a termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | fonte | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità a al vapore δ [kg/(m s Pa)] |
| intonaco plastico | UNI 10351 | 1200 | 0,58 | - | UNI 10456 | 10 | - |
| malta di calce e cemento | UNI 10351 | 1800 | 0,9 | - | UNI 10456 | 10 | - |
| rivestimento vinilico | UNI 10456 | 1700 | 0,25 | - | UNI 10456 | 10000 | - |

⁴⁰ L'introduzione di un fattore 1,10 (o un margine di 0,05 all'RH) è destinata ad ovviare alle inaccurazie del metodo. Il metodo di calcolo descritto nella presente norma è riferito a condizioni stazionarie. In realtà, tuttavia, le variazioni di temperatura dell'aria esterna, della radiazione solare, l'inerzia igroscopica e la regolazione dinamica del riscaldamento possono influenzare le condizioni di umidità relativa in corrispondenza delle superfici. Questo è in particolare il caso di un'area di un ponte termico costituita da materiali da costruzione con un'elevata inerzia termica. Il fattore non tiene conto del comportamento dell'utenza, che può avere effetti significativi sulla ventilazione.

Sotto queste ipotesi, la nuova stratigrafia raggiungerà un valore di trasmittanza pari a 0,18 W/m²K, circa la metà del valore limite previsto da normativa.

| n | conducibilità termica | resistenza termica | resistenza termica cumulata |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | λ [W/(mK)] | R [m ² K/W] | R' [m ² K/W] |
| esterno | | 0,04 | 0,04 |
| 1 | 0,58 | 0,01 | 0,05 |
| 2 | 0,034 | 3,53 | 3,58 |
| 3 | - | 0,02 | 3,60 |
| 4 | 1,66 | 0,02 | 3,62 |
| 5 | 0,11 | 0,36 | 3,99 |
| 6 | - | 0,099 | 4,09 |
| 7 | 0,034 | 0,88 | 4,97 |
| 8 | - | 0,08 | 5,05 |
| 9 | 0,40 | 0,2 | 5,25 |
| 10 | 0,70 | 0,02 | 5,27 |
| 11 | 0,90 | 0,01 | 5,27 |
| 12 | 0,25 | 0,01 | 5,28 |
| interno | | 0,25 | 5,53 |
| totale | | 5,53 | |
| densità di flusso | trasmittanza | trasmittanza limite | sp. isolante da |
| φ [W/m ²] | U [W/(m ² K)] | J_{lim} [W/(m ² K)] | s_{min} [m] |
| 3,67 | 0,18 | 0,34 | -0,09 |

I serramenti avranno trasmittanza termica complessiva $U < 2,2$ W/m²K. Per il calcolo della prestazione termica dei serramenti in progetto si segue la procedura di calcolo col metodo numerico per telai indicata dalla UNI EN ISO 10077-2:2004 – “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure. Calcolo della trasmittanza termica. Parte 2: Metodo numerico per i telai”. Esso prevede che venga eseguita tramite software agli elementi finiti come *LBLN – Therm*. La modellazione consiste innanzitutto nella semplificazione del nodo al fine di eliminare tutti gli elementi che non influiscono direttamente sulla conduzione di calore (ad esempio avvolgibili, scossaline metalliche sottili, elementi puntuali come viti, tasselli, geometrie più piccole di 2 mm, ecc.) e schematizzando tutte le giunzioni con spigoli a 90°, più facilmente riconoscibili dal software per la creazione della mesh di calcolo. Si assegnano poi i valori di conducibilità termica ai vari materiali che compongono la soluzione tecnica, i valori di emissività delle superfici, le condizioni al contorno e si adottano opportune semplificazioni per la modellazione del comportamento del vetrocamera e delle cavità. Si calcola il valore U_g di trasmittanza del vetrocamera tramite la UNI 10077-1:2007 – “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure. Calcolo della trasmittanza termica. Parte 1: generalità” oppure tramite software tipo Guardian Configurator. Per tenere conto degli effetti sul flusso di calore che hanno i coating non modellabili col software, si rappresenta la cavità del vetrocamera come uno strato di materiale solido avente una conducibilità termica equivalente λ_{eq} tale da garantire all'intero vetrocamera lo stesso valore di trasmittanza calcolato. Si assegnano alle superfici interne ed esterne le condizioni al contorno in accordo alle temperature di progetto e ai valori di resistenza superficiale tratti dalla UNI EN ISO 6946:2008. Si assegnano inoltre le proprietà per

consentire al software di calcolare separatamente il flusso passante per il telaio e per il vetrocamera, e quindi restituire separatamente i valori di trasmittanza.

La norma prevede di calcolare inizialmente la trasmittanza di una sezione di telaio sostituendo al vetrocamera un pannello isolante di conducibilità termica nota λ pari a 0,035 W/mK. Le caratteristiche geometriche sono prese in accordo a quanto prescritto dalla norma.

La trasmittanza termica della sezione di telaio è calcolata tramite il bilancio di flusso termico: il flusso che passa attraverso l'intero elemento composto da telaio + pannello, ridotto del flusso che passa attraverso il solo pannello, risulta essere il flusso che passa attraverso il solo telaio ed è possibile ricavare di conseguenza la trasmittanza.

Successivamente si reinserisce il vetrocamera per calcolare la trasmittanza termica lineare associata al ponte termico che si crea nella giunzione tra il telaio e il vetrocamera. Infatti la trasmittanza termica del vetro U_g è applicabile alla zona centrale del vetro e non include l'effetto sul perimetro del distanziatore. Anche la trasmittanza termica del telaio U_f è applicabile in assenza del vetro. La trasmittanza termica lineare Ψ descrive il flusso di calore aggiuntivo causato dall'interazione del telaio col vetro, includendo l'effetto del distanziatore.

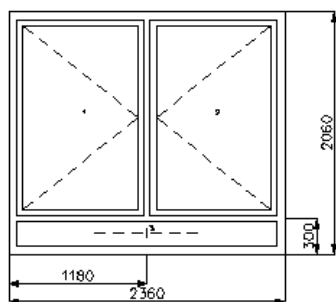
Anche la trasmittanza termica lineare si calcola quindi tramite un bilancio di flusso termico, sottraendo al flusso totale passante per l'elemento il flusso passante per il solo telaio e quello passante per il solo vetro, ottenendo il flusso di calore che passa per via del ponte termico. Per avere conferma dei risultati, a questo punto si possono confrontare i valori di trasmittanza termica lineare ottenuti col software con quelli indicati dalla UNI EN ISO 10077-1:2007.

Si calcolano infine i valori di trasmittanza termica dell'intero serramento, tenendo in considerazione le dimensioni geometriche:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \psi_g \cdot L_g}{A_g + A_f} = \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Avendo scelto di utilizzare nella progettazione una facciata Schuco, per brevità se ne calcola la trasmittanza con l'apposito software Schuco U-Cal fornito dalla casa produttrice, che rispetta la procedura appena esposta. L'esito dimostra che il valore limite è facilmente raggiungibile tramite l'installazione di un serramento base come il modello AWS 70. Infatti, considerando la sostituzione di un serramento della facciata degenze, sono state inserite le specifiche geometriche, dimensionali e relative ai materiali costituenti il telaio e la vetratura, ottenendo un valore nominale di trasmittanza termica di 1,6 W/m²K.

Figura 55 –
Determinazione della
trasmissione termica
del serramento col
software U-Cal



| 6. Complessivo | |
|---|--------------------------|
| Superficie profilo Af | 1.354 m ² |
| Valore U profilo Uf (Pesi con diverse superfici di profilo) | 2.2 W/(m ² K) |
| Superficie vetro + superficie pannello (Ag+Ap) | 3.508 m ² |
| Valore U vetro (Ug) / pannello (Up) | 1.1 W/(m ² K) |
| Lunghezza bordo vetro + bordo pannello (Lg+Lp) | 15.002 m |
| Valore Psi | 0.080 W/(mK) |
| Lunghezza bordo di collegamento alla muratura (L) | 8.840 m |
| Superficie riferita al telaio | 28 % |
| Somma delle perdite di calore | 7.98 W/K |
| Superficie complessiva | 4.862 m ² |
| <hr/> | |
| Coefficiente di trasmittanza termica Uw (Valore nominale) | 1.6 W/(m ² K) |

Controllo della condensazione

Eseguendo nuovamente le verifiche di condensazione superficiale della sezione corrente della parete completa di rivestimento a cappotto, appare evidente come lo strato di isolante aggiuntivo posizionato esternamente alla stratigrafia esistente riduca drasticamente la dispersione di calore e mantenga più elevata la temperatura degli elementi al suo interno.

La superficie interna non risentirà quindi del rischio di condensazione superficiale nemmeno nel mese più freddo dell'anno. Anche il rischio di condensazione interstiziale è scongiurato grazie all'innalzamento del profilo di temperatura interno alla parete e al contemporaneo freno alla diffusione del vapore che offre il raccordo a parete della finitura vinilica. Le linee che rappresentano il profilo della pressione di vapore e della pressione di vapore saturo all'interno della stratigrafia si allontanano, sovrapponendosi esclusivamente a gennaio sulla superficie di contatto tra l'isolante e l'intonaco plastico (Scheda 06).

Il verificarsi di tale fenomeno, nonostante avvenga solo nel mese più freddo dell'anno, non è tuttavia da sottovalutarsi: la concomitanza di acqua nella zona più fredda della parete con basse temperature dell'aria esterna potrebbero infatti causare cicli di gelo e disgelo che provocherebbero a lungo andare il rigonfiamento e il distacco dell'intonaco.

Inoltre tale verifica è valida per la sezione corrente della maggiore porzione di facciata opaca, ma sarebbe sicuramente doveroso svolgere un'analisi puntuale dell'andamento delle isoterme in corrispondenza della parte inferiore del pannello di facciata lato degenze, dove l'aletta si innesta nello strato di isolamento, come anche in corrispondenza del rivestimento della mensola marcapiano della facciata servizi. Tale verifica potrà essere svolta tramite software agli elementi finiti, utilizzando lo stesso modello usato per il calcolo della trasmittanza termica dei serramenti. Stavolta si calcola il flusso termico che attraversa il nodo e si ricava l'andamento delle isoterme. La verifica consiste nel controllo grafico che la temperatura superficiale interna di ogni elemento di chiusura non scenda al di sotto della temperatura di rugiada dell'aria dell'ambiente interno.

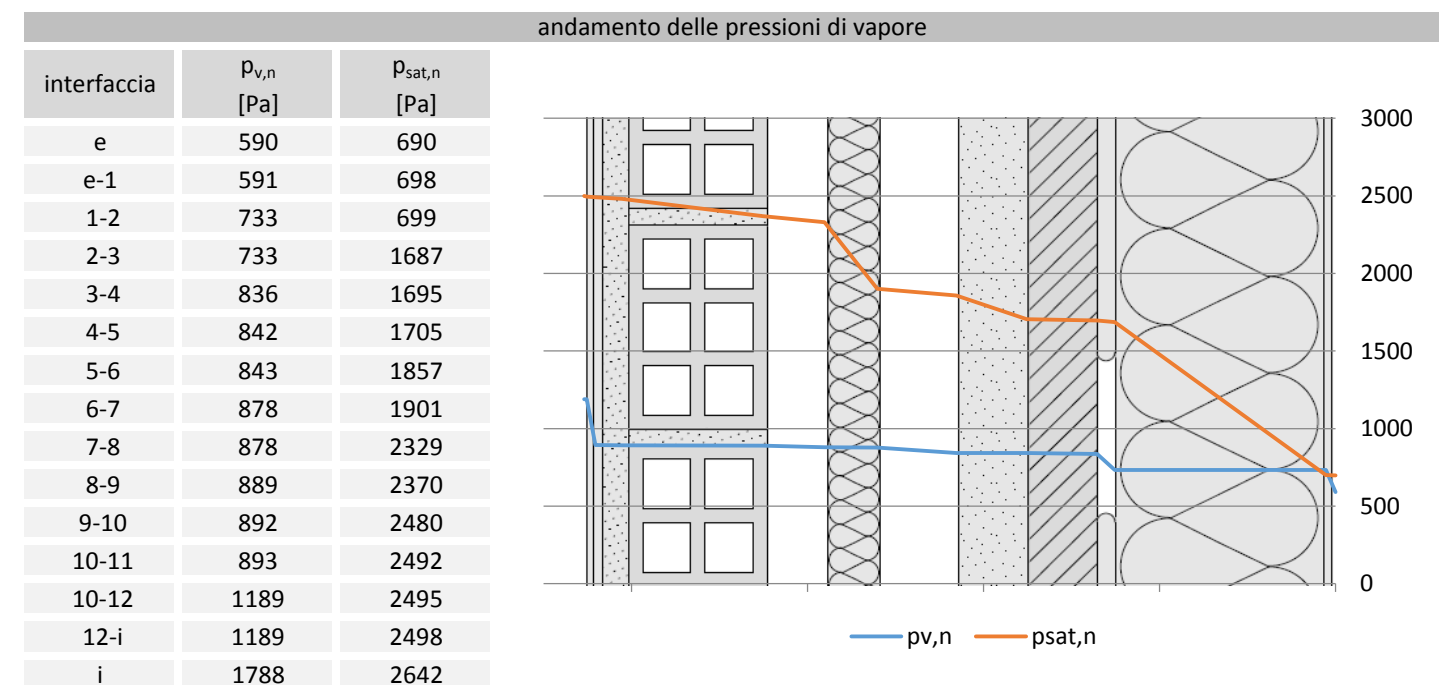
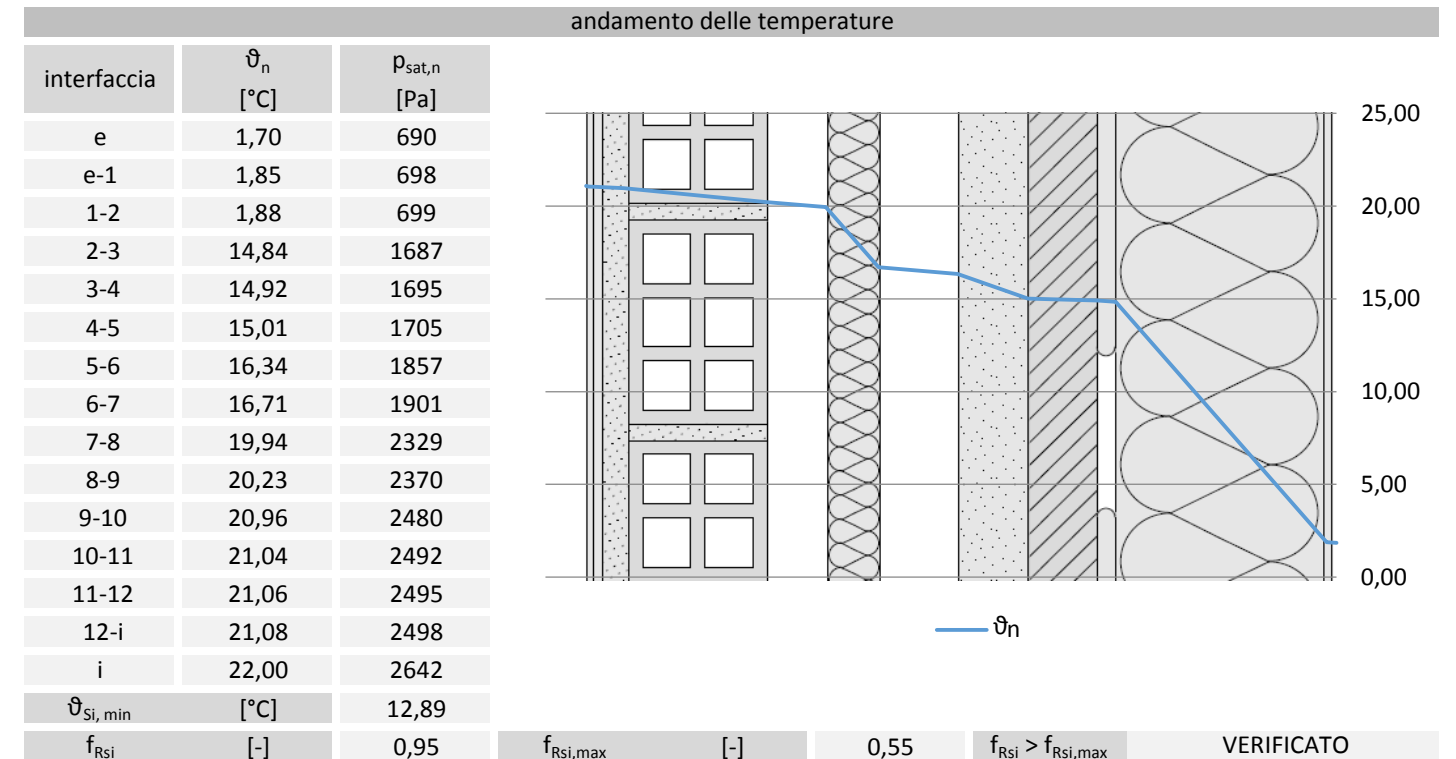
SCHEDA DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI TERMOIGROMETRICHE

| caratteristiche | |
|------------------|--------------------------|
| elemento tecnico | chiusura verticale opaca |
| codice | CV01 |

| strati funzionali | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|
| n | materiale | densità [kg/m ³] | spessore L [m] | peso al m ² L [kg] |
| esterno | | | | |
| 1 | intonaco plastico | 1200 | 0,0055 | 7 |
| 2 | pannelli in EPS | 30 | 0,120 | 4 |
| 3 | camera d'aria | 1 | 0,010 | 0 |
| 4 | pannello prefabbricato in c.a. | 2400 | 0,040 | 96 |
| 5 | massetto in cemento e vermiculite | 400 | 0,040 | 16 |
| 6 | camera d'aria | 1 | 0,045 | 0 |
| 7 | pannelli in EPS | 30 | 0,030 | 1 |
| 8 | camera d'aria | 1 | 0,035 | 0 |
| 9 | laterizi forati | 1800 | 0,080 | 144 |
| 10 | intonaco di base e di finitura | 1400 | 0,015 | 21 |
| 11 | rasatura cementizia | 1800 | 0,005 | 9 |
| 12 | rivestimento vinilico | 1700 | 0,0015 | 3 |
| interno | | | | |
| totale | | | 0,427 | 300 |

| proprietà fisiche | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|---|---------------------------------------|--|---|---|
| n | conducibilità termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] | spessore equivalente s _d [m] | spessore equivalente cumulato s' _d [m] |
| esterno | | | | | | | |
| 1 | 0,58 | 0,01 | 0,05 | 10 | | 0,06 | 0,06 |
| 2 | 0,034 | 3,53 | 3,58 | 60 | | 7,20 | 7,26 |
| 3 | - | 0,02 | 3,60 | 1 | | 0,01 | 7,27 |
| 4 | 1,66 | 0,02 | 3,62 | 130 | | 5,20 | 12,47 |
| 5 | 0,11 | 0,36 | 3,99 | 8 | | 0,32 | 12,79 |
| 6 | - | 0,099 | 4,09 | 1 | | 0,01 | 12,80 |
| 7 | 0,034 | 0,88 | 4,97 | 60 | | 1,80 | 14,60 |
| 8 | - | 0,08 | 5,05 | 1 | | 0,01 | 14,61 |
| 9 | 0,40 | 0,2 | 5,25 | 6,7 | 3E-11 | 0,53 | 15,14 |
| 10 | 0,70 | 0,02 | 5,27 | 10 | | 0,15 | 15,29 |
| 11 | 0,90 | 0,01 | 5,27 | 10 | | 0,05 | 15,34 |
| 12 | 0,25 | 0,01 | 5,28 | 10000 | | 15,00 | 30,34 |
| interno | | | | | | | |
| totale | | 0,25 | 5,53 | | | 30,34 | |
| densità di flusso Φ [W/m ²] | trasmissione U [W/(m ² K)] | trasmissione limite U _{lim} [W/(m ² K)] | sp. isolante da s _{min} [m] | | | | |
| 3,67 | 0,18 | 0,34 | -0,09 | | | | |

| condizioni al contorno | | | | | | |
|------------------------|---|---------|--|------|--|------|
| località | - | Milano | ϑ _e [°C] | 1,7 | ϑ _i [°C] | 22 |
| me | - | gennaio | Φ _e [%] | 0,85 | Φ _i [%] | 0,45 |
| | | | ρ _{sat,e} [Pa] | 690 | ρ _{sat,i} [Pa] | 2642 |
| | | | ρ _e [Pa] | 590 | ρ _i [Pa] | 1189 |
| | | | h _{cr,e} [W/(m ² K)] | 25 | h _{cr,i} [W/(m ² K)] | 4 |



Resistenza al fuoco

Per raggiungere l'atteso grado di resistenza al fuoco della fascia marcapiano richiesto in normativa si prevede di rivestire la superficie interna della veletta della facciata degenze con uno strato di intonaco di protezione antincendio di spessori pari a 2 cm, la cui applicazione è comunque prevista su tutto l'intradosso della soletta al fine di realizzare la compartimentazione orizzontale di piano. Esso sarà successivamente rivestito dai pannelli in lana di roccia già previsti l'isolamento termico della parete.

La resistenza al fuoco dovrà essere garantita anche in corrispondenza di tutti gli attraversamenti impiantistici tramite il rivestimento con appositi collarini e il tamponamento del varco murario con materiale che garantisca localmente una resistenza al fuoco almeno equivalente al resto della facciata.

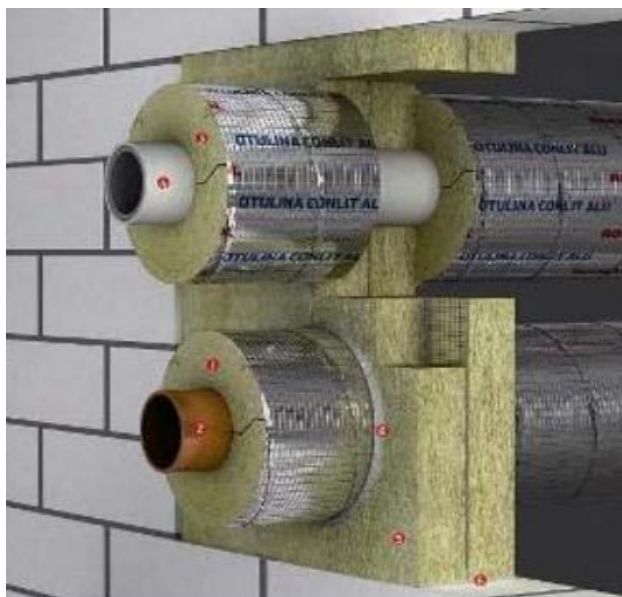


Figura 56 - Collarini antincendio per la protezione al fuoco degli attraversamenti impiantistici di elementi REI o EI

Reazione al fuoco

Tale specifica di prestazione è un punto debole per i sistemi di rivestimento a cappotto. L'esposizione dello strato isolante all'esterno della facciata non consente di adottare materiali appartenenti a classi di reazione al fuoco inferiori rispetto alla B-s3-d0 suggerita dalla guida tecnica.

Una ricerca condotta da AIPE (Associazione Italiana Polistirene Espanso), dimostra come la classe B sia difficilmente raggiungibile tramite un'applicazione a cappotto con EPS⁴¹. Tale materiale "nudo", infatti, come evidenziano tutte le marcature CE ricade nella classe E (soltanto alcuni studi sperimentali hanno evidenziato che la classe dell'EPS può essere anche D e C).

⁴¹ Fonte: www.polimerica.it

Per affrontare la problematica è stata effettuata un'analisi mediante una ricerca sperimentale al fine di indagare se, e con quali rivestimenti, i pannelli in EPS possano ottenere l'Euroclasse di reazione al fuoco B secondo UNI EN 13501-1:2009. Contestualmente a tale obiettivo, è stato richiesto di determinare anche le classificazioni supplementari di sviluppo di fumo e gocciolamento secondo la stessa norma. Sono stati indagati i seguenti sistemi:

- EPS + intonaco per sistemi a cappotto;
- EPS + lamiera grecata;
- EPS + lastre in cemento rinforzato;
- EPS + cartongesso;
- EPS + tessuto in fibra di vetro;
- EPS + multistrato di legno.

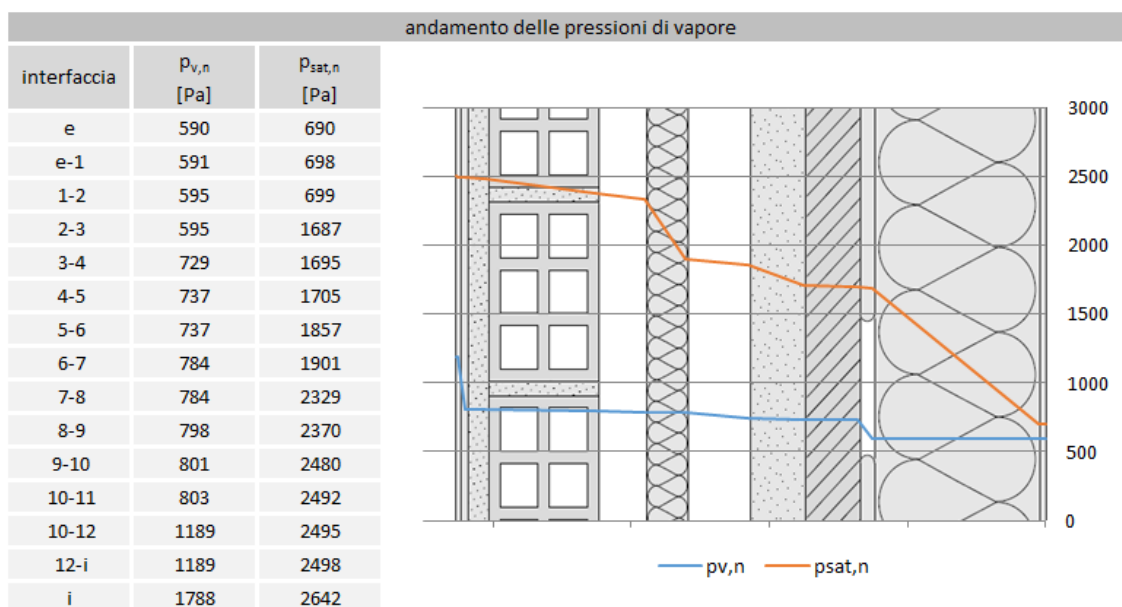
Essi sono stati sottoposti a prove sperimentali secondo EN ISO 11925-2 (prova alla piccola fiamma) e la norma EN 13823 (Single Burning Item - SBI). I risultati hanno dimostrato come l'accoppiamento dell'EPS con cartongesso o fibrocemento consenta il raggiungimento della classe B, mentre con OSB, pannelli truciolati o velo vetro sia possibile raggiungere la classe C. In merito alla finitura a intonaco, le prove di laboratorio dimostrano i seguenti esiti:

- EPS bianco sp. 20 cm + intonaco sp. 3 mm – Euroclasse non attribuibile: non si può attribuire alcuna Euroclasse sulla base della prova EN 13823 in quanto si osserva che dopo 660 secondi il pannello in EPS viene coinvolto in una combustione rapida. Esaminando i dati raccolti si nota comunque che i limiti massimi per la classe B erano già stati superati al momento dell'interruzione della prova;
- EPS nero sp. 10 cm + intonaco sp. 2 mm – Euroclasse C-s2-d0;
- EPS bianco sp. 10 cm + intonaco sp. 4 mm – Euroclasse C-s2-d0;
- EPS bianco sp. 10 cm + intonaco sp. 2 mm – Euroclasse C-s3-d0;
- EPS bianco sp. 10 cm + intonaco sp. 8 mm – Euroclasse B-s1-d0.

I risultati evidenziano l'impossibilità raggiungere la classe attesa mediante sistema a cappotto composto da strato termoisolante in EPS e strato di finitura in intonaco plastico se non a patto di prevedere un intonaco plastico rinforzato con 3 rasature e 2 reti di armatura, soluzione difficilmente praticabile per edifici di considerevole estensione.

Per la riqualificazione della facciata in esame sarà quindi possibile scegliere di non rispettare la classe di reazione al fuoco dello strato isolante esterno suggerita dalle guide tecniche, la cui applicazione è di carattere volontario, accettando un grado di sensibilità all'incendio delle facciate dell'edificio più elevato (ma scegliendo almeno un isolante aventi basse caratteristiche di produzione di fumo e gocce), oppure scegliendo un'altra tipologia di materiale per la realizzazione dell'isolamento.

Un'alternativa potrebbe ad esempio essere l'utilizzo di pannelli in lana di roccia a doppia densità (classe di reazione al fuoco A1) che con una densità maggiore (125 kg/m^3 contro i 30 kg/m^3 dell'EPS) e un fattore di resistenza al vapore minore (1 invece che 60) garantirebbe un miglior comportamento acustico della chiusura e risolverebbe i problemi di condensazione interstiziale riscontrati in precedenza.



La lana di roccia, tuttavia, ha una sensibilità all'acqua maggiore rispetto al polistirene che in presenza di guasto dello strato di finitura e protezione potrebbe causare il rapido deterioramento prestazionale. Bisogna inoltre stimare un costo di fornitura e posa in opera maggiore di circa 20 €/m^2 rispetto al cappotto realizzato in EPS, che su grandi superfici ha un'incidenza non trascurabile.

Gli strati aggiunti internamente sono invece compatibili con le linee della guida tecnica, essendo la rasatura cementizia apparente alla classe A1 e il rivestimento vinilico alla classe B.

Durabilità e affidabilità

La durata di un sistema a cappotto è funzione di diversi fattori tra cui il grado di esposizione della facciata agli agenti atmosferici e la bontà dei dettagli costruttivi e architettonici (presenza di sporti, scossaline protettive, profili rompigoia, davanzali ben raccordati, ecc.) che prevengano fenomeni localizzati come la concentrazione di tensioni o fenomeni di dilavamento. La vita utile di questa tecnologia, anche impiegando materiali di qualità posati a regola d'arte, non è generalmente maggiore di 30–40 anni, periodo dopo il quale è necessario valutare il rifacimento dell'intonaco di finitura. La resistenza agli urti di una parete isolata esternamente è inoltre piuttosto ridotta, caratteristica che la rende suscettibile a danni causati da sollecitazioni di entità non particolarmente gravosa quali grandine o urti volontari o involontari, che potrebbero rendere necessari interventi manutentivi frequenti anche durante la vita utile del sistema.

La sua applicazione al caso di studio potrebbe quindi presentare qualche inconveniente: la grande ed estensione superficiale dell'edificio Monoblocco, infatti, espone il sistema sia a notevoli sollecitazioni termiche dovute alla radiazione solare che irraggia undici piani di facciata, sia a dilavamento da pioggia battente, specialmente nella facciata servizi che è priva di qualsiasi tipo di sporto o protezione. Peraltro si è già evidenziato come la necessità di dare continuità all'isolamento termico impone una notevole complessità esecutiva che è inversamente proporzionale alla qualità finale (estetica e prestazionale) e al grado di affidabilità del dettaglio: errori nella posa delle scossaline, nel raccordo dello strato di finitura (che è quello che garantisce la tenuta all'acqua), nell'installazione dei profili rompigoocia, ecc. potrebbero causare effetti disastrosi che porterebbero a rimettere mano alle facciate con extra-costi e disagi inaccettabili per l'Azienda Ospedaliera.

Anche la vita utile del sistema è un aspetto da non sottovalutare: il patrimonio edilizio del San Carlo rivela tutt'oggi la validità del progetto del '65 sia in termini di flessibilità distributiva che di tecnologie impiegate, che hanno permesso a distanza di mezzo secolo di progettare la sua riqualificazione – e non la sua demolizione e ricostruzione – per dargli nuova vita, che di si auspica possa essere altrettanto lunga; imparando dai progettisti che hanno lavorato su questo stesso oggetto cinquant'anni fa, si evince l'importanza della scelta di materiali di finitura in grado di "autoconservarsi" e cioè di richiedere interventi manutentivi – ordinari e straordinari – minimi se non addirittura nulli anche per tutta l'estensione della vita utile dell'edificio: il loro peso in termini economici, infatti, su una superficie di circa 25.000 m² è tutt'altro che trascurabile in fase gestionale.

4.3.2 Ipotesi 02

La soluzione a cappotto finora analizzata si risulta complessivamente abbastanza efficace nella risoluzione delle principali carenze prestazionali che la facciata esistente presenta, rivelando d'altro canto alcuni punti deboli, tra i quali i più importanti sono:

- il dubbio comportamento termoigrometrico in corrispondenza della veletta del pannello della facciata degenze;
- il rischio di un erroneo comportamento in termini di tenuta e dilavamento in corrispondenza del pannello marcapiano della facciata servizi;
- gli elevati oneri di manutenzione del cappotto in termini di tempi e costi;
- la scarsa integrabilità degli impianti in facciata.

A proposito di quest'ultimo punto si potrebbe fare un ragionamento anche in merito all'esito architettonico della prima ipotesi di intervento così come è stata ipotizzata: il risvolto dell'isolamento a cappotto sulla facciata servizi, l'annegamento della veletta della facciata degenze, la realizzazione di colonne montanti con diversa tecnologia o finitura, avanzate rispetto al filo di facciata, costituiscono un insieme di provvedimenti di natura tecnica che non guardano tutta via all'impatto estetico che possono avere sull'immagine dell'edificio. Concepiuti per risolvere localmente questo o quel problema, essi rischiano di conferire un aspetto caotico e "rattoppato" all'edificio, neutralizzando gli aspetti formali dell'architettura modernista che lo ha prodotto: la sua architettura si distingue tutt'oggi per la pulizia dei prospetti, per la semplicità delle linee che scandiscono il ritmo di facciata, composta da una netta alternanza di pieni e vuoti a fasce orizzontali sul lato degenze, a scacchiera sul lato servizi. Discorso analogo vale per i materiali di finitura: dopo la seconda guerra mondiale l'evoluzione della tecnologia edilizia produce una continua sperimentazione nella ricerca di materiali innovativi che possiedano elevate caratteristiche di durabilità, resistenza agli agenti atmosferici, leggerezza e talvolta coibenza – senza perdere di vista l'economicità delle soluzioni e l'industrializzazione dei componenti – che non sono più riconosciuti nei materiali di origine naturale; gli intonaci tradizionali vengono sostituiti da intonaci e conglomerati a base di cemento, il laterizio dal cemento armato faccia a vista, la pietra naturale da finiture artificiali come il dinke, il legno dall'acciaio e dall'alluminio: tutto è selezionato per conferire alle superfici esterne caratteri di semplicità, precisione, modernità e durabilità.

Al fine mantenere una certa linearità delle facciate e utilizzare materiali che si sposino con la tipologia di edificio, in un ottica di dialogo e reinterpretazione in chiave moderna del progetto originario dell'ospedale, la seconda ipotesi indaga una soluzione di redadding a facciata ventilata che consente di mascherare gli impianti e le irregolarità sopra citate.

4.3.2.1 Strategia

La seconda soluzione analizzata prevede quindi la combinazione di tre strategie: l'applicazione di una facciata ventilata esterna, la sostituzione dei serramenti esistenti e l'installazione di nuove schermature solari.

4.3.2.2 Tecnologia

Per meglio comprendere le soluzioni descritte ci si riferisca alle sezioni tipo, ai dettagli di interfaccia e ai rendering rappresentati nelle Tavole 13, 14, 15 e 26.

Facciata ventilata

Per la funzione che essa deve svolgere, la locuzione *facciata ventilata* risulta impropria, in quanto sarebbe più corretto chiamarla *facciata a schermo avanzato*, poiché nella specifica applicazione essa non è tanto finalizzata a migliorare il comportamento termoigrometrico dell'involucro quanto piuttosto a garantire una maggiore vita utile dell'elemento, antepoendo uno strato "sacrificale" a quelli che garantiscono le prestazioni più importanti della chiusura salvaguardandone l'integrità e la funzionalità; non verrà quindi dimensionata in base ai moti convettivi dell'aria né saranno necessarie tutte le implicazioni tecnologiche e gestionali necessarie affinché ciò avvenga, quali la l'installazione di bocchette di presa ed espulsione dell'aria regolabili, la periodica regolazione delle griglie, interventi manutentivi come la pulizia del camino, ecc. Per brevità ci si riferirà comunque ad essa con tale terminologia che nella lingua italiana – più impropriamente rispetto all'inglese che distingue il *rainscreen* (schermo alla pioggia battente) dalla *ventilated facade* (facciata ventilata) – indica genericamente tutte le tipologie di pareti perimetrali opache caratterizzate dalla presenza di un rivestimento esterno messo in opera a secco tramite dispositivi di sospensione e fissaggio di tipo meccanico o chimico-meccanico che lo mantengono distanziato dalla parete di tamponamento, sulla quale è generalmente applicato un isolamento termico. Il rivestimento avanzato, interrompendo con l'intercapedine la continuità fisica della chiusura, ne aumenta la resistenza all'esposizione degli agenti atmosferici, impedendo alla pioggia di raggiungere e degradare la parete stessa. L'acqua che eventualmente si infiltra in intercapedine, spinta dall'azione combinata di pioggia e vento attraverso i giunti del rivestimento, perde di energia cinetica e gocciola fino alla base dove viene fatta defluire verso l'esterno.

Intercapedine

L'intercapedine sarà perciò di tipo molto debolmente ventilato o micro ventilato, ovvero non dotata di griglie di immissione o espulsione, nella quale la circolazione d'aria avverrà in misura limitata. La distanza del piano di posa del rivestimento di facciata dalla chiusura esistente è determinata dall'ingombro degli impianti che essa dovrà ospitare (max 15 cm corrispondenti al diametro delle tubazioni di scarico dei nuovi servizi igienici). Sul lato degenze questi dovranno passare davanti al pannello marcapiano – a cui verrà preventivamente asportato il dentello rompigoccia per permettere un più agevole isolamento – ricoperto da uno strato minimo di isolante spesso 4 cm per evitare che il flusso termico, in assenza di continuità di isolamento,

segni in facciata. Essendo lo spessore residuo del pannello marcapiano pari a 12 cm (da cui la scelta dello spessore dell'isolante in sezione corrente), la sottostruttura e il rivestimento avranno distanza minima dal piano di facciata pari a $12 + 4 + 15 = 31$ cm. Poiché ovviamente la sezione che ospita le colonne impiantistiche è limitata a strisce di facciata verticali larghe circa 1,5 m ogni 4 campate, nella sezione più tipica lo spazio libero dagli impianti verrà riempito con un secondo strato di materiale isolante per proteggere bene anche il marcapiano e spinge al limite la prestazione della sezione corrente. L'intercapedine ventilata che rimane tra l'isolante e la finitura avrà quindi spessore pari a $31 - 2 \cdot 12 = 7$ cm.

La facciata degenze viene trattata allo stesso modo, previa rimozione a mezzo di disco diamantato dell'"aletta" presente nella parte inferiore dei pannelli; questo accorgimento permette di rettificare la facciata, ottenendo a lavoro finito un prospetto più ordinato, e di risvoltare in modo appropriato l'isolamento termico sul serramento, evitando i fenomeni di ponte termico che si verificavano con la prima soluzione. Pur non avendo il vincolo dello spessore fascia marcapiano, a meno di un piccolo gradino in corrispondenza del davanzale, si decide di adottare gli stessi spessori della facciata servizi per uniformità di prestazione.

Il supporto del rivestimento sarà realizzato interamente con sistema meccanico a secco, formato da una sottostruttura a soli montanti sorretta da staffe e barre filettate.

Sottostruttura

La scelta di utilizzare solamente montanti è frutto di considerazioni sulla geometria delle superfici da rivestire e funzione del rivestimento di finitura (doghe metalliche), che ha determinato anche la scelta del materiale di cui sono composti: essi saranno profili a Ω in alluminio estruso, per meglio armonizzarsi col rivestimento in termini di leggerezza e precisione dimensionale. Essi avranno lunghezza pari a quella di interpiano o a quella della porzione di tamponamento tra i serramenti di due piani consecutivi, per agevolare il trasporto e la movimentazione in cantiere e sul ponteggio, oltre che per assecondare i movimenti differenziali di piano, e saranno installati con un passo pari a 80 cm.

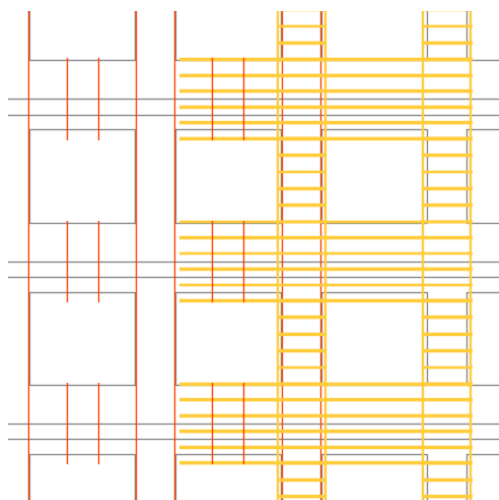
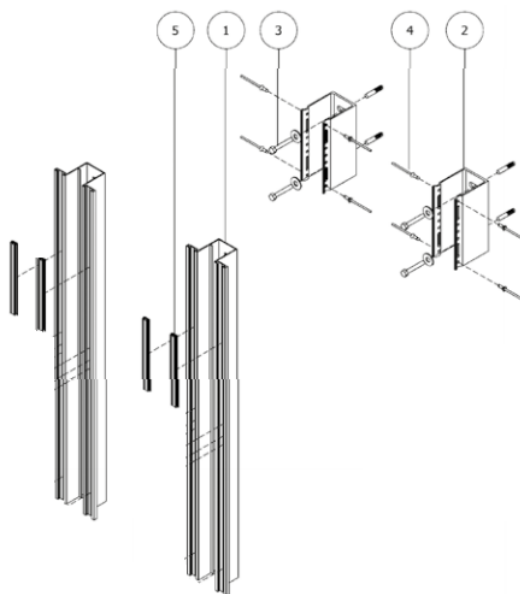


Figura 57 - Schema di posa della sottostruttura e del rivestimento sulla facciata esistente

Il funzionamento statico di tali elementi astiformi, caratterizzati da elevata snellezza, dovrà avvenire a trazione rispetto ai carichi verticali e con uno schema a trave continua su più appoggi rispetto ai carichi orizzontali. Ciò sarà possibile prevedendo nella parte superiore del montante un fissaggio a mezzo di staffa che lo vori come punto fisso, lungo la testa delle solette di piano (per fissare i tasselli alla trave di bordo) o lungo i davanzali, e aggiungendo delle barre filettate di controvento con passo pari a $1/3$ dell'altezza di interpiano al fine di ridurre la luce di libera inflessione del profilo montante.

Le staffe saranno costituite da un elemento a Ω o C o due elementi a L in acciaio inox, per accogliere il profilo montante; saranno installate interponendo tra esse e la muratura un elemento in neoprene spesso 5 mm di separazione e taglio termico; le staffe avranno lunghezza sufficiente a emergere dallo strato isolante e consentire l'ancoraggio dei montanti compensando eventuali tolleranze di planarità e verticale della facciata esistente. Oltre ad assicurare adeguata resistenza meccanica: esse dovranno infatti garantire la possibilità di regolazione della posizione dei profili nelle 3 direzioni spaziali mediante asolature e spessori a piattina, rondella o forcilla. Le staffe saranno connesse al supporto mediante appositi tasselli, di tipo meccanico in acciaio inox poiché si ancorano ai pannelli prefabbricati in calcestruzzo esistenti. Gli elementi rompi tratta saranno invece barre filettate M10 in acciaio inox. Gli accoppiamenti tra i diversi elementi della sottostruttura saranno realizzati a mezzo di tradizionali elementi passanti che li serrino, quali viti, bulloni o rivetti.

Figura 58 - Esempio di sottostruttura con staffe a C e montanti a Ω



In corrispondenza dei serramenti che verranno chiusi per la realizzazione del gruppo servizi e delle nuove colonne montanti, il vano dove alloggiava il serramento sarà chiuso da una porzione di tamponamento montata a secco, costituita da sottostruttura a doppia orditura in lega di alluminio, pannelli in lana di roccia in doppio strato e rivestimento tramite lastra in

cartongesso all'interno, doppia lastra idrorepellente tipo Aquapanel all'esterno, al fine di offrire sufficiente resistenza meccanica per l'ancoraggio della facciata ventilata.

L'isolamento termico sarà realizzato tramite l'applicazione di pannelli isolanti in doppio strato nella sezione corrente, in singolo strato nella sezione in corrispondenza dei passaggi impiantistici. Al fine di raggiungere i valori di trasmittanza minima imposti da normativa sarebbe sufficiente l'applicazione di un singolo strato anche dove non passassero gli impianti, ma la profondità dell'intercapedine, dettata dal diametro delle tubazioni e dalla conformazione geometrica della facciata esistente, consente l'installazione di un secondo strato, utile tra l'altro a distribuire le discontinuità lineari ed evitare la concentrazione di difetti e ponti termici lungo le giunzioni, dando più continuità all'isolamento termico e alla tenuta, oltre che a creare uno strato di sacrificio: anche se si rovinasse lo strato esterno, quello interno rimarrebbe comunque prestante.

Isolante

I pannelli saranno in lana di roccia, il cui impiego è vantaggioso nelle facciate ventilate perché essendo morbida si può tagliare agevolmente e riesce ad annegare bene gli elementi di fissaggio puntuali, oltre ad essere incombustibile. Essendo posati in doppio strato, potranno essere utilizzati pannelli con differente densità al fine di migliorare la prestazione acustica: essa sarà minore sul lato a contatto con la muratura, per compensare meglio le irregolarità, e maggiore sul lato a contatto con l'intercapedine, per garantire migliore resistenza meccanica e minore bagnabilità della superficie.

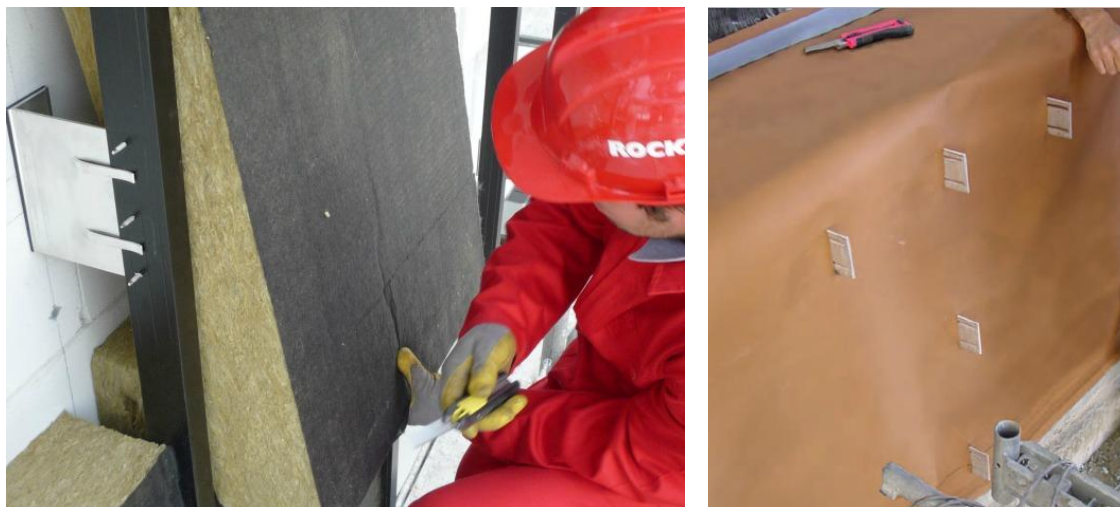
I pannelli avranno spessore di 12 cm e saranno applicati dal basso verso l'alto, completamente accostati e sfalsati sia nei giunti verticali sia nei giunti d'angolo. Essi saranno fissati meccanicamente al supporto murario esistente, ma a differenza dell'applicazione in un sistema a cappotto, in presenza di facciata ventilata l'incollaggio non è necessario perché non è richiesta la perfetta planarità dello strato termoisolante, mascherato in intercapedine, così come l'azione dinamica del vento è assorbita quasi completamente dal rivestimento.

I tasselli saranno del tipo idoneo al supporto, interamente in plastica, o con chiodo in acciaio zincato e testa in materiale plastico, o ancora con chiodo in acciaio inossidabile e testa in materiale plastico, in funzione delle verifiche di resistenza. Il fissaggio avverrà con un numero minimo di tre tasselli per pannello disposti a V (uno sul lato inferiore, due su quello superiore) per evitare l'insorgere di fenomeni di inarcamento.

Poiché non è escluso che durante intense precipitazioni accompagnate da strarvento dell'acqua battente e di ruscellamento si infiltrino nell'intercapedine e raggiunga l'isolante, saranno utilizzati esternamente pannelli con rivestimento superficiale in velo minerale o protetti tramite telo microporoso traspirante, impermeabile all'acqua ma traspirante nei confronti del vapore. Tale accorgimento sarà realizzato idealmente su tutta la superficie dell'isolante o quantomeno nei punti di facciata più suscettibili a infiltrazioni o percolazioni d'acqua: i contorni dei serramenti e la parte retrostante ai montanti impiantistici. Il telo sarà fissato al falso telaio del serramento

con apposite bandelle autoadesive, risvoltato sulla faccia esterna dell'isolante e mantenuto in posizione tramite gli stessi tasselli con rondella utilizzati per il fissaggio dell'isolante.

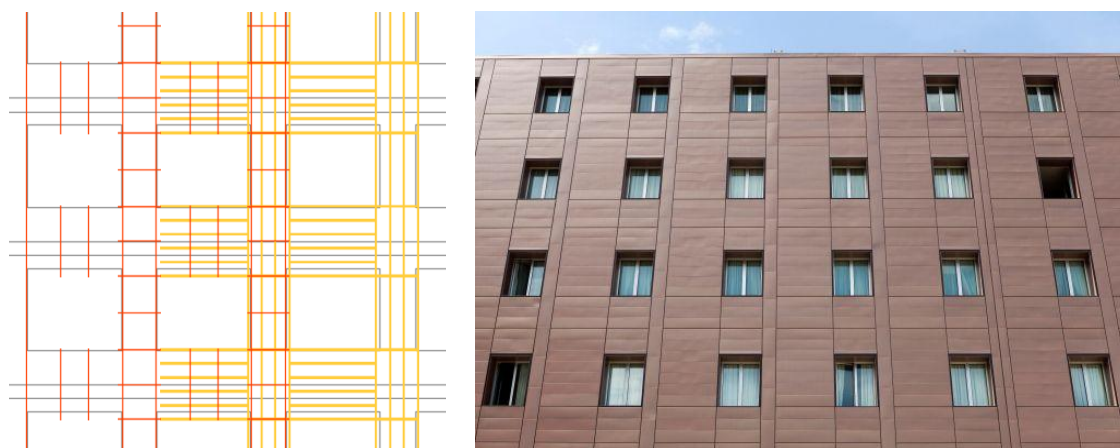
Figura 59 - Posa dell'isolante in lana di roccia e successiva protezione con telo impermeabile traspirante



Lo strato di finitura sarà costituito da doghe in lega di alluminio spesse 1,5 mm, larghe 30 cm, lunghe al massimo 3 m, con fughe di 3 cm, installate a correre in direzione orizzontale. Potrà essere prevista, in alternativa, la posa in verticale in corrispondenza delle colonne impiantistiche, qualora fosse ritenuto vantaggioso per garantire un più rapido smontaggio e completamento delle operazioni in quota. Questa soluzione comporterà tuttavia l'installazione di trasversi orizzontali rompi tratta con passo pari a 90 cm.

Rivestimento

Figura 60 - Schema di posa alternativo della sottostruttura e del rivestimento sulla facciata esistente



Questo tipo di finitura è stato scelto per le sue caratteristiche di rapidità di posa e di leggerezza (circa 5 kg/m^2), essendo applicato a una chiusura esistente, per altro a una certa distanza dal piano di facciata. Le sue caratteristiche fisiche assicureranno una buona affidabilità in esercizio, senza il rischio di rotture fragili per sollecitazioni meccaniche o termiche che invece subiscono materiali di tipo fragile (ceramica, vetro, gres, ecc.), né richiederanno onerosi interventi manutentivi come il lavaggio o il trattamento idrorepellente richiesto dai rivestimenti più porosi (cotto, pietra, cemento, ecc.). L'alluminio risponderà ottimamente anche ai requisiti di resistenza a gelo e disgelo non assorbendo acqua, e di resistenza agli

agenti biologici, essendo un materiale inerte. Dovranno tutta via essere valutate attentamente le caratteristiche di resistenza alla corrosione e di stabilità dimensionale. Tale finitura risulta inoltre più economica se confrontata con rivestimenti in pietra, ceramica o gres, sia in termini di costo diretto del materiale, sia in termini di sottostruttura necessaria a sorreggerlo, sia in termini di modalità di posa e movimentazione in cantiere.



Figura 61 - Esempio di rivestimento a doghe metalliche (www.ruukki.com)

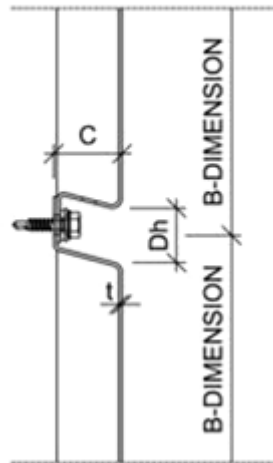
Lo strato di rivestimento presenterà giunti aperti tra gli elementi, ovvero non sigillati, in modo che la camera di ventilazione non abbia mai pressione sensibilmente inferiore a quella presente sulla faccia esterna del rivestimento, soggetta ad esempio all'azione del vento, richiamando acqua al suo interno.

Le doghe saranno posate "a tegola", ovvero col lembo inferiore di ogni dogha che copre quello superiore della dogha sottostante, senza tutta via richiedere in castri particolari che ne vincolino il montaggio in sequenza obbligata: la possibilità di installazione in sequenza libera garantirà la possibilità di procedere al montaggio di particolari porzioni di rivestimento in un tempo differito, semplificando la fase di posa che potrà essere effettuata da più squadre operative che partono da punti o livelli differenti, così come consentirà lo smontaggio, il rimontaggio o l'eventuale sostituzione di singoli elementi, presupposto ovviamente fondamentale per eseguire le operazioni di manutenzione degli impianti che corrono dietro al rivestimento. A tale fine, si è anche scelto un fissaggio per mezzo di viti a vista inserite nelle fughe delle doghe, trattate per risultare in tinta col rivestimento, per conciliare gli aspetti manutentivi e quelli estetici: le dimensioni dell'edificio e delle sue facciate sono comunque tali da renderli difficilmente visibili a occhio nudo se non a una distanza di pochi metri dalla facciata. Le doghe indipendenti, sotto le sollecitazioni ambientali cicliche giornaliere e stagionali, saranno inoltre libere di dilatarsi indipendentemente sia in direzione longitudinale che trasversale, evitando l'insorgere di coazioni meccaniche nel piano di rivestimento.

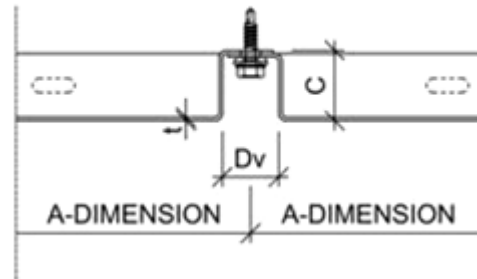
In tutti i punti di contatto tra gli elementi di finitura e di orditura saranno applicati appositi inserti in gomma per evitare la produzione di rumore in presenza di vibrazioni.

Figura 62 - Dettagli della connessione del rivestimento alla sottostuttura e gradazioni cromatiche (www.ruukki.com)

HORIZONTAL JOINT



VERTICAL JOINT



Le doghe saranno verniciate con gradazioni di grigio per consolidare il dialogo tra vecchie e nuove facciate, oltre che per minimizzare la visibilità di deposito di polvere e impurità.



Saranno poi previsti e installati tutti gli elementi speciali quali profili di partenza e di chiusura, profili d'angolo, profili di raccordo, griglie di ventilazione, davanzali, scossaline, elementi per coprire i giunti di dilatazione, elementi a integrazione con le schermature solari ecc.

Integramente la stratigrafia sarà completata anche in questo caso tramite il rivestimento della chiusura con una rasatura cementizia di regolarizzazione spessa 0,5 cm e un rivestimento vinilico di spessore pari a 1,5 mm da raccordare a quello del pavimento tramite sguscia. Non sarà invece necessario il placcaggio della veletta lato degenze in quanto la criticità dell'isolamento è stata risolta tagliando la mensola sporgente.

Serramenti, schermature solari e colonne impiantistiche

I serramenti e le schermature solari esistenti saranno sostituiti con nuovi prodotti in modo esattamente analogo a quanto previsto nella prima ipotesi progettuale, con l'unica differenza che in presenza di facciata ventilata le schermature risultano ben protette dalle intemperie e mascherate dal rivestimento, così come le colonne impiantistiche.

4.3.2.3 Prestazioni

Resistenza

La resistenza meccanica della chiusura opaca rimane affidata alla stratigrafia esistente. La soluzione di redadding, comporta aumenti di carico più elevati rispetto alla prima soluzione, stimati per la stratigrafia esterna pari a 40 kg/m^2 (30 per l'isolante, 5 per il rivestimento e 5 di incidenza della sottostruttura) contro i 10 kg/m^2 del rivestimento a cappotto. Essi saranno applicati alla facciata esistente e di conseguenza alla struttura, che dovranno quindi essere verificate alle sollecitazioni statiche indotte dai nuovi carichi. Potrebbe quindi essere necessario testare la resistenza dei materiali tramite di prove di resistenza al pull-out e al taglio. A differenza di una soluzione a cappotto, tuttavia, tutti gli elementi di una facciata ventilata (lastre di facciata, sistema di montanti e traversi, sistemi di ancoraggio e connessione) necessitano di dimensionamento e verifica nei confronti delle azioni di peso proprio, vento, neve, grandine, sisma, radiazione solare, umidità ecc. I metodi di calcolo sono gli stessi indicati dalle NTC 2008 per il calcolo degli elementi strutturali dell'edificio, ossia verifiche agli stati limite di esercizio e ultimi. Rispetto alla soluzione a cappotto tale tecnologia richiederà inoltre una verifica di resistenza sismica così come previsto dalle NTC 2008 per gli elementi non strutturali al fine di evitare l'insorgere di gravi rotture o cadute al suolo di parti del rivestimento. Essa consisterà in una verifica statica della facciata soggetta alla sola componente orizzontale del sisma.

A livello generale, si presume che la facciata in esame non comporti particolari criticità in quanto gli effetti generati dalle azioni sismiche sono sostanzialmente legati alla massa degli elementi, che in questo caso sono tra i più leggeri che si potessero prevedere per tale tipo di applicazione, e perché l'edificio si trova in una zona geografica dove la pericolosità sismica è bassa (e perciò lo sono anche le sollecitazioni agenti). Si consideri inoltre che oggi i rivestimenti a parete ventilata prodotti industrialmente sono adatti per l'applicazione anche su fabbricati che sorgono in zone ad elevato rischio sismico. L'attenzione nell'analisi di resistenza sismica di una facciata da riqualificare dovrà quindi essere rivolta soprattutto al dimensionamento esistente.

Permeabilità all'aria e tenuta all'acqua

Per quanto concerne le parti di chiusura opaca, il requisito di permeabilità all'aria è assolto dalla parte di stratigrafia retrostante al rivestimento con giunto aperto, ovviamente permeabile all'aria. La tenuta all'acqua è affidata invece all'intero pacchetto. In particolare, il primo grande contributo di sbarramento dell'acqua meteorica è offerto dallo schermo avanzato (che non a caso in inglese è chiamato *rainscreen*) e un altro importante contributo è offerto dal telo microporoso di protezione.

I serramenti utilizzati saranno, come già detto, di classe di permeabilità all'aria 3 e di classe di tenuta all'acqua 7A.

Isolamento termico

Il requisito di isolamento termico viene assolto dal sistema a facciata ventilata in maniera del tutto analoga a quanto svolto da un sistema a cappotto. La procedura di calcolo per determinare il valore di trasmittanza termica di una parete con schermo avanzato è tuttavia più complessa di quella utilizzabile per pareti pluristato, in quanto è necessario valutare il contributo del rivestimento alla prestazione totale. Esso, infatti, rifletterà parte della radiazione solare diretta incidente, e ne assorbirà un'altra parte emettendola in intercapedine per irraggiamento assieme alla quota parte trasmessa.

Con riferimento alla tipologia di ventilazione dell'intercapedine (molto debolmente, debolmente o fortemente ventilata) ⁴² la UNI 11018:2003 – “Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici” propone differenti metodologie di calcolo che prevedono correzioni al metodo di calcolo standard della trasmittanza termica. Un calcolo più puntuale del contributo dell'intercapedine in regime estivo può essere eseguito seguendo il metodo semplificato proposto dalla UNI EN 1379:2012 – “Prestazione termica degli edifici. Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione. Metodi semplificati”, oppure utilizzando la ISO 15099:2003 – “Thermal performances of windows, doors and shading devices. Detailed calculations” mutuando la procedura illustrata per il calcolo delle prestazioni termiche del vetrocamera.

In fase di valutazione preliminare, sarà tuttavia possibile eseguire un calcolo in regime stazionario escludendo dal calcolo la tutto ciò che è posto dopo l'isolante termico esterno alla muratura. Questa approssimazione sarà quindi a favore di sicurezza in quanto trascura la resistenza termica della lama d'aria e del rivestimento della parete. La trasmittanza termica dell'elemento in esame è stata dunque valutata tramite questa semplificazione, anche considerando che l'importante spessore di materiale isolante avrà un'influenza più diretta sulla trasmittanza termica rispetto all'intercapedine micro ventilata: in presenza di soluzioni fortemente isolate l'efficacia percentuale della ventilazione sul comportamento termico globale della chiusura viene molto ridotta, se non annullata. Tali ipotesi, anche a base delle verifiche di condensazione, saranno conservative pure in questo caso, in quanto la migrazione di vapore dall'interno verso l'esterno è facilitata perché il flusso non incontra strati a elevata

⁴² Essa è determinabile per pareti verticali o assimilabili in base al rapporto tra l'area totale delle aperture superiore e inferiori di ventilazione rispetto alla lunghezza della parete, per pareti orizzontali o assimilabili in base al del rapporto tra la sezione totale dei fori di ventilazione e la superficie totale della parete.

resistenza al vapore, giunge sulla superficie esterna dell'elemento termoisolante e viene asportato dal flusso di aria della camera di ventilazione.

Assumendo i seguenti valori caratteristici per la lana di roccia:

| PROPRIETA' DEI MATERIALI | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|---------------------------------|--|---|-----------|--|--|
| materiale | fonte | densità [kg/m ³] | conducibilità à termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | fonte | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità à al vapore S [kg/(m s Pa)] |
| lana di roccia (alta densità) | UNI 10351 | 125 | 0,038 | - | UNI 10456 | 1 | - |

Si ottiene per le porzioni di facciata con doppio strato di isolante un valore di trasmittanza termica pari a 0,12 W/m²K e pari a 0,20 W/m²K per le zone in cui l'isolante è posato in singolo strato.

| n | conducibilità à termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] | n | conducibilità à termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] |
|-----------------------|--|---|--|-----------------------|--|---|--|
| esterno | | 0,04 | 0,04 | esterno | | 0,04 | 0,04 |
| 1 | 0,038 | 3,16 | 3,20 | 1 | 0,038 | 0,00 | 0,04 |
| 2 | 0,038 | 3,16 | 6,36 | 2 | 0,038 | 3,16 | 3,20 |
| 3 | 1,66 | 0,02 | 6,38 | 3 | 1,66 | 0,02 | 3,22 |
| 4 | 0,11 | 0,36 | 6,74 | 4 | 0,11 | 0,36 | 3,59 |
| 5 | - | 0,099 | 6,84 | 5 | - | 0,099 | 3,68 |
| 6 | 0,034 | 0,88 | 7,72 | 6 | 0,034 | 0,88 | 4,57 |
| 7 | - | 0,08 | 7,80 | 7 | - | 0,08 | 4,64 |
| 8 | 0,40 | 0,2 | 8,00 | 8 | 0,40 | 0,2 | 4,84 |
| 9 | 0,70 | 0,02 | 8,02 | 9 | 0,70 | 0,02 | 4,87 |
| 10 | 0,90 | 0,01 | 8,03 | 10 | 0,90 | 0,01 | 4,87 |
| 11 | 0,25 | 0,01 | 8,03 | 11 | 0,25 | 0,01 | 4,88 |
| interno | | 0,25 | 8,28 | interno | | 0,25 | 5,13 |
| totale | | 8,28 | | totale | | 5,13 | |
| densità di flusso | trasmittanza | trasmittanza limite | sp. isolante da | densità di flusso | trasmittanza | trasmittanza limite | sp. isolante da |
| φ [W/m ²] | U [W/(m ² K)] | J _{lim} [W/(m ² K)] | s _{min} [m] | φ [W/m ²] | U [W/(m ² K)] | J _{lim} [W/(m ² K)] | s _{min} [m] |
| 2,45 | 0,12 | 0,34 | -0,18 | 3,96 | 0,20 | 0,34 | -0,07 |

I serramenti saranno invece scelti per avere trasmittanza termica complessiva $U < 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, come nella prima ipotesi progettuale.

Controllo della condensazione

Le verifiche di condensazione superficiale della sezione corrente sono soddisfatte, così come quelle di condensazione interstiziale in tutti i mesi, anche nel caso di singolo strato di isolante, in quanto il basso fattore di resistenza al vapore della lana di roccia e l'assenza di ulteriori strati che offrono resistenza all'uscita del vapor d'acqua, quale l'intonaco plastico del cappotto, non

generano mai situazioni critiche come quelle riscontrate nella valutazione delle prestazioni dell'ipotesi 1 (Scheda 07).

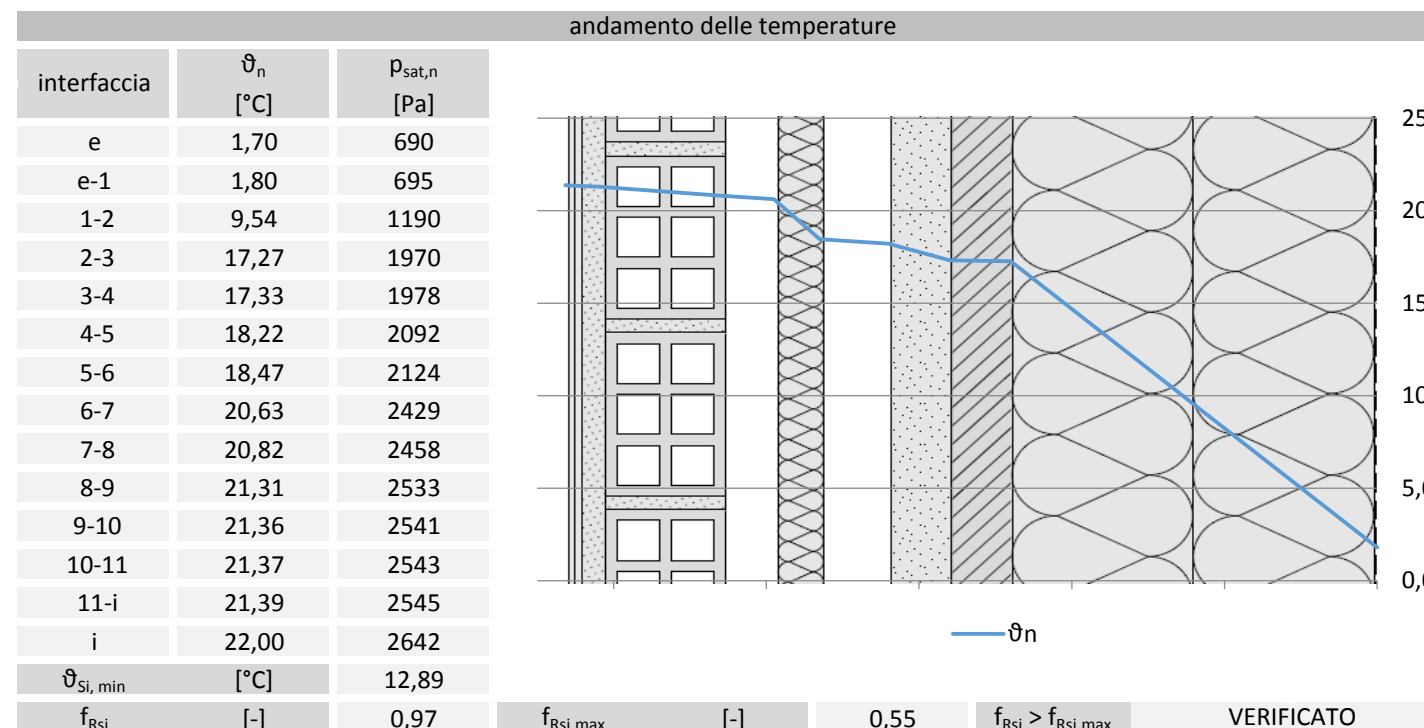
Anche in questo caso sarà comunque utile verificare l'andamento delle isoterme tramite software agli elementi finiti, in particolare nella zona del pannello marcapiano della facciata servizi nella sezione in corrispondenza dei montanti impiantistici, dove lo spessore di isolante è ridotto a 4 cm. Laddove le temperature scendessero al di sotto della temperatura di rugiada dell'aria in ambiente, una soluzione al problema sarebbe quella di rivestire internamente il nodo di materiale isolante, in modo da incrementare la lunghezza del percorso del flusso termico fino a quando gli effetti del ponte fossero esauriti.

SCHEDA DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI TERMOIGROMETRICHE

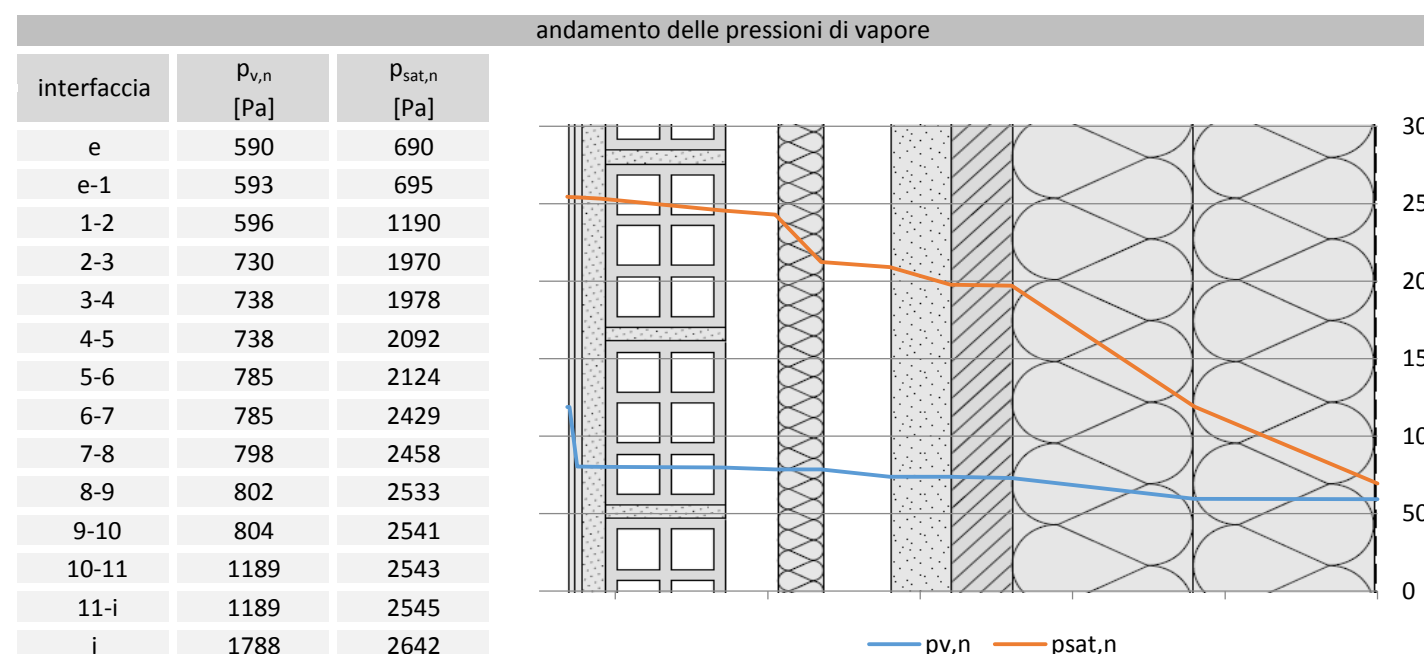
| caratteristiche | |
|------------------|--------------------------|
| elemento tecnico | chiusura verticale opaca |
| codice | CV02 |

| condizioni al contorno | | | | | | |
|------------------------|---|---------|----------------------|------|----------------------|------|
| località | - | Milano | ϑ_e [°C] | 1,7 | ϑ_i [°C] | 22 |
| mese | - | gennaio | Φ_e [%] | 0,85 | Φ_i [%] | 0,45 |
| | | | $p_{sat,e}$ [Pa] | 690 | $p_{sat,i}$ [Pa] | 2642 |
| | | | p_e [Pa] | 590 | p_i [Pa] | 1189 |
| | | | $h_{cr,e}$ [W/(m²K)] | 25 | $h_{cr,i}$ [W/(m²K)] | 4 |

| strati funzionali | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| n | materiale | densità [kg/m³] | spessore L [m] | peso al m² L [kg] |
| esterno | | | | |
| 1 | pannelli in lana di roccia | 125 | 0,120 | 15 |
| 2 | pannelli in lana di roccia | 125 | 0,120 | 15 |
| 3 | pannello prefabbricato in c.a. | 2400 | 0,040 | 96 |
| 4 | massetto in cemento e vermiculite | 400 | 0,040 | 16 |
| 5 | camera d'aria | 1 | 0,045 | 0 |
| 6 | pannelli in EPS | 30 | 0,030 | 1 |
| 7 | camera d'aria | 1 | 0,035 | 0 |
| 8 | laterizi forati | 1800 | 0,080 | 144 |
| 9 | intonaco di base e di finitura | 1400 | 0,015 | 21 |
| 10 | rasatura cementizia | 1800 | 0,005 | 9 |
| 11 | rivestimento vinilico | 1700 | 0,0015 | 3 |
| interno | | | | |
| totale | | | 0,532 | 320 |



| proprietà fisiche | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---|--|---|---|--------------------------------|--|
| n | conducibilità termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m²K/W] | resistenza termica cumulata R' [m²K/W] | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] | spessore equivalente s_d [m] | spessore equivalente cumulato s'_d [m] |
| esterno | | | | | | | |
| 1 | 0,038 | 3,16 | 3,20 | 1 | | 0,12 | 0,12 |
| 2 | 0,038 | 3,16 | 6,36 | 1 | | 0,12 | 0,24 |
| 3 | 1,66 | 0,02 | 6,38 | 130 | | 5,20 | 5,44 |
| 4 | 0,11 | 0,36 | 6,74 | 8 | | 0,32 | 5,76 |
| 5 | - | 0,099 | 6,84 | 1 | | 0,01 | 5,77 |
| 6 | 0,034 | 0,88 | 7,72 | 60 | | 1,80 | 7,57 |
| 7 | - | 0,08 | 7,80 | 1 | | 0,01 | 7,58 |
| 8 | 0,40 | 0,2 | 8,00 | 6,7 | 3E-11 | 0,53 | 8,11 |
| 9 | 0,70 | 0,02 | 8,02 | 10 | | 0,15 | 8,26 |
| 10 | 0,90 | 0,01 | 8,03 | 10 | | 0,05 | 8,31 |
| 11 | 0,25 | 0,01 | 8,03 | 10000 | | 15,00 | 23,31 |
| interno | | 0,25 | 8,28 | | | | |
| totale | | 8,28 | | | | 23,31 | |
| densità di flusso Φ [W/m²] | trasmittanza U [W/(m²K)] | trasmittanza limite U_{lim} [W/(m²K)] | sp. isolante da s_{min} [m] | | | | |
| 2,45 | 0,12 | 0,34 | -0,18 | | | | |



Resistenza al fuoco

Nel rispetto delle linee guida contenute nella circolare n° 5043, per raggiungere l'atteso grado di resistenza al fuoco della fascia marcapiano si prevede anche in questo caso di rivestire la superficie interna della veletta della facciata degenze con uno strato di intonaco di protezione antincendio di spessore pari a 2 cm. Anche la lana di roccia applicata esternamente contribuirà all'aumento della resistenza della facciata.

La resistenza al fuoco dovrà essere garantita anche in corrispondenza di tutti gli attraversamenti impiantistici tramite il rivestimento con appositi collarini e il tamponamento del varco murario con materiale che garantisca localmente una resistenza al fuoco almeno equivalente al resto della facciata.

Reazione al fuoco

Gli strati aggiunti esternamente (lana di roccia, acciaio e alluminio) e internamente (rasatura cementizia e rivestimento vinilico) sono compatibili con le linee della guida tecnica, essendo di classe superiore o uguale alla B.

In merito alla sicurezza in caso d'incendio di una facciata ventilata, è inoltre importante prendere atto che essa può comportarsi negativamente costituendo un camino di propagazione di fuoco o i fumi che oltrepassassero i serramenti. Per questo motivo sarà realizzata una compartimentazione dello strato di ventilazione inserendo opportune scossaline che fungano da barriera fisica alla diffusione di fiamme sia in orizzontale, per le porzioni di facciata opaca che corrono dal piede alla sommità dell'edificio, sia in verticale, dividendo la facciata in tanti "camini" autonomi e impedendo richiami d'aria tra facciate contigue in prossimità degli spigoli dell'edificio.

Durabilità e affidabilità

In linea generale i sistemi a parete ventilata sono contraddistinti da ottima durabilità e scarse esigenze manutentive. Tale tecnologia è sicuramente più resistente e durevole di un sistema a cappotto in quanto meno sollecitato dalle azioni esterne e meno suscettibile di degradi e guasti derivanti dalla tecnologia del sistema stesso.

Lo schermo avanzato, come si è visto, è concepito in quanto strato di sacrificio per resistere ai carichi e agli agenti atmosferici, quindi appositamente progettato in termini di materiali e dettagli tecnologici. Ogni elemento della facciata ventilata, montato a secco sugli altri con i dovuti accorgimenti progettuali (scegliere sistemi che consentono il fissaggio indipendente degli elementi di rivestimento, stabilire la posizione di fori e asole per controllare le dilatazioni termiche dei componenti, prevedere l'installazione di materiali e strati di separazione per ridurre l'attrito e prevenire l'insorgere di disturbo acustico, ecc.) vive in un proprio spazio svincolato dagli altri con due conseguenze positive: da un lato, laddove vi fosse un guasto, si impedisce l'innescare di concatenazioni e di propagazione del degrado, dall'altro assicura operazioni manutentive limitate agli elementi di facciata coinvolti che consistono in rapide

operazioni di smontaggio, montaggio e sostituzione di elementi, senza perciò arrecare particolare disturbo allo svolgimento dell'attività ospedaliera. La tecnologia a facciata ventilata risulta quindi complessivamente più affidabile di un sistema a cappotto e non è detto che i costi maggiori da sostenere per la sua realizzazione non vengano infine compensati dai minori costi di manutenzione durante la vita utile del nuovo involucro.

Si noti inoltre che l'adozione di una facciata ventilata per rivestire un edificio è una soluzione reversibile, in quanto installata a mezzo di componenti meccanici connessi a secco. Tale caratteristica consentirà quindi di riqualificare oggi le facciate di un edificio lasciando al contempo aperte le possibilità per altri futuri interventi di aggiornamento dell'involucro, come nel caso di edifici ad uso commerciale citato nell'introduzione; per l'edificio in esame, tale caratteristica potrebbe essere ad esempio sfruttata per un futuro rinvigorismento prestazionale, sull'onda della continua evoluzione tecnologica e normativa che caratterizza il campo dei materiali e delle costruzioni.

4.3.3 Ipotesi 03

Con la terza e la quarta ipotesi si analizzerà il grado di competitività di ipotesi progettuali che prevedano la demolizione della chiusura esistente e il suo rifacimento integrale, rispetto a quelle che invece la conservano.

Si faccia attenzione che quando si parla di riqualificazione di una facciata si potrebbe essere spinti a pensare che sbarazzarsi di quella esistente rappresenti il miglior modo per rinvigorire la performance dell'edificio, ma non è detto che questo corrisponda a realtà. Infatti, a meno che l'intervento sia dettato da gravi necessità di ripristino di situazioni di guasto, sintomo di un'erronea concezione o esecuzione della chiusura, nella maggior parte dei casi esse potranno ancora offrire un set di prestazioni base che potranno essere sfruttate se non addirittura agevolare il progettista a raggiungere determinati obiettivi, peraltro senza tutte le implicazioni che necessiterebbe la loro rimozione.

In altri casi, invece, ci può trovare davanti a esigenze prestazionali che la parete esistente, seppur implementata, non sarà mai in grado di offrire. Si pensi ad esempio al caso di un edificio esistente cui venga assegnata una nuova destinazione d'uso che richiede particolari livelli di illuminazione naturale (come una scuola o un museo): a meno di casi particolari come quello delle facciate dell'edificio Monoblocco esposte a sud, costituite da un nastro continuo di serramenti posati in luce tra i pannelli prefabbricati, modificare le caratteristiche di luminosità di un ambiente sarà pressoché impossibile a meno di parziali o totali demolizioni. O si pensi all'ipotesi in cui il paramento esistente non verifichi i requisiti statici nei confronti delle azioni cui sarà sottoposto.

In questa sede si vuole perciò indagare la convenienza o meno della sostituzione delle facciate del caso di studio, assumendo che la loro rimozione non sia obbligatoria, ma sia una possibilità tra le tante da valutare a livello prestazionale e operativo.

4.3.3.1 Strategia

La terza strategia esaminata prevede quindi la demolizione della chiusura esistente e l'applicazione di una nuova facciata ventilata, di nuovi serramenti e di nuove schermature solari.

4.3.3.2 Tecnologia

Per meglio comprendere le soluzioni descritte ci si riferisca alle sezioni tipo, ai dettagli di interfaccia e ai rendering rappresentati nelle Tavole 16, 17, 18 e 27.

Facciata ventilata

Il progetto della facciata segue la stessa logica progettuale adottata nell'ipotesi 2, con l'unica differenza che stavolta è necessario definire anche il supporto murario di tamponamento. La scelta della tecnologia dell'elemento murario in relazione alla resistenza termica è di secondaria importanza, in quanto essa viene demandata prevalentemente all'elemento termoisolante vero e proprio per via del minor costo unitario. Il potere fonoisolante e l'inerzia termica invece sono parametri fortemente collegati alla massa dell'elemento di chiusura: essendo minima quella offerta da rivestimento di facciata (esiguo spessore) e dall'isolante (bassa densità), il suo quantitativo sarà generalmente dipendente dallo strato portante. Anche il controllo delle tolleranze geometriche è fondamentale, poiché la loro definizione incide in maniera sensibile sulla successiva posa dello schermo avanzato: una mancata definizione potrebbe comportare un'assenza di controllo durante la fase di esecuzione da parte dell'impresa di posa con forti ripercussioni in termini di successiva necessità di adeguamento dei sistemi di supporto della facciata (con attivazione di contenziosi); è bene, quindi, indicare sia le tolleranze di verticalità e planarità del supporto murario, in genere di alcuni millimetri sotto staggia di 3 m. Infine si devono valutare i requisiti richiesti per il comportamento al fuoco della facciata, che ovviamente interessano anche le caratteristiche del supporto.

Supporto murario

Alla luce di quanto esaminato, la prima discriminante nella definizione del supporto murario per le facciate del San Carlo è stata la scelta tra l'utilizzo di tecnologia tradizionale o stratificata a secco. Murature in blocchi di laterizio o calcestruzzo posate in opera forniscono un discreto livello prestazionale ma richiedono molta manodopera e lunghi tempi di posa. Chiusure stratificate in lastre e materiale isolante o in legno lamellare avrebbero garantito un'installazione più veloce, lavorazioni pulite, ma scarse prestazioni acustiche e soprattutto termiche, che aggraverebbero le condizioni di comfort degli ambienti interni.

La ristrutturazione funzionale dei piani di degenza prevede infatti la redistribuzione degli ambienti, le cui pareti saranno realizzate con tecnologia stratificata a secco in cartongesso e lana di roccia; i pavimenti saranno contestualmente liberati dall'attuale rivestimento di finitura, isolati acusticamente con materassino elastomerico e completati con un massetto galleggiante alleggerito, avente quindi minore capacità termica. I soffitti saranno placcati con controsoffitto in cartongesso su sottostruttura in alluminio che per ragioni acustiche sarà completata con materassini fonoassorbenti in lana di roccia. In generale, quindi, l'intervento porta a una riduzione della capacità di accumulo ⁴³ degli elementi che definiscono la stanza, utile sia in inverno che in estate come volano termico per l'immagazzinamento di energia sotto forma di calore: in inverno, durante il periodo di accensione del sistema di riscaldamento la massa si carica e quando la temperatura del locale si abbassa (interruzione notturna del riscaldamento, apertura di finestre, ecc.) si scarica, cedendo calore al locale; in estate, secondo lo stesso principio, essa permette di assorbire gli apporti gratuiti in eccesso (rientri di energia

⁴³ La capacità di accumulo di calore dipende dalla massa volumica, dal calore specifico e dalla conduttività termica del materiale. Il prodotto tra la capacità di accumulo e la resistenza dà l'inerzia termica.

per radiazione attraverso le superfici vetrate) accumulando energia e prevenendo quindi il rapido innalzamento della temperatura dell'aria che si avrebbe in un ambiente poco massivo e molto isolato.

Al fine di conservare almeno il quantitativo di massa in facciata, si è quindi optato per una tecnologia tradizionale. Il punto d'incontro tra le esigenze prestazionali e quelle operative è stato individuato nei blocchi in laterizio rettificati, che possiedono da un lato buone caratteristiche acustiche e di inerzia termica, mentre dall'altro garantiscono rapidità di posa, pulizia del cantiere e controllo delle tolleranze dimensionali. Ciò consente la realizzazione di una muratura precisa che non necessita un'eventuale intonacatura di regolarizzazione prima della posa della facciata ventilata, con aggravio di carico sulle strutture, costi e tempi di realizzazione. Essi sono inoltre in classe di reazione A1 e garantiscono una resistenza al fuoco EI 180.

Sebbene la resistenza termica dell'elemento portante, complementare a quella dell'elemento termoisolante vero e proprio, non costituisca un primario vincolo di scelta della muratura (in genere pochi centimetri di materiale termoisolante equivalgono a decine di centimetri di paramento murario), si può anche considerare che l'adozione di blocchi rettificati avrà positivamente influenza sulla prestazione della muratura, legata all'assenza dei giunti di malta, elemento termicamente debole delle murature tradizionali. La resistenza potrà inoltre essere migliorata prevedendo blocchi a incastro, in quanto vengono ridotti i ponti termici verticali fra blocco e blocco, oltre che l'utilizzo di argilla porizzata, in quanto con maggior contenuto di aria rispetto a quella tradizionale, comporta una sensibile riduzione della conducibilità termica.

La muratura sarà quindi posata in opera a filo del solaio (per garantire la continuità dell'isolamento termico) con tutti gli accorgimenti necessari per renderla solidale alla struttura e garantire il corretto funzionamento in caso di sisma. In corrispondenza dei serramenti, la veletta sarà realizzata con architrave e blocchi di spessore inferiore, e arretrata per consentire l'alloggiamento del sistema oscurante all'interno della facciata e realizzare in modo semplice la continuità dell'isolamento.

La riduzione dei carichi del supporto murario e il suo dimensionamento ad hoc, consentono in questo caso di adottare qualsiasi materiale di finitura per il rivestimento esterno. Si progetterà quindi il sistema per una finitura in GRC (Glass Reinforced Concrete).

Poiché le facciate vengono ricostruite a partire dalla struttura al rustico, l'intervento può essere l'occasione per ridefinire la scansione dei prospetti assieme alla forma e alla posizione dei serramenti. Su questo presupposto, si decide di adottare un sistema a facciata ventilata con profondità "standard" in cui il rivestimento dista circa 20 cm dal piano rustico del tamponamento (12 cm di isolante + 8 cm di ventilazione) mentre sarà più sporgente in corrispondenza delle colonne impiantistiche. Questa soluzione è possibile in quanto la libertà di definire un nuovo motivo di facciata potrà essere sfruttata per ottenere comunque un

risultato armonioso, che richieda meno impiego di materiale allontanando il rivestimento al filo rustico solo laddove è necessario.

Figura 63 - Esempi di prospetti il cui motivo è determinato da arretramenti e avanzamenti della facciata (www.alucobond.com)



Intercapedine L'intercapedine sarà ancora di tipo molto debolmente ventilato o micro ventilato, nella quale la circolazione d'aria avverrà in misura limitata. La distanza del piano di posa del rivestimento di facciata muratura sarà di 20 cm per la sezione corrente e pari a 30 cm in corrispondenza dei montanti impiantistici. Le facciate saranno uguali negli spessori e nella forma.

Sottostruttura Il supporto del rivestimento sarà realizzato interamente con sistema meccanico a secco, formato da una sottostruttura a soli montanti sorretta da staffe.

La scelta di utilizzare solamente montanti è frutto di considerazioni sulla geometria delle superfici da rivestire e funzione del rivestimento di finitura (pannelli), che ha determinato anche la scelta del materiale di cui sono composti: essi saranno profili a T o L in alluminio estruso, per meglio armonizzarsi col rivestimento in termini di leggerezza e precisione dimensionale. Essi avranno lunghezza pari a quella di interpiano o a quella della porzione di tamponamento tra i serramenti di due piani consecutivi, per agevolare il trasporto e la movimentazione in cantiere e sul ponteggio, oltre che per assecondare i movimenti differenziali di piano.

Il funzionamento statico di tali elementi astiformi sarà uguale a quello descritto per l'ipotesi di redadding precedente.

Le staffe e gli elementi rompi tratta saranno costituite da un elemento a L in acciaio inox, installate interponendo tra esse e la muratura un elemento in neoprene spesso 5 mm di separazione e taglio termico; Esse avranno lunghezza sufficiente a emergere dallo strato isolante e consentire l'ancoraggio dei montanti compensando eventuali tolleranze di planarità e verticale della facciata esistente mediante asolature. Le staffe saranno connesse al supporto mediante appositi tasselli, di tipo meccanico in acciaio inox per il calcestruzzo in testa al solaio, di tipo chimico con calza per i laterizi. Gli accoppiamenti tra i diversi elementi della

sottostruttura saranno realizzati a mezzo di tradizionali elementi passanti che li serrino, quali viti, bulloni o rivetti.

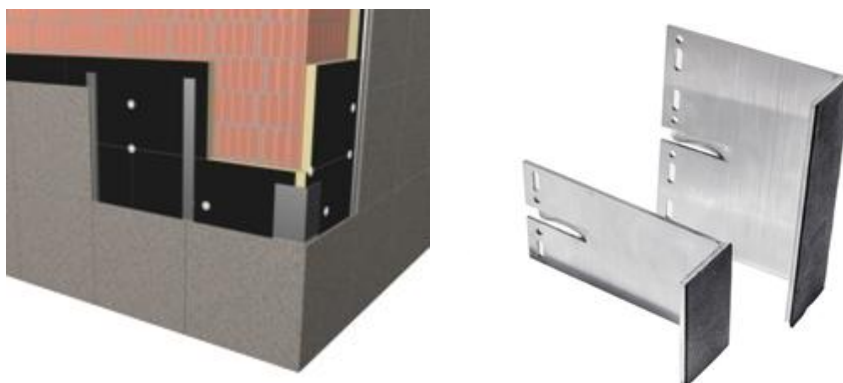


Figura 64 - Esempio di sottostruttura con staffe a L e montanti a T

L'isolamento termico sarà realizzato tramite l'applicazione di pannelli isolanti in lana di roccia posati in singolo strato di spessore pari a 12 cm sia in sezione corrente che dietro alle colonne impiantistiche. Essi saranno applicati dal basso verso l'alto, completamente accostati e sfalsati sia nei giunti verticali sia nei giunti d'angolo e fissati meccanicamente al supporto murario.

Isolante

I tasselli saranno del tipo idoneo al supporto, interamente in plastica, o con chiodo in acciaio zincato e testa in materiale plastico, o ancora con chiodo in acciaio inossidabile e testa in materiale plastico, in funzione delle verifiche di resistenza. Il fissaggio avverrà con un numero minimo di tre tasselli per pannello disposti a V (uno sul lato inferiore, due su quello superiore) per evitare l'insorgere di fenomeni di inarcamento.

Anche in questa ipotesi è preferibile utilizzare pannelli con rivestimento superficiale in velo minerale o protetti tramite telo microporoso traspirante, impermeabile all'acqua ma traspirante nei confronti del vapore, anche per via delle maggiori dimensioni del giunto aperto tra gli elementi di rivestimento.

Lo strato di finitura sarà costituito da pannelli in GRC spessi 15 mm, di larghezza variabile, alti 180 cm (altezza costante – pari a quella delle finestre – per minimizzare la gamma dimensionale e gli sfridi), con giunti di 8 mm.

Rivestimento

Questo tipo di finitura è stato scelto per le sue caratteristiche di rapidità di posa (grandi formati), di leggerezza (circa 3 kg/m²) ma anche di resistenza meccanica e di durabilità. Il GRC è infatti un materiale composito a matrice cementizia con inerti a granulometria molto fine di sabbia silicea, rinforzato con fibre di vetro allo zirconio alcali-resistenti e additivato con polimeri acrilici che gli conferiscono l'impermeabilità all'acqua. Se soggetto a forti sollecitazioni di trazione o flessione può essere rinforzato con armatura diffusa in fibra di vetro. Può inoltre essere pigmentato o rifinito superficialmente con graniglia a seconda della finitura richiesta. Le fibre di vetro assumono quindi funzione di rinforzo disperso nella matrice, offrendo grande resistenza meccanica in quanto le azioni applicate vengono diffuse in tutte le direzioni, mentre l'uso di quarzo come inerte, la granulometria molto fine che rende la superficie liscia e compatta, le fibre di vetro e i copolimeri rendono i pannelli estremamente durevoli anche in

ambienti molto aggressivi, come a contatto dell'atmosfera e delle piogge acide delle grandi città. Le sue caratteristiche fisiche assicureranno dunque buona affidabilità in esercizio in termini di resistenza e durabilità. Il cemento fibrorinforzato risponderà ottimamente anche ai requisiti di resistenza a gelo e disgelo essendo trattato per non assorbire acqua, e di resistenza agli agenti biologici, essendo un materiale inerte.

Un ulteriore vantaggio può essere intravisto nella flessibilità formale di tale materiale che può essere stampato o estruso in qualsiasi forma: un ulteriore sviluppo di tale applicazione all'intervento di redadding in esame, se ritenuta vincente, potrebbe quindi prevedere lo studio più dettagliato di appositi profili o elementi in GRC per mascherare gli impianti in facciata contribuendo anche alla connotazione architettonica della stessa.

Figura 65 - Esempio di facciata in pannelli prefabbricati di GRC stampato dell'area Ex Bassetti di Vimercate (www.infobuild.it)



Lo strato di rivestimento della soluzione base ipotizzata presenta per ora lastre piane con giunti aperti tra gli elementi di 8 mm e fissati tramite rivettatura, rendendo possibile le operazioni di posa in sequenza libera per i motivi precedentemente esposti.

Saranno poi previsti e installati tutti gli elementi speciali quali profili di partenza e di chiusura, profili d'angolo, profili di raccordo, griglie di ventilazione, davanzi, scossaline, elementi per coprire i giunti di dilatazione, elementi a integrazione con le schermature solari ecc.

Internamente la stratigrafia sarà completata tramite il rivestimento della muratura al rustico con una mano di intonaco di base e un rivestimento vinilico di spessore pari a 1,5 mm da raccordare a quello del pavimento tramite sguscia.

Serramenti, schermature solari e colonne impiantistiche

I serramenti e le schermature solari esistenti saranno sostituiti con nuovi prodotti in modo esattamente analogo a quanto previsto nella prima ipotesi progettuale.

4.3.3.3 Prestazioni

Resistenza

La resistenza meccanica della chiusura opaca è completamente demandata alla nuova stratigrafia e in particolare al paramento murario. Esso dovrà presentare, oltre alle normali caratteristiche di resistenza alle azioni esterne ordinarie, anche sufficiente resistenza alle azioni puntuali dalla facciata ventilata che agisce tramite le staffe rompi tratta, cioè con una forza orizzontale che provoca momento e taglio. Un adeguato comportamento statico del supporto consentirà un minor impegno della sottostruttura della facciata ventilata, che si traduce in minori costi del sistema di supporto. La rimozione della stratigrafia esistente e la sua sostituzione con una tecnologia più leggera porterà a un minor impegno della struttura dell'edificio nel suo complesso, che potrebbe essere utile nell'adeguamento sismico dell'edificio alle normative vigenti. Prevedendo nuovi materiali di facciata non saranno necessarie prove di resistenza in situ, né si avranno incertezze riguardo alle prestazioni meccaniche fornite da ogni materiale. Per il rivestimento ventilato valgono le stesse considerazioni trattate nel precedente paragrafo.

Permeabilità all'aria e tenuta all'acqua

Sono garantite come nell'ipotesi 2.

Isolamento termico

La trasmittanza termica, calcolata secondo le assunzioni esposte nel paragrafo precedente con le caratteristiche dei blocchi rettificati porizzati tratti da scheda tecnica, risulta assumere un valore pari a $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ sia in sezione corrente che nella sezione in cui sono presenti gli impianti.

| materiale | fonte | densità [kg/m ³] | conduttività termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | fonte | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] |
|--|---------|---------------------------------|---------------------------------------|---|---------|--|--|
| blocchi in laterizio rettificati porizzati | Paroton | 760 | 0,16 | - | Paroton | 10 | - |

| n | conducibilità termica | resistenza termica | resistenza termica cumulata |
|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------------------|
| | λ [W/(mK)] | R [m ² K/W] | R' [m ² K/W] |
| esterno | | 0,04 | 0,04 |
| 1 | 0,038 | 3,16 | 3,20 |
| 2 | 0,160 | 1,56 | 4,76 |
| 3 | 1,66 | 0,00 | 4,76 |
| 4 | 0,11 | 0,01 | 4,78 |
| interno | | 0,25 | 5,03 |
| totale | | 5,03 | |
| densità di flusso | trasmissione | trasmissione limite | sp. isolante da |
| φ [W/m ²] | U [W/(m ² K)] | U _{lim} [W/(m ² K)] | s _{min} [m] |
| 4,04 | 0,20 | 0,34 | -0,08 |

I serramenti saranno ancora scelti per avere trasmittanza termica complessiva $U < 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, come nel primo caso.

Controllo della condensazione

Le verifiche di condensazione superficiale della sezione corrente sono soddisfatte, così come quelle di condensazione interstiziale in tutti i mesi (Scheda 08).

In questo caso tuttavia, potendo ridefinire interamente il nodo di interfaccia tra gli elementi verticali di chiusura e le partizioni orizzontali, sono scongiurati anche tutti i possibili fenomeni di condensazione localizzata, in quanto lo spessore omogeneo e continuo di materiale isolante garantisce elevate temperature interne lungo tutto lo sviluppo della parete. Andrà al limite verificato, tramite software agli elementi finiti, l'andamento delle isoterme in corrispondenza dei nodi tra chiusura opaca e chiusura trasparente, che non dovrebbero tuttavia generare situazioni di criticità nei confronti della condensazione poiché l'isolante è ben risvoltato fino a congiungersi alla linea di taglio termico dei serramenti.

Resistenza al fuoco

Si realizza la fascia marcapiano nel rispetto delle linee guida contenute nella circolare n° 5043, per raggiungere l'atteso grado di resistenza al fuoco della facciata: l'altezza è stata progettata maggiore di 1 m e le caratteristiche dei mattoni scelti permettono di rispondere positivamente al requisito di resistenza minima EI60. La resistenza al fuoco dovrà essere garantita anche in corrispondenza di tutti gli attraversamenti impiantistici tramite il rivestimento con appositi collarini e il tamponamento del varco murario con materiale che garantisca localmente una resistenza al fuoco almeno equivalente al resto della facciata.

Reazione al fuoco

Tutti i materiali utilizzati (laterizio, lana di roccia, acciaio e alluminio, GRC, intonaco cementizio e rivestimento vinilico) sono compatibili con le linee della guida tecnica, essendo di classe superiore o uguale alla B. Saranno inoltre adottate le accortezze illustrate per frammentare la facciata in camini indipendenti illustrate nella precedente ipotesi progettuale.

SCHEDA DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI TERMOIGROMETRICHE

caratteristiche

| | |
|------------------|--------------------------|
| elemento tecnico | chiusura verticale opaca |
| codice | CV03 |

strati funzionali

| n | materiale | densità [kg/m ³] | spessore L [m] | peso al m ² L [kg] |
|---------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| esterno | | | | |
| 1 | pannelli in lana di roccia | 125 | 0,120 | 15 |
| 2 | blocchi rettificati porizzati | 760 | 0,250 | 190 |
| 3 | Intonaco | 1800 | 0,005 | 9 |
| 4 | rivestimento vinilico | 1700 | 0,002 | 3 |
| interno | | | | |
| totale | | | 0,377 | 217 |

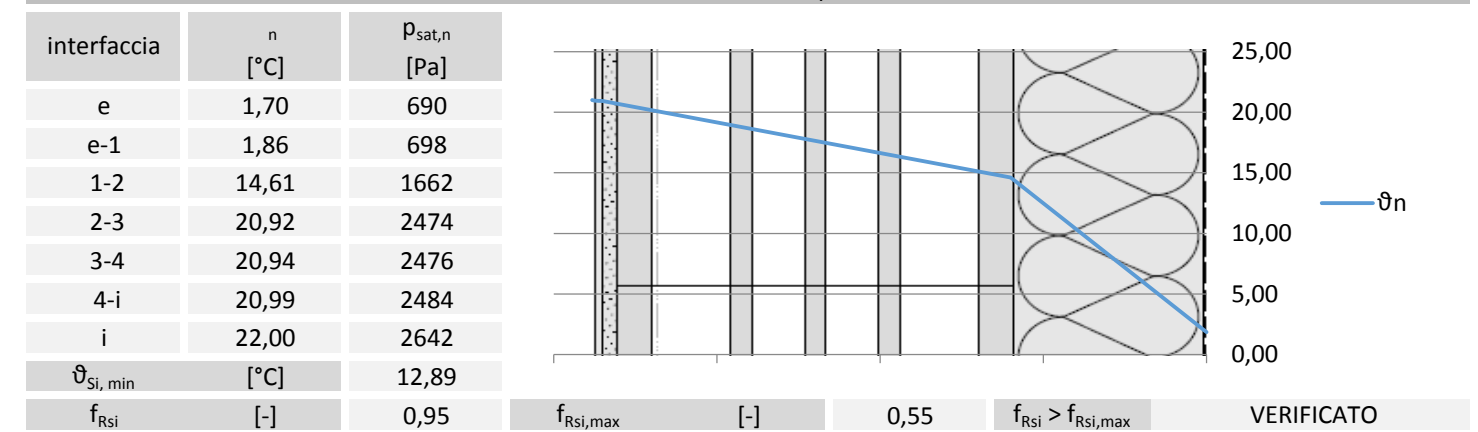
proprietà fisiche

| n | conducibilità termica λ [W/(mK)] | resistenza termica R [m ² K/W] | resistenza termica cumulata R' [m ² K/W] | fattore di resistenza al vapore μ [-] | permeabilità al vapore δ [kg/(m s Pa)] | spessore equivalente s _d [m] | spessore equivalente cumulato s' _d [m] |
|--|--|--|--|--|---|--|--|
| esterno | | | | | | | |
| 1 | 0,038 | 3,16 | 3,20 | 1 | | 0,12 | 0,12 |
| 2 | 0,160 | 1,56 | 4,76 | 10 | | 2,50 | 2,62 |
| 3 | 1,66 | 0,00 | 4,76 | 130 | | 0,65 | 3,27 |
| 4 | 0,11 | 0,01 | 4,78 | 8 | | 0,01 | 3,28 |
| interno | | | | | | | |
| totale | | 5,03 | | | | 3,28 | |
| densità di flusso Φ [W/m ²] | trasmissione U [W/(m ² K)] | trasmissione limite U _{lim} [W/(m ² K)] | sp. isolante da s _{min} [m] | | | | |
| 4,04 | 0,20 | 0,34 | -0,08 | | | | |

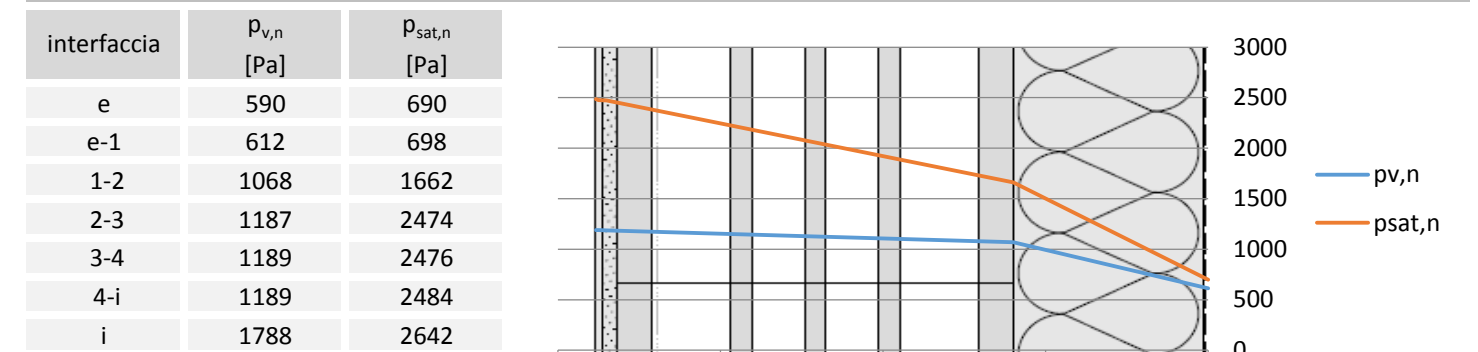
condizioni al contorno

| | | | | | | |
|----------|---|---------|--|------|--|------|
| località | - | Milano | ϑ _e [°C] | 1,7 | ϑ _i [°C] | 22 |
| mese | - | gennaio | Φ _e [%] | 0,85 | Φ _i [%] | 0,45 |
| | | | p _{sat,e} [Pa] | 690 | p _{sat,i} [Pa] | 2642 |
| | | | p _e [Pa] | 590 | p _i [Pa] | 1189 |
| | | | h _{cr,e} [W/(m ² K)] | 25 | h _{cr,i} [W/(m ² K)] | 4 |

andamento delle temperature



andamento delle pressioni di vapore



4.3.4 Ipotesi 04

4.3.4.1 *Strategia*

L'ultima tecnica di recladding esaminata prevede nuovamente la demolizione della chiusura esistente e l'applicazione di una nuova facciata continua completa di schermature solari.

4.3.4.2 *Tecnologia*

Per meglio comprendere le soluzioni descritte ci si riferisca alle sezioni tipo, ai dettagli di interfaccia e ai rendering rappresentati nelle Tavole 19, 20, 21, 22, 23 e 28.

Facciata continua

La facciata sarà del tipo a cortina, dove quindi tutti gli strati o elementi funzionali sono posizionati all'esterno degli elementi orizzontali e verticali che costituiscono lo scheletro strutturale dell'edificio.

Tra le possibilità tecnologiche si sceglie di utilizzare una tipologia a cellule, costituita da un telaio a montanti e traversi, elementi di chiusura opachi (spandrel) ed elementi di chiusura trasparenti, preassemblati in officina a realizzare unità aventi altezza pari a 3600 mm (interpiano) e larghezza pari a 1625 mm.

Questa scelta permetterà l'arrivo in cantiere degli elementi di facciata pronti per il montaggio. La posa potrà avvenire tramite l'utilizzo della gru di cantiere, minigrù o argani in un'unica soluzione, operando dall'interno dell'edificio secondo una sequenza basso-alto, ottenendo rapidamente la chiusura dell'ambiente interno. Il sistema di sollevamento sarà posizionato due piani sopra quello in fase di costruzione, in modo da agganciare le cellule predisposte al piano sottostante e da calarle in posizione al piano sotto ancora. Il metodo di posa non richiede quindi l'installazione di ponteggi fissi, punto particolarmente vantaggioso per edifici di elevata estensione e in presenza di vincoli temporali stringenti: generalmente, tale sistema consente infatti il montaggio di circa 20 cellule al giorno che nel caso in esame corrispondono a 120 m² di facciata, consentendo di terminare i 2800 m² di prospetto in meno di un mese.

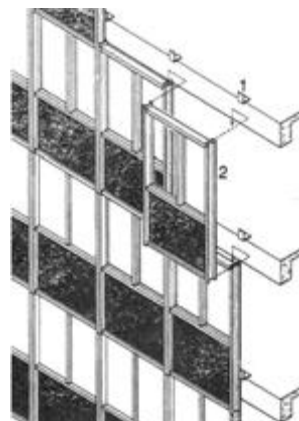
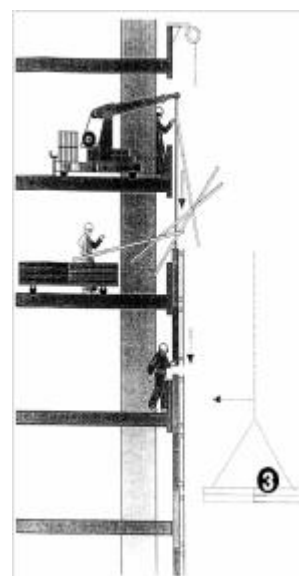


Figura 66 - Esempio di facciata continua a cellule e delle operazioni di montaggio (A. Carotti, Vetro strutturale e facciate continue)



Questa soluzione sarebbe valorizzata al massimo in un intervento il più possibile industrializzato: si è già discusso dei vantaggi che si avrebbero tramite l'utilizzo di bagni prefabbricati, ma si potrebbe anche parlare dei sistemi testaleto delle camere di degenza. In ogni stanza ospedaliera è infatti presente un elevato numero di sistemi impiantistici (gas medicali, elettrico, dati, telefono, tv, ecc.) stipati nella parete alle spalle dei pazienti, che durante la realizzazione richiedono un continuo adattamento e aggiustamento in opera; un processo industrializzato prevedrebbe invece la progettazione di un unico modello tridimensionale, che di conseguenza può essere curato nei minimi dettagli e realizzato attraverso un processo produttivo industrializzato in ambiente controllato che garantisce la massima qualità esecutiva. Gli elementi pressoché finiti arrivano in cantiere e, al pari di cellule e bagni, devono solo essere installati dove predisposto, in questo caso sulla stessa sottostruttura metallica che compone lo scheletro delle pareti stratificate a secco.

Figura 67 – Esempi di facciata e parete testaleto prefabbricate (www.harmon.com) (www.pepperconstruction.com)



Anziché aspettare che le fasi preparatorie di sgombero, svuotamento, demolizione e predisposizione delle strutture siano terminate, la costruzione degli elementi prefabbricati comincia al di fuori del cantiere, in stabilimenti produttivi dove le condizioni di lavoro sono completamente diverse – in senso favorevole – rispetto a quelle in situ. Essi possono quindi essere completati contemporaneamente alle lavorazioni che li precedono ed essere installati non appena esse siano terminate; la posa in opera necessita solo di minimi aggiustamenti,

garantendo la massima efficienza del cantiere che contemporaneamente sarà più sicuro, in quanto pulito e meno affollato di uomini e materiali nello stesso momento. A fronte di maggiori tempistiche per la progettazione e produzione dei componenti, la prefabbricazione garantisce vantaggi in termini di tempo, costi risparmiati, qualità del manufatto finito e sicurezza del cantiere, semplificando al contempo l'operato della Direzione Lavori nella gestione della programmazione, dei materiali, delle lavorazioni e della mano d'opera disponibile sempre meno qualificata, che rappresenta per il cantiere un fattore aleatorio sia rispetto alla qualità che rispetto alle tempistiche.

Tomando alla facciata in esame, ogni cellula sarà ulteriormente divisa da montanti e traverzi intermedi:

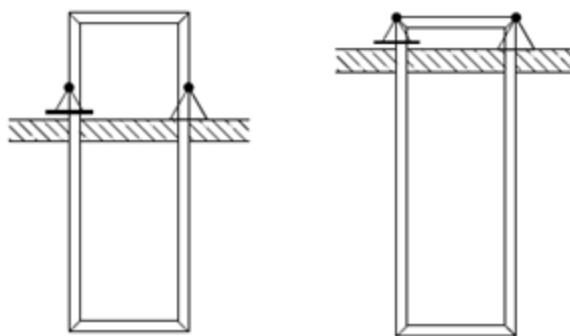
- Orizzontalmente in 3 sezioni; dall'alto verso il basso: una campitura opaca a formare la zona di parapetto e veletta (in realtà a sua volta composta da due pannelli spandrel poiché è necessario un traverso intermedio a cui fissare il sistema oscurante), una campitura trasparente apribile, una campitura trasparente fissa, che completa il parapetto per il raggiungimento della quota di 1,10 m ma che, essendo trasparente, garantisce la visibilità dell'ambiente esterno anche a una persona allettata;
- Verticalmente in 2 sezioni, larghe 650 e 975 mm: ciò consentirà di volta in volta di adattare la cellula alle esigenze distributive di piano e ai requisiti minimi per l'illuminazione degli ambienti, campendo liberamente le due parti con pannelli spandrel, vetrazioni fisse o vetrazioni apribili.



Figura 68 - Sezione verticale della cellula progettata

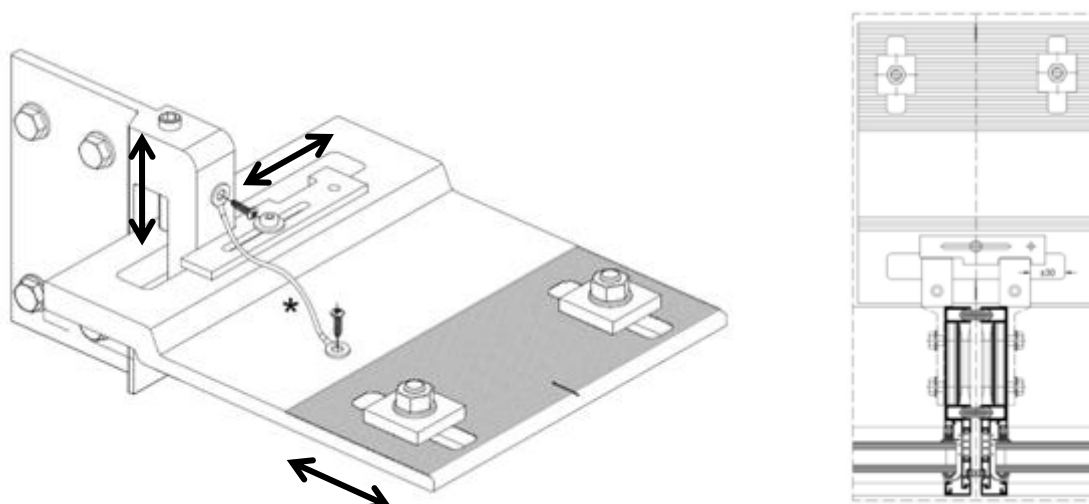
La snellezza dei profili che costituiscono il telaio strutturale della cellula impone, in modo analogo a quanto avviene per una facciata ventilata, che la facciata sia appesa in modo che i profili lavorino per trazione sotto il peso proprio, stabilizzandosi.

I giunti orizzontali tra cellule saranno predisposti in corrispondenza del traverso che divide la parte di parapetto vetrata da quella trasparente; sebbene sia generalmente preferibile frazionare la facciata in corrispondenza della quota del parapetto finito per consentire il montaggio in condizioni di maggiore sicurezza, tale esigenza è stata dettata dalla volontà di avere cellule complete in tutte le parti già prima della fase di montaggio in opera, comprensive di sistemi oscuranti: per l'installazione delle guide di scorrimento dei sistemi di schermatura solare si è resa necessaria la suddivisione delle cellule al termine della zona vetrata, a una quota di 55 cm anziché di 125 cm dalla soletta rustica.



Gli elementi di fissaggio delle cellule alla struttura dell'edificio dovranno adattarsi alle tolleranze di fabbricazione e di posa, consentendo quindi la regolazioni nelle tre direzioni spaziali per coordinare la struttura (con tolleranze dell'ordine del cm) con la facciata (con tolleranze dell'ordine del mm). Trattandosi di un intervento sull'esistente non sarà possibile utilizzare il classico sistema Halfen ma saranno previste delle piastre in acciaio ancorate all'estradosso della mensola di bordo tramite tasselli meccanici ad espansione.

Figura 69 - Piastra per il collegamento della cellula al solaio



La regolazione orizzontale in direzione perpendicolare al piano di facciata sarà permessa dalle asole nelle quali si inseriscono i tasselli di connessione alla struttura, la regolazione orizzontale in direzione parallela al piano di facciata sarà consentita da un'asola nella quale si inserirà il pemo di collegamento del montante alla piastra, la regolazione verticale avverrà mediante la regolazione di una vite che poggia sul bordo della piastra.

Il telaio sarà realizzato con profili estrusi in lega di alluminio e trattati superficialmente tramite ossidazione anodica o verniciatura. Essi saranno dotati di taglio termico: il collegamento tra la parte interna e quella esterna dei profili sarà realizzato in modo continuo e definitivo mediante listelli di materiale sintetico termicamente isolante (poliammide). Essi avranno sezione rettangolare di profondità almeno pari a 200 mm e larghezza pari a 50 mm. La sezione sarà scatolare per gli elementi intermedi, a C per i semiprofilo perimetrali, che saranno completati dal semiprofilo della cellula adiacente.

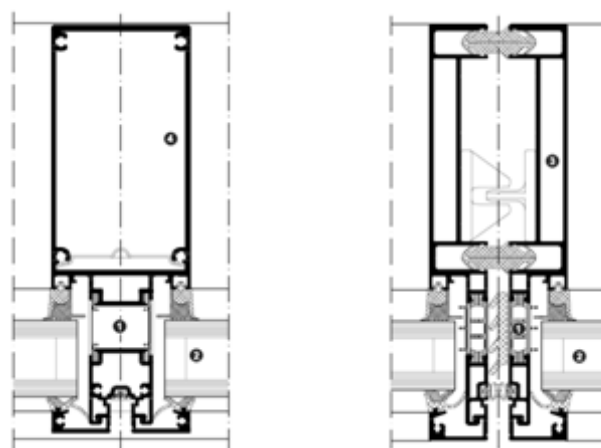


Figura 70 - Sezione orizzontale sul montante di mezzeria e di bordo della cellula progettata

Il fissaggio delle campiture potrà essere effettuato meccanicamente tramite pressori o tramite incollaggio strutturale. Nel primo caso vetrazioni e pannelli saranno inseriti all'interno delle appendici a taglio termico che sporgono esternamente al profilo rettangolare di montanti e traversi, mantenuti in posizione tramite pressori fissati a vite e completati di copertine metalliche di finitura applicate a pressione. Nel secondo caso vetrazioni e pannelli saranno incollati esternamente ai profili tramite particolari siliconi ad alta resistenza meccanica, sia in direzione verticale che orizzontale.

La combinazione di questi due metodi di fissaggio permetterà la libera definizione di un motivo di facciata che consentirà, mostrando o nascondendo i montanti e i traversi delle cellule, di scandire il prospetto con linee verticali e orizzontali, conferendo slancio verticale o orizzontale all'edificio.

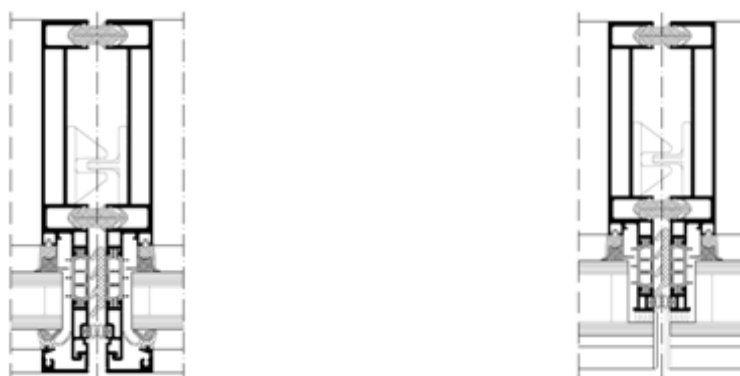
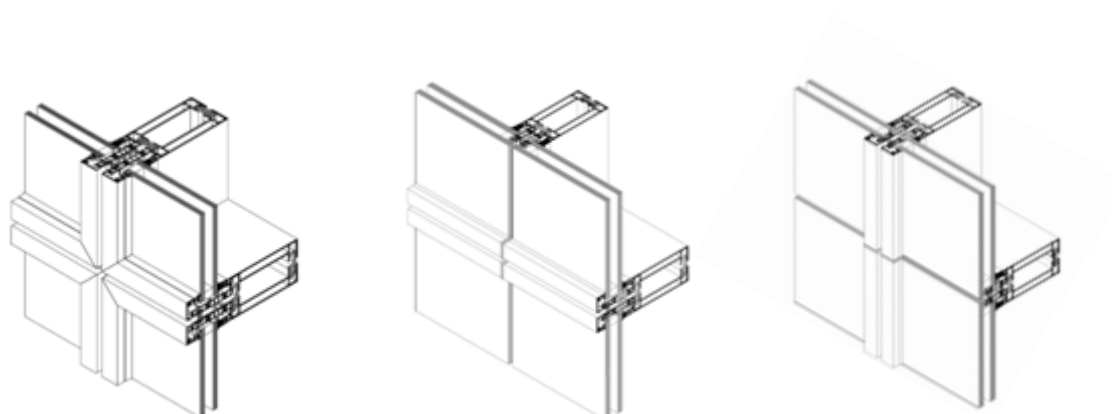


Figura 71 - Connessione della vetratura al montante tramite pressori o silicone strutturale



Le vetrazioni saranno costituite da vetrocamera 6-16-44.1 con profilo distanziatore in PVC, riempita con gas argon e dotata di coating bassoemissivo in faccia 3 che permette alla radiazione solare di entrare attraverso il vetro ma allo stesso tempo impedisce al calore dell'ambiente interno di uscire; ciò consente di ridurre i consumi energetici e di garantire che la temperatura superficiale della lastra interna sia maggiore della temperatura di rugiada e il più prossima possibile a quella dell'ambiente, per evitare fenomeni condensativi e/o asimmetrie radiative.

I pannelli spandrel saranno costituiti da un vetro singolo esterno riflettente temperato e smaltato sulla faccia interna, da una lastra antincendio, da uno strato di lana di roccia ad alta densità e da una lamiera posteriore di chiusura in acciaio inox prevemiciato per offrire maggiore resistenza meccanica e miglior comportamento in caso d'incendio. Tra la lastra vetrata e lo strato di isolante sarà presente una camera d'aria ventilata per equalizzare la pressione tra vetro di finitura e isolante e per asportare il calore in modo da prevenire rotture del vetro per shock termico.

Le campiture apribili saranno realizzate tramite serramenti collegati ai montanti e ai traversi, con apertura parallela verso l'esterno. Le vetrazioni saranno fissate al telaio apribile tramite incollaggio strutturale per non avere ispessimenti dei profili visibili dall'esterno.

Gli accessori di movimentazione dovranno essere scelti in funzione delle dimensioni e del peso dell'anta mentre gli accessori di manovra saranno costituiti, nelle camere di degenza, da maniglie rimovibili utilizzabili solo dal personale infermieristico.

Le guarnizioni cingivetro saranno in elastomero (EPDM) e compenseranno le sensibili differenze di spessore, inevitabili nelle lastre di vetrocamera, garantendo, contemporaneamente, una corretta pressione di lavoro perimetrale. Esse saranno dotate di alette che si estenderanno fino alla base della sede del vetro in modo da formare più camere.

Anche le guarnizioni di tenuta del serramento saranno in elastomero (EPDM), saranno inserite in una sede dell'anta mobile e ricavata sul listello isolante e avranno la battuta sul listello isolante del telaio fisso.

I profili di ferma vetro saranno inseriti mediante bloccaggi in plastica agganciati al ferma vetro stesso. Essi saranno sagomati in modo tale da supportare a tutta altezza la guarnizione cingivetro interna per consentire una pressione ottimale sulla lastra di vetro.

Il basamento, il coronamento e i raccordi laterali della facciata saranno completati con coprifili realizzati per mezzo di scossaline in alluminio prevemiciato di spessore minimo pari a 1,5 mm, sorrette da apposite staffe in acciaio inossidabile di spessore minimo pari a 2 mm.

Schermature solari

In presenza di facciate vetrate, il controllo dell'irraggiamento solare è di fondamentale importanza non solo per garantire il comfort ambientale e minimizzare le richieste energetiche per mantenerlo, ma anche perché eccessivi rientri di calore attraverso l'involucro trasparente possono avere ripercussioni a livello architettonico e distributivo. Ciò può sembrare strano, ma si pensi al caso di edifici aventi facciate particolarmente estese o volumetrie dimatizzate particolarmente grandi: più è ampia la superficie vetrata, più importanti saranno i rientri di calore per irraggiamento solare, maggiori saranno i volumi d'aria da dimatizzare per compensarli e mantenere le condizioni di comfort; ciò può tradursi nell'esigenza di grandi canalizzazioni aerauliche che potrebbero non essere compatibili con la conformazione architettoniche dell'edificio⁴⁴ o rappresentare rischio di rumorosità.

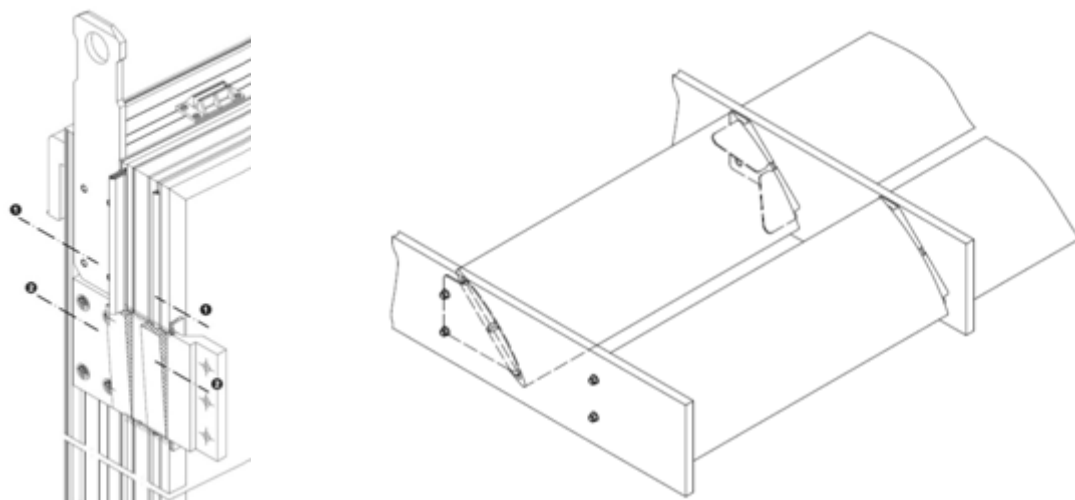
Per la protezione degli ambienti interni dalla radiazione solare estiva, inizialmente si è previsto anche in questo caso un sistema a schermature solari motorizzate del tipo a veneziana impacchettabile con lamelle orientabili. La scelta è stata ancora una volta determinata dall'esigenza di controllare i flussi luminosi ed energetici incidenti sulle chiusure trasparenti in modo adattabile alle condizioni climatiche e alle esigenze degli utenti: l'installazione di pale frangisole avrebbe potuto risolvere il problema della radiazione, ma non sarebbero bastate a governare il flusso luminoso; sarebbe stato allora necessario integrare una tenda tecnica o un sistema a lamelle orientabili che, tuttavia, in un ambiente ospedaliero non può essere installato all'interno dei locali per motivi igienici. Neppure si sarebbe potuta prevedere l'installazione di una schermatura in intercapedine al serramento, poiché il traverso che funge da parapetto divide la superficie vetrata in due campiture non comunicanti. Una soluzione si poteva riscontrare nell'installazione di un sistema a veneziana esterna con lamelle orientabili, che tuttavia, in assenza di oggetti sopra le chiusure trasparenti, avrebbe significato "barri care" gli utenti dentro la stanza durante la maggior parte della stagione estiva. Prevedere un oggetto orizzontale sopra la zona finestrata permette invece, soprattutto sulle facciate rivolte a sud, di bloccare i rientri energetici indesiderati per buona parte della giornata (quando il sole è alto) garantendo ai pazienti la visibilità dell'ambiente esterno, esigenza che diversi studi riconoscono come fondamentale nel processo di guarigione del degente.

Si è quindi ipotizzato un sistema di pale frangisole per il controllo dei flussi termici combinato con una veneziana esterna per il controllo dei flussi luminosi. Le schermature potranno essere realizzate come descritto nella soluzione 1, mentre le pale saranno costituite da profilati estrusi in alluminio anodizzato con sezione ellissoidale oppure in vetro serigrafato, fissati a delle mensole perpendicolari alla parete, unite ai montanti della cellula da apposite piastre. L'indinazione e la distanza tra le pale dovrà essere progettata al fine di bloccare la radiazione

⁴⁴ Negli interventi di riqualificazione in particolare, ci si trova spesso a doversi scontrare con strutture predeterminate che impongono forti limitazioni spaziali o distributive. Nell'edificio in esame, per esempio, l'altezza netta di piano e le travi ribassate dei corridoi costituiscono un forte vincolo per il dimensionamento delle condotte di aerauzione, in quanto lo spazio utile per la loro collocazione è obbligato e saturo degli altri impianti.

solare in estate ma permetterne l'ingresso in inverno per sfruttare i guadagni gratuiti di energia solare.

Figura 72 -
Schemature solari a
pale orizzontali e
piastra di
collegamento con la
cellula



Colonne impiantistiche

Per quanto riguarda i montanti impiantistici, sono state previste delle cellule il cui telaio sarà totalmente campito con un pannello spandrel, e il vetro temprato di finitura sarà sostituito con dei profili in lamiera metallica preverniciata o pannelli in GRC sorretti da apposita sottostruttura, smontabili per lo svolgimento delle operazioni di manutenzione. Tra lo spandrel e il pannello di finitura saranno alloggiati gli impianti già predisposti per il collegamento in rete, sia all'interno che all'esterno dell'edificio. Sorgeva a questo punto il problema legato alla connessione delle tubazioni esterne nei punti di interfaccia tra cellula e cellula. Come raggiungerle? Sono state anzitutto esduse ipotesi che prevedessero l'utilizzo di ponteggi o di piattaforme aeree telescopiche semoventi, vanificando il senso della prefabbricazione. Anche l'utilizzo di una piattaforma sospesa sarebbe stato impossibile per via degli aggetti orizzontali che ne avrebbero impedito la discesa parallela alla facciata. L'analisi di questo aspetto, inizialmente sottovalutato, ha portato a ridefinire la tipologia di schermature, prevedendo un sistema a pale parallelo al piano di facciata. Per consentire agevolmente le operazioni di manutenzione, questo avrebbe dovuto consentire il raggiungimento da parte degli operatori

dei pannelli di finitura della “cellula impiantistica”, la sua rimozione e il suo rimontaggio a seguito dell'intervento sugli impianti, tutte operazioni complicate da eseguire su un cestello in quota e attraverso un sistema di pale piuttosto ravvicinate. Si è quindi ipotizzato di porre il piano delle schermature a una distanza tale da consentire l'accesso dall'alto all'intercapedine che si forma tra la facciata e il frangisole.

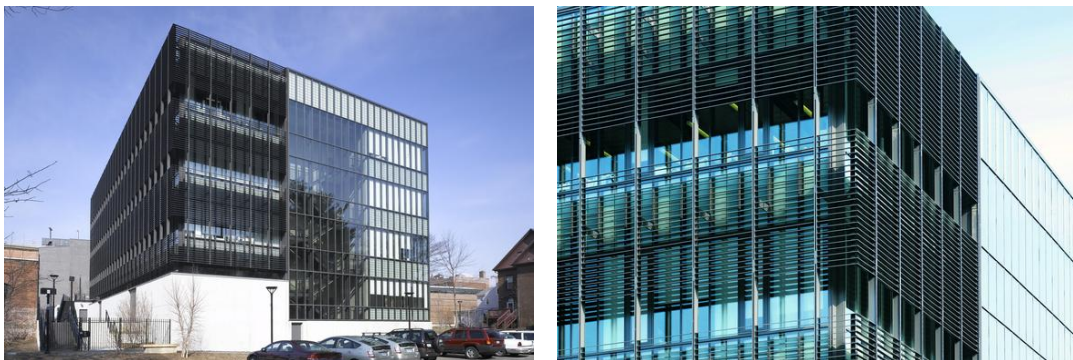


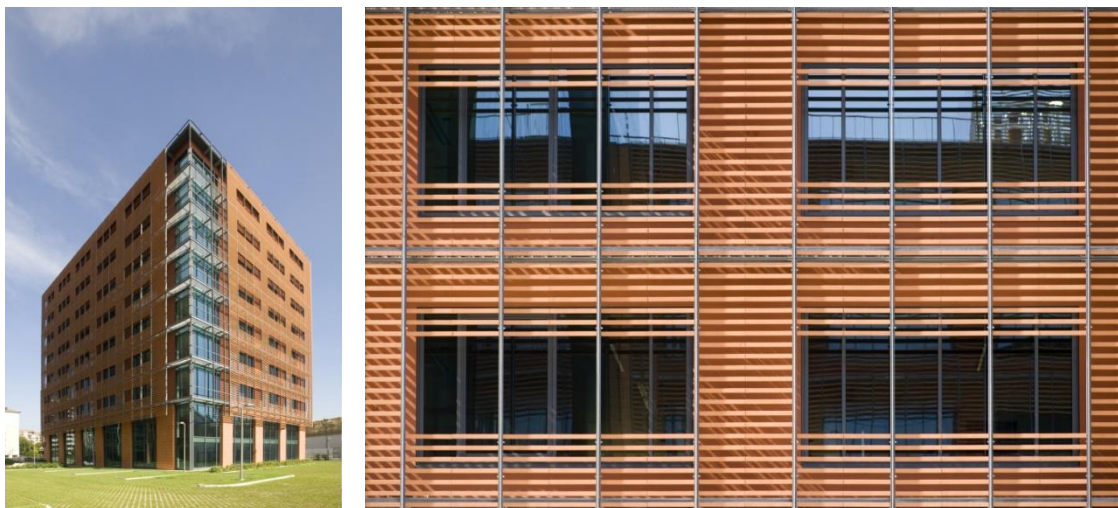
Figura 73 – Yale Sculpture Building, New Heaven, Connecticut, USA (www.schuco.com)

In ultimo, tuttavia, la soluzione che è risultata più semplice e al contempo efficace è stata prevedere l'installazione di un grigliato sulle mensole che sorreggono il sistema di schermature solari. Ciò dà origine a un camminamento di servizio largo 80 cm nella cellula normale e 50 cm nella cellula impiantistica, che consente il raggiungimento di ogni parte della facciata, senza opere provvisorie o mezzi di movimentazione aerea. Le cellule potranno arrivare in cantiere prive di frangisole, potranno essere movimentate al piano dove saranno completate con le pale e il grigliato, e infine sollevate e installate in facciata, dal basso verso l'alto; in qualsiasi momento, un operatore potrà accedere al camminamento dall'interno dell'edificio e riaccordare i segmenti di colonna impiantistica. Analogamente, durante la vita utile dell'edificio si potrà accedere al camminamento di servizio per eseguire le opere di manutenzione e pulizia delle cellule di facciata, degli impianti, degli schermi di regolazione del flusso luminoso e delle pale frangisole. L'accesso ad ogni punto del prospetto potrà avvenire completamente dall'esterno senza arrecare disturbo agli utenti delle camere di degenza, prevedendo ad esempio lo sbarco della passerella in uno spazio comune del piano.



Figura 74 – AGC Glass Building, Ottignes-Louvain-la-Neuve, Belgio (www.schuco.com)

Figura 75 - Edison
Business Center
Development a Sesto
San Giovanni (MI)
(www.focchi.it)



Dopo l'installazione delle cellule è bene che all'interno dell'edificio si eseguano soltanto lavorazioni pulite e a secco: da un lato la produzione di detriti e polveri rischierebbe di danneggiare la facciata, che è un prodotto molto evoluto ma delicato; dall'altro lato l'umidità prodotta da getti di massetti e intonaci non riuscirebbe a essere smaltita attrverso l'involucro, molto poco permeabile al vapore. Lo sviluppo dei dettagli tecnologici è stato quindi studiato per poter eseguire tutte le lavorazioni incompatibili con la facciata continua prima della sua installazione. Per la realizzazione dei nuovi sottofondi sarà quindi prevista l'installazione di un profilo metallico a L per contenere il getto del massetto e lasciare libera l'ultima parte di soletta. Realizzato l'intonaco antincendio, gettati i massetti e installate le piastre di sostegno del curtain wall, il cantiere verrà ripulito e verrà atteso il periodo minimo affinché l'umidità di getto venga smaltita. Verranno installati i bagni prefabbricati e solo allora sarà installata la facciata. Verranno eseguiti tutti i raccordi impiantistici, saranno installati gli elementi di protezione della facciata dal fuoco e infine saranno installate le partizioni interne, i controsoffitti e le opere di finitura. Si noti come la piastra di collegamento delle cellule al solaio sia stata mascherata da una seduta per i visitatori dei degenti: questa, realizzata con lastre resistenti al fuoco, avrà la funzione di mascherare l'attacco della facciata e contemporaneamente proteggerlo dal fuoco, permettendo tuttavia lo smontaggio della parete quando, al termine della sua vita utile, si decidesse di intraprendere un nuovo intervento di redadding.

Si evidenzia inoltre come un eventuale ulteriore sviluppo del progetto potrebbe riguardare l'integrazione di moduli fotovoltaici nella grande superficie offerta dalle lamelle che, inclinate per captare quanta più radiazione possibile in ingresso all'edificio, offriranno una prestazione ottimale in termini di produzione di energia, contribuendo positivamente al bilancio energetico. In questo caso, sarà necessario studiare attentamente la geometria in fase di progettazione affinché non si verifichino fenomeni di ombreggiamento tra gli elementi stessi, compromettendo l'efficienza dell'impianto fotovoltaico.

4.3.4.3 Prestazioni

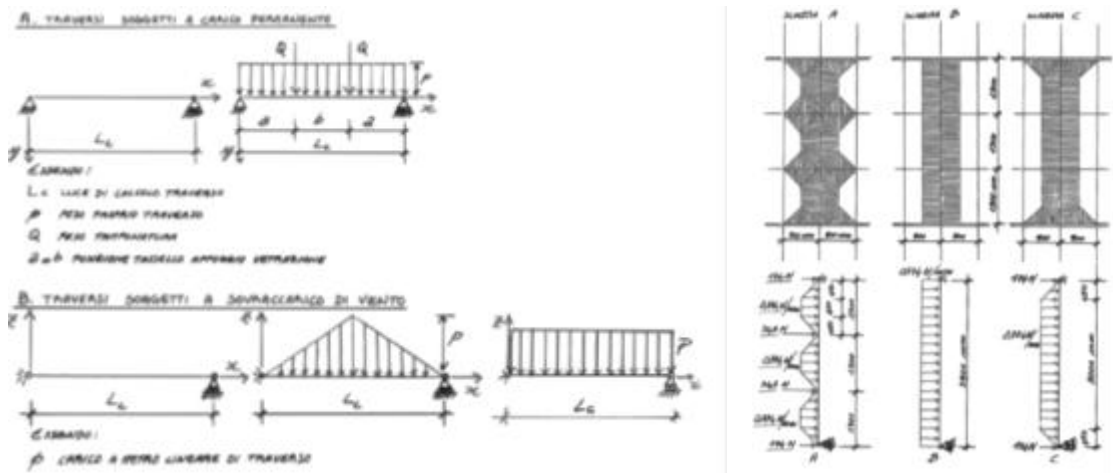
Resistenza

La resistenza meccanica della chiusura opaca è completamente demandata alla nuova stratigrafia e in particolare ai montanti e ai traversi. Le cellule sono compatibili con l'impegno statico richiesto alla struttura, in quanto non generano aggravii di carico. Infatti, il peso delle cellule si può stimare, con pure considerazioni geometriche; considerando la cellula di cui è riportato il dettaglio e profili con un'area di 15 cm^2 , il peso dell'orditura in alluminio è circa pari a 70 kg. Aggiungendo il peso di un vetrocamera composto da due lastre da 8 mm e grande quanto tutta la cellula (in realtà parte sarà spandrel, il cui peso è comunque inferiore a quello del vetrocamera) – di peso pari a circa 230 kg – si ottiene il peso totale della cellula, corrispondente a 300 kg, che sale a 400 se si utilizza un vetrocamera stratificato. Sommando infine il peso delle schermature solari in alluminio, stimato pari a 150 kg, si ottiene il peso della cellula nell'ipotesi più gravosa: 550 kg. Riferendolo all'area della cellula in esame, esso si traduce in un peso di 100 kg/m^2 , comparabile – se non inferiore – al peso della facciata attuale.

Come tutte le facciate, anche una facciata continua a cellule sarà sottoposta alle azioni del peso proprio (struttura e peso vetrata), del peso proprio degli accessori ed elementi complementari (frangisole o altro), all'azione del vento (che può essere contemporaneamente di pressione e depressione sulla stessa faccia), alle azioni vibratorie (dovute a traffico, pressione sonora, ecc.), agli urti esterni e interni ai locali, alle variazioni termiche, ai movimenti delle strutture murarie, al carico da sisma, ecc.

Per la tipologia in esame si potrà fare riferimento a schemi statici differenti per i profili verticali e orizzontali. I traversi saranno infatti schematizzati come trave con incastro e carrello, soggetta ai carichi permanenti degli elementi che porta (verticali) e alle sollecitazioni del vento (orizzontali). Lo schema statico dei montanti è invece più complesso, in quanto soggetti anche alle azioni concentrate nei punti di collegamento coi traversi, il cui contributo può essere considerato nella schematizzazione dei carichi: se essi sono portati interamente dal montante si avrà un diagramma rettangolare, mentre se sono portati dai montanti e dai traversi lo schema diventa trapezoidale. Lo schema più efficace per il montante risulta quindi essere quello a trave continua su più appoggi, quando sia possibile il collegamento dei montanti dei vari piani efficace nella trasmissione delle azioni tra le campate. Nel caso di cellule, la continuità tra montanti non è così certa come nelle soluzioni a montanti a traversi, in cui i primi sono collegati ai vari piani da manicotti: sarà meglio utilizzare lo schema a trave vincolata con cerniera e carrello, che meglio schematizza il montante appeso da soletta a soletta.

Figura 76 – Schemi statici per l'applicazione del carico sulla facciata continua (A. Carotti, Vetro strutturale e facciate continue)



Il caso in esame non presenta particolari criticità, ma dovranno essere attentamente analizzate le sollecitazioni prodotte dai frangisole: l'elevata distanza dal piano di facciata potrebbe generare momenti tali da richiedere un aumento delle sezioni dei profili che li sorreggono o un rinforzo locale in acciaio.

Permeabilità all'aria e tenuta all'acqua

La permeabilità e la tenuta tra gli elementi che compongono la cellula sono garantite da guarnizioni di cui sono dotati i pressori o dall'incollaggio strutturale stesso; quelle tra due cellule adiacenti sono invece garantite dalla particolare configurazione del telaio perimetrale della cellula, che permette l'accoppiamento tra telai consecutivi, sia in orizzontale che in verticale. Il giunto sarà chiuso mediante l'interposizione due guarnizioni nelle apposite cavità dei profili femmina – femmina, e protetto da guarnizioni aggiuntive che funzionano come la guarnizione a becco di un serramento a giunto aperto, creando cioè una camera di decompressione che smorza l'energia cinetica dell'acqua battente in facciata. La tenuta del serramento a inserimento sarà del tipo a giunto chiuso per via della particolare apertura del serramento.

Isolamento termico

La trasmittanza di una facciata continua si calcola seguendo la procedura indicata dalla UNI EN 13947:2007. Scelto un modulo di facciata rappresentativo, esso può essere suddiviso in elementi di tamponamento (vetrazioni o pannelli spandrel) in cui il flusso termico è monodimensionale, e in elementi di "giunto termico" (montanti, traversi, silicone, ecc.) in cui si verifica facilmente un passaggio di flusso termico bidimensionale. Per questo motivo la scelta del modulo rappresentativo deve essere fatta tramite piani che sezionano la facciata che rappresentino condizioni adiabatiche, come un piano di simmetria o in ogni caso un piano sul quale il flusso termico è perpendicolare alla facciata continua (senza effetti di bordo). Si segue il metodo di calcolo della trasmittanza della facciata continua "per componenti": il modulo rappresentativo viene diviso in aree aventi diverse proprietà termiche: montante, traverso, vetratura, pannello spandrel, telaio fisso e mobile del serramento apribile. La trasmittanza

dell'intera facciata è quindi calcolata come media delle trasmittanze e dei coefficienti di trasmittanza termica lineare di tutti i componenti, pesata sull'area e sulle lunghezze:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum A_m U_m + \sum A_t U_t + \sum l_{t,g} \Psi_{t,g} + \sum l_{m,g} \Psi_{m,g} + \sum l_{l,g} \Psi_{l,g} + \sum l_p \Psi_p + \sum l_{m,t} \Psi_{m,t} + \sum l_{t,t} \Psi_{t,t}}{A_{cw}} \quad (4)$$

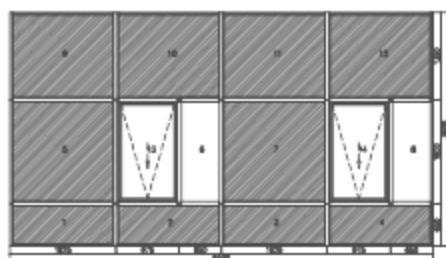
where

- U_g, U_p are the thermal transmittances of glazing and panels;
- U_f, U_m, U_t are the thermal transmittances of frames, mullions and transoms;
- $\Psi_{t,g}, \Psi_{m,g}, \Psi_{l,g}, \Psi_p$ are the linear thermal transmittances due to the combined thermal effects of glazing unit or panel and frame or mullion or transom;
- $\Psi_{m,t}, \Psi_{t,t}$ are the linear thermal transmittances due to the combined thermal effects of frame-mullion and frame-transom

Calcolate la trasmittanza termica del pannello spandrel U_p secondo la UNI EN ISO 6946, seguendo la procedura per cavità debolmente ventilate, quella degli elementi vetrati U_g può essere valutata tramite software tipo Guardian Configurator, mentre la trasmittanza termica di montanti U_m , traversi U_t e telaio U_f vengono valutate tramite calcolo bidimensionale con un software agli elementi finiti secondo la UNI EN ISO 10077-2 come illustrato in precedenza.

Tali valori vanno quindi corretti per tenere conto dell'effetto delle viti che collegano le sezioni interne a quelle esterne. I valori di trasmittanza termica lineare possono essere presi dall'Annex B per calcolare infine la trasmittanza della facciata continua.

Avendo scelto di utilizzare nella progettazione un serramento Schuco, per brevità se ne calcola la trasmittanza con l'apposito software Schuco U-Cal fornito dalla casa produttrice. L'esito del calcolo della trasmittanza effettuato a titolo d'esempio su una porzione di facciata in luce tra due pilastri e due solette, costituita quindi da 4 cellule, corrispondente a una camera di degenza, risulta essere pari a $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, mostrando come sia possibile raggiungere il limite normativo con una facciata piuttosto basilica come quella analizzata.



| 6. Complessivo | |
|--|-------------------------------|
| Superficie profilo Af | 0.230 m ² |
| Valore U profilo Uf | 3.2 W/(m ² K) |
| Superficie vetro + superficie pannello (Ag+Ap) | 1.167 m ² |
| Valore U vetro (Ug) / pannello (Up) | 1.1 W/(m ² K) |
| Lunghezza bordo vetro + bordo pannello (Lg+Lp) | 4.498 m |
| Valore Psi | 0.080 W/(mK) |
| Lunghezza bordo di collegamento alla muratura (L) | 4.890 m |
| Superficie riferita al telaio | 16 % |
| Somma delle perdite di calore | 2.38 W/K |
| Superficie complessiva | 1.397 m ² |
| Coefficiente di trasmittanza termica Uw (Valore nominale) | 1.7 W/(m²K) |

Figura 77 – Determinazione della trasmittanza termica della facciata continua col software U-Cal

Controllo della condensazione

La UNI EN ISO 10456:2008 – “Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto” attribuisce ai metalli e al vetro valori di resistenza alla permeabilità del vapore d’acqua infiniti. Seppur la normativa indichi di utilizzare per i calcoli di condensazione un valore di μ finito pari a 100000, col quale le verifiche risulteranno sempre soddisfatte, tale grandezza è indice delle ridotte proprietà di permeabilità all’aria della nuova soluzione di chiusura, che devono allertare il progettista in merito a quanto già discusso nel paragrafo 4.1 riguardo ai problemi di smaltimento dell’umidità prodotta negli ambienti interni.

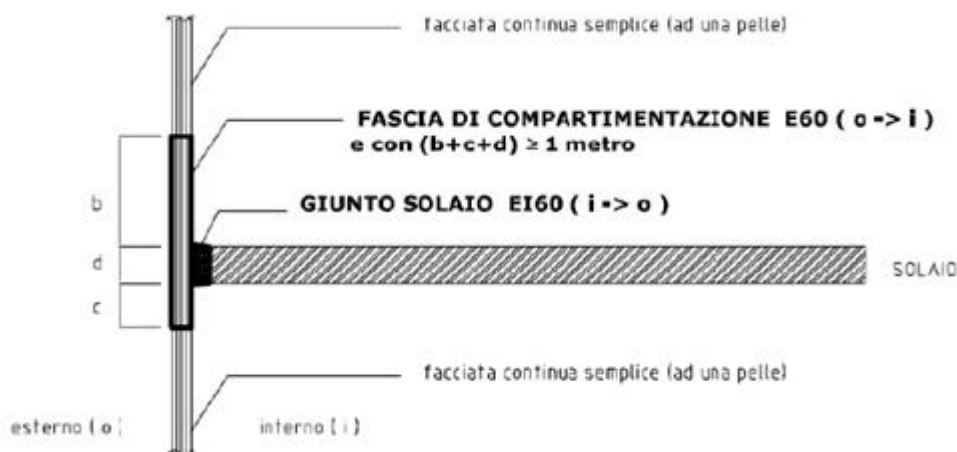
La sostituzione della facciata esistente con una moderna facciata in vetro e alluminio causa infatti una forte variazione del comportamento termoigrometrico dell’involucro edilizio sia in ragione della mutata classe di permeabilità all’aria, che annulla ogni tipo di infiltrazione, sia per la sostituzione di materiali permeabili con materiali a venti caratteristiche di bassa diffusività, che offrono sbarramento alla diffusione del vapore.

È quindi evidente come sia indispensabile, in quest’ipotesi progettuale, che l’umidità dell’aria che si forma all’interno dell’edificio venga evacuata tramite il ricambio dei volumi a mezzo di un impianto di ventilazione meccanica. Questo è in ogni caso già previsto dal progetto preliminare, quindi la soluzione illustrata è realizzabile, a patto che il suo dimensionamento e la sua regolazione tengano conto anche delle esigenze appena illustrate.

Resistenza al fuoco

In presenza di facciate continue è importante considerare, oltre ai provvedimenti per assicurare la sicurezza in caso d’incendio di cui si è già trattato, l’interazione tra il fuoco e la facciata in merito al pericolo di propagazione verticale dell’incendio tramite l’intercapedine che si crea tra la testa del solaio e il piano della facciata. Essa sarà potrà avvenire sia per fenomeni conduttivi che per fenomeni convettivi, imputabili rispettivamente a un’insufficiente resistenza al fuoco e a una scarsa tenuta al fumo in corrispondenza dell’attacco della struttura del curtain wall alle partizioni orizzontali dell’edificio.

Figura 78 – UX75 –
Figura 7.1 – Fascia di
compartmentazione
ed elemento di
giunzione della
facciata al solaio



Per risolvere queste carenze è stata realizzata una fascia per la compartimentazione verticale dell'edificio EI60, che ha inoltre il compito di proteggere dal fuoco gli organi di attacco dei montanti del curtain wall al solaio. Essa assolverà inoltre alla funzione di protezione del pannello spandrel che si trova nella fascia marcapiano, che durante l'incendio costituisce una protezione per gli occupanti dal rischio di caduta verso l'esterno, un solido punto di sbarco per le squadre di soccorso per poter accedere all'edificio dall'esterno o per evacuare gli occupanti e una protezione contro la caduta di parti di facciata che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento in sicurezza delle squadre di soccorso. La fascia presenterà uno sviluppo di 1,3 m > 1 m come prescritto dalla guida.

In questa zona è stato impiegato un pannello spandrel costituito da un vetro temprato, un pannello antincendio in calcio silicato, 12 cm di isolante e un lamierino di chiusura in acciaio spesso 2 mm. Il pannello antincendio proteggerà il connettore della facciata dall'attacco di fiamme provenienti dall'esterno dell'edificio, mentre sul lato interno allo spandrel è stata accoppiata una lastra di calcio silicato applicata a facciata installata. Dovendo fungere da setto tagliafuoco, essa sarà ancorata all'intradosso e all'estradosso della soletta stessa ma non alla facciata continua. Verrà quindi fissata al solaio tramite profili angolari in lamiera d'acciaio di spessore pari a 2 mm, protetti con vernice intumescente e sigillati contro il lato interno del pannello e quello del solaio tramite sigillanti siliconici specifici resistenti al fuoco (EI 60) che si espandono in caso di incendio, garantendo la tenuta nei confronti del fumo. Il fissaggio della lamiera, perché sia particolarmente resistente per limitare il rischio di caduta del sistema progettato, è stato effettuato mediante tasselli in acciaio con interasse di 50 cm.

Nell'intercapedine tra la soletta/trave di bordo e il pannello spandrel è inoltre interposta della lana di roccia.

Infine il montante è rinforzato in corrispondenza del pannello "spandrel" in modo da garantire una maggiore resistenza del pacchetto.

Reazione al fuoco

Tutti i principali materiali utilizzati (vetro, lana di roccia, acciaio e alluminio) sono compatibili con le linee guida, essendo di classe A1. In particolare:

- alluminio: non costituisce di per sé carico d'incendio, non produce fumi né gas, le caratteristiche meccaniche si azzerano dopo i 300 °C ed inoltre può fondere a temperature massime raggiungibili negli incendi edilizi;
- acciaio: non costituisce di per sé carico d'incendio, non produce fumi né gas tossici, la capacità portante si azzerava a temperature superiori a 400 °C, normalmente non fonde alle temperature massime raggiungibili negli edifici;
- vetro: non rappresenta un carico d'incendio, non è infiammabile né produce fumi o gas; alla temperatura di 700 °C rammollisce e collassa;

- materiali isolanti: nel caso di schiume di poliuretano, di polidioruro di vinile e in generale di materiale plastico possono costituire carico d'incendio, emettere fumi e gas tossici e produrre gocciolamento di materiale fuso; gli isolanti minerali non sono infiammabili ma possono ospitare al loro interno gas incombusti con il rischio di detonazioni;
- sigillanti e guarnizioni: possono costituire carico d'incendio, producendo fumi intensi e gas tossici, possono essere strumento di propagazione delle fiamme lungo la facciata e danno luogo a gocciolamento di materiale fuso quando la temperatura supera i 300 °C; la loro presenza percentuale è tuttora molto bassa.

Durabilità e affidabilità

Anche i sistemi a facciata continua sono contraddistinti da ottima durabilità e modeste esigenze manutentive. I materiali costituenti, poco sensibili alle azioni degli agenti esterni, non sono soggetti a particolari fenomeni di deterioramento ma necessitano di interventi di pulizia più frequenti di una facciata ventilata al fine di preservare nel tempo le caratteristiche di trasparenza e brillantezza che contraddistinguono le facciate in vetro e alluminio.

È tuttora importante considerare un particolare fenomeno a cui sono soggetti i vetri temprati rappresentato dalla rottura per shock termico, che si verifica quando si presentano in concomitanza difetti nella costituzione della lastra dovuti a inclusioni indesiderate di solfuri di nickel e forti escursioni termiche nell'ambito della stessa lastra vetrata: quando si verifica una differenza di temperatura su uno stesso vetro, con uno dei bordi come parte più fredda – provocato da irraggiamento solare localizzato o dalla vicinanza di fonti di calore – si generano sollecitazioni di origine termica che possono provocare la rottura del vetro stesso se tale differenza supera un certo valore critico (maggiore di 30°C per vetri ricotti, cioè non trattati termicamente)⁴⁵. Affinché questo rischio venga evitato, è buona regola considerare alcuni fattori in sede progettuale ed in particolare si dovranno valutare le condizioni climatiche del luogo, la natura del vetro, la natura e le modalità di posa in opera della facciata, l'aggiunta di elementi in posizione adiacenti alla vetrata, come elementi schermanti che possono essere utili a modificare le proprietà dell'insieme.

⁴⁵ Rigone, P. 2011, *Le facciate continue: la manutenzione dell'involucro edilizio vetrato*, Maggioli

05

La manutenzione dell'involucro edilizio

La gestione della manutenzione delle strutture ospedaliere, non si differenzia sostanzialmente dalle problematiche dell'edilizia e dell'impiantistica nel suo complesso: a esclusione del differente approccio richiesto dalle apparecchiature e dalle tecnologie medicali, il degrado fisico-prestazionale delle componenti edilizie e impiantistiche può essere trattato come comunemente avviene per altre tipologie edilizie, basandosi cioè sul tempo di vita utile del fabbricato. La qualità degli elementi tecnici, tra cui le chiusure verticali, è direttamente influenzata dalle scelte progettuali non solo riguardo alle prestazioni che essi forniscono, ma anche riguardo al mantenimento delle stesse nel tempo. Il momento progettuale è pertanto essenziale e determinante per una corretta impostazione degli aspetti tecnologici, economici e operativi legati alla futura gestione dell'organismo edilizio affinché esso possa mantenere col trascorrere degli anni le caratteristiche prestazionali desiderate ⁴⁶.

Sarà quindi fondamentale, in fase progettuale, la capacità di prevedere il comportamento dei sistemi, sub-sistemi e materiali nel tempo, al fine di effettuare scelte in grado di ottimizzare la programmazione tecnica degli interventi manutentivi e i costi di degli stessi. A tale fine, in questo capitolo si analizzeranno da un lato la qualità dei materiali che costituiscono le quattro soluzioni progettuali, dall'altro le qualità tecnologiche dell'intero sistema, al fine di ricercare la soluzione che presenti la massima manutenibilità.

La UNI 10147, definisce la manutenzione come "combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, volte a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta".

Il riconoscimento della manutenzione programmata come miglior approccio al mantenimento della qualità di un immobile nel tempo, espresso dalla rapida crescita dei servizi di gestione

⁴⁶ Dubini, S. & Grifa, E. 1999, "Problematiche della manutenzione negli ospedali", *Terza Conferenza Europea sull'Ospedale, Relazione C.N.E.T.O.*

immobiliare (facility management, property management, asset management), ha portato nell'ultimo decennio a un'evoluzione del quadro normativo legato al settore della manutenzione edilizia, sia dal punto di vista della normativa cogente (norme di legge) sia di quello della normativa volontaria (norme tecniche)⁴⁷.

Il D.L. n. 163 del 12 aprile 2006, costituisce la principale norma di riferimento per l'inquadramento degli obblighi di legge riguardanti la manutenzione edilizia; nel testo di legge è stabilito che il progetto esecutivo dell'opera deve essere corredato di un adeguato piano di manutenzione della stessa, in modo da pianificare interventi idonei a mantenere la qualità del fabbricato durante la sua vita utile, attraverso una serie di controlli periodici e conseguenti interventi di manutenzione. Esso deve essere costituito da tre documenti operativi:

- il *manuale d'uso*: deve contenere le indicazioni ad uso degli utenti per un corretto utilizzo dell'opera e delle sue parti e deve evidenziare ogni potenziale rischio connesso all'uso improprio del bene; il fruitore riceve tutte le indicazioni atte a riconoscere eventuali danni e/o disfunzioni e a mettere in atto tutte le attività che, pur in assenza di cognizioni specialistiche, egli stesso potrà individuare per preservare l'opera;
- il *manuale di manutenzione*: ha lo scopo di
 - raccogliere e organizzare le informazioni progettuali necessarie alla conoscenza dell'organismo edilizio e alla definizione degli standard di qualità che dovranno essere mantenuti nel tempo;
 - riportare la previsione dei processi di decadimento che potranno interessare le diverse classi di elementi tecnici, a seconda del loro contesto fisico, di utilizzo e di esercizio;
 - delineare gli aspetti tecnici e operativi degli interventi da attuare per riconoscere, prevenire o eliminare effetti e cause di eventuali guasti (manutenzione programmata e non programmata).
- il *programma di manutenzione*: ha il fine di descrivere i controlli e gli interventi da eseguire, a cadenze prefissate, per una corretta gestione del bene.

Parallelamente alla normativa cogente, negli ultimi decenni si è sviluppata in ambito edilizio una crescente cultura della prevenzione manutentiva – motivata sia dall'incremento di valore economico del bene immobile in sé, che da un'ampliata consapevolezza del valore e del costo sociale dello stesso e della conseguente convenienza di preservare piuttosto che edificare ex novo – che ha prodotto l'emanazione di norme di carattere volontario utili a fornire agli operatori del settore un quadro di riferimento per guidare i comportamenti e regolare le relazioni nell'ambito dei servizi di manutenzione. A partire dalla norma UNI 10604 – “Manutenzione. Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione di

⁴⁷ Rigone, P. 2011, *Le facciate continue: la manutenzione dell'involucro edilizio vetrato*, Maggioli

immobili” discendono quindi tutta una serie di disposti successivi dove si approfondiscono i temi individuati e meglio si definiscono terminologia, procedure, comportamenti e strumenti.

La norma UNI 10366:2007 – “Criteri di progettazione della manutenzione” stabilisce quali criteri adottare per la scelta della politica di manutenzione di una determinata opera (considerando i possibili guasti, i rischi che essi comportano e gli interventi attuabili per correggerli con relative valutazioni costi-benefici), quindi la UNI 10147 specifica le tre possibili strategie manutentive attuabili: correttiva o “a guasto”, migliorativa o preventiva.

Le operazioni di manutenzione possono a questo punto essere distinte in:

- *monitoraggio e ispezione*: operazioni che consistono nella valutazione del cambiamento nel tempo dei parametri funzionali di un oggetto osservato (monitoraggio) a seguito della “verifica della conformità mediante misurazione, osservazione, prova o rilevazione dimensionale delle caratteristiche relative ad un’entità” (ispezione);
- *pulizia*: operazioni che mirano all’eliminazione dello sporco che si accumula sulle superfici esposte agli agenti atmosferici per evitare che si inneschino fenomeni alterativi di grave entità;
- *manutenzione ordinaria*: operazioni cicliche che riportano il sistema in stato di avaria allo stato di buon funzionamento senza modificare o migliorare le caratteristiche originarie dell’opera;
- *manutenzione straordinaria*: interventi “non ricorrenti e d’elevato costo” rispetto agli interventi di manutenzione ordinaria, che possono prolungare la vita utile, migliorando le caratteristiche dell’opera. Possono anche essere operazioni di manutenzione rese necessarie dagli effetti dovuti a eventi eccezionali non prevedibili oppure di difetti costruttivi e di posa in opera.

Dal momento che le operazioni di monitoraggio sono simili per ogni tipo di facciata e che quelle di manutenzione straordinaria non sono prevedibili al momento della progettazione, di seguito si analizzeranno le operazioni di pulizia e manutenzione ordinaria richieste rispettivamente dai materiali e dagli elementi che costituiscono le soluzioni tecnologiche previste nelle quattro ipotesi di progetto.

5.1 Pulizia

La pulizia delle facciate deve avvenire in funzione dei materiali che ne compongono la superficie e a seconda del tipo di sporcizia da rimuovere in maniera differente in termini di prodotti detergenti e strumenti utensili per evitare di danneggiare le finiture per aggressione chimica o meccanica. Un'ulteriore variabile riguardo a tale operazione è la determinazione della frequenza di pulizia, che può dipendere da diversi fattori quali la localizzazione dell'edificio e dell'aggressività atmosferica (doruri in zone marine, polveri e particolati in zone urbane, ossidi in zone industriali, ecc.), la distribuzione e la forma delle facciate (esposizione agli agenti atmosferici quali irraggiamento solare, pioggia, grandine, neve, inquinamento atmosferico, variazioni di temperatura, ecc.) o la destinazione d'uso dell'edificio.

Si riportano quindi, per l'edificio in esame, le operazioni di pulizia richieste dai diversi materiali che potrebbero costituire la nuova facciata.

In linea generale, per tutti gli elementi sarà anzitutto necessario rispettare le seguenti indicazioni:

- eseguire un'accurata ispezione preliminare della facciata al fine di rilevare lo stato di pulizia ed eventuali danneggiamenti, difetti, ecc.
- verificare preventivamente la compatibilità chimica del detergente col materiale da pulire mediante prove preliminari su piccole parti;
- prestare attenzione all'aggressività del detergente anche nei confronti dei materiali circostanti all'elemento da pulire, con cui potrebbe venire a contatto;
- è consigliabile che sia il produttore della finitura di facciata a fornire le informazioni relative al prodotto di pulizia da utilizzarsi: pH, parametri di sicurezza, condizioni di applicazione, compatibilità con altri materiali, ecc.;
- evitare l'utilizzo di mezzi abrasivi (carta vetrata, lana d'acciaio, spazzole metalliche, sistemi ad alta pressione, ecc.) che potrebbero comportare il deterioramento dell'aspetto estetico della superficie;
- evitare la pulizia di elementi di facciata quando essi siano esposti direttamente all'irraggiamento solare o si trovino in condizioni di temperatura non idonee, così come i prodotti detergenti utilizzati;
- nel caso in cui le operazioni di pulizia ordinaria non fossero eseguite per lungo tempo, considerare la pulizia che si effettua come straordinaria, utilizzando quindi appositi prodotti adatti in grado di togliere la sporcizia profonda che aderisce alla superficie.

Vetro

La pulizia delle porzioni di involucro vetrate è fondamentale per conservare in primo luogo le proprietà di trasmissione luminosa, trasmittanza, riflettanza, brillantezza per il quale è stato progettato.

Per la pulizia superficiale si utilizzano acqua tiepida e un detergente neutro, applicati tramite una spugna morbida o un panno soffice, evitando l'utilizzo di sostanze acide o basiche che possono aggredire i sigillanti strutturali, i giunti di tenuta all'acqua, il PVB, i profili verniciati oppure ossidati che generalmente si trovano nell'intorno del vetro. Per la rimozione di depositi aderenti (impronte digitali, sostanze inquinanti, incrostazioni di fumo, ruggine, graffi) è invece necessaria la pulizia con un solvente, avendo cura di assumere le stesse precauzioni, mentre per rimuovere depositi calcarei causati dall'acqua di dilavamento che fosse entrata in contatto con cemento o con opere murarie si consiglia di effettuare il lavaggio mediante una soluzione a bassa concentrazione di acido acetico (dal 5 al 10%), (che non deve assolutamente entrare a contatto i materiali circostanti).

Alluminio

L'alluminio, anodizzato o verniciato, richiede l'impiego di prodotti neutri e spesso è sufficiente dell'acqua saponata neutra applicata con un panno soffice pulito. Si sconsiglia, anche in questo caso, l'utilizzo di sostanze acide e alcaline o di solventi organici.

Acciaio inossidabile

Gli acciai inossidabili sono acciai particolarmente resistenti alla corrosione e non necessitano di rivestimenti protettivi, come pitturazioni e smaltature. Il problema di una corretta pulizia è particolarmente importante, poiché lo sporco tende ad aderire fortemente alla superficie in acciaio inox, causandone la corrosione e la lacerazione, soprattutto in presenza di atmosfere particolarmente aggressive. Generalmente è sufficiente la pulizia con sostanze neutre tramite un panno morbido umido, ma per la rimozione di depositi più aderenti si ricorre a tecniche più specifiche quali spugnature di soluzioni di acido nitrico, soda caustica o trattamenti abrasivi, purché effettuati con utensili fatti dello stesso tipo di acciaio.

Guarnizioni

Per la realizzazione di guarnizioni per serramenti vengono comunemente utilizzate materiali elastomerici, quali E.P.D.M., neoprene e silicone, o sostanze plastomeriche, come PVC plastificato, gomma termoplastica, o PP. Una corretta pulizia della guarnizione elastomerica è indispensabile per mantenere nel tempo il suo aspetto estetico, ma soprattutto la sua funzionalità: la rimozione del deposito di materiali permette di evitare che la naturale diminuzione di elasticità, dovuta a lenta depolimerizzazione e a progressivo indurimento della gomma venga accelerata da indesiderate azioni chimiche o fisiche.

Devono essere evitati soluzioni acide o alcaline, oli, solventi e altri prodotti non specifici. Generalmente in occasione degli interventi di pulizia e manutenzione programmati per gli elementi di facciata limitrofi si esegue anche la lubrificazione delle guarnizioni.

Sigillanti

La pulizia dei sigillanti deve seguire le indicazioni fornite per la pulizia delle superfici verniciate e anodizzate.

Materiali lapidei, ceramici e cementizi

I sistemi da utilizzare per la pulizia dei materiali lapidei variano in funzione del tipo di pietra e della tipologia di sporco presente su di essa. Per le pietre carbonatiche e per i materiali ceramici la pulizia viene eseguita con un detergente a base alcalina diluito con acqua, mentre per le pietre silicee (graniti, porfidi, arenarie) si utilizza un detergente a base acida diluito con acqua. Essi vengono applicati con un rullo, pennello o a spruzzo, seguiti dalla rimozione di sostanze chimiche anche mediante l'ausilio di un'idropulitrice.

5.2 Manutenzione

Al fine di programmare la manutenzione, è innanzitutto necessario scomporre la facciata nei singoli componenti costituenti il sistema per stabilire per ognuno tutti gli interventi di controllo periodico, pulizia e manutenzione necessari in base alla sua funzione. È infatti importante distinguere i componenti che per il loro ruolo fondamentale devono garantire costantemente nel tempo le loro caratteristiche, dai componenti ai quali, in relazione alla loro funzione ed alle tecnologie produttive disponibili, non è richiesta una particolare durabilità o per i quali è economicamente più vantaggioso procedere alla sostituzione piuttosto che a una loro riqualificazione prestazionale. Il progettista potrà allora distinguere, in base a tale caratteristica:

- *componenti primari*: componenti con vita utile di servizio non inferiore alla vita utile di progetto della facciata stessa, considerati tali in ragione della loro importanza funzionale nei confronti della sicurezza in uso ed a causa della loro inaccessibilità. Per questa classe di elementi non si prevede generalmente alcuna operazione di manutenzione (fatta esclusione per i cicli periodici di pulizia) e si agisce su di essi solamente nei rari casi in cui si renda necessario un intervento a guasto, causato da particolari condizioni atmosferiche, sollecitazioni meccaniche o eventi eccezionali. Tra questi possono essere individuati sottostrutture, telai, organi di attacco alla struttura, sigillanti strutturali, isolanti termici, barriere al vapore, pannelli di finitura, scossaline, ecc. oltre che tutte quelle parti della facciata che, in ragione della loro posizione di difficile ispezione ed accessibilità non possono essere sostituiti;

- *componenti secondari*: componenti con vita utile di servizio inferiore a quella di progetto dell'intera facciata, che richiedono oltre agli interventi di manutenzione ordinaria anche interventi di manutenzione straordinaria che possono essere comprensivi della loro sostituzione: tamponature vetrate, accessori di movimentazione delle parti apribili, guarnizioni, sigillature, intonaci, e cc.

Di seguito si analizzeranno quindi gli interventi di manutenzione richiesti dai componenti secondari dei quattro tipi di facciata progettata:

Rivestimento a cappotto

Finitura

La finitura superficiale di un cappotto non assolve solo alla funzione estetica ma anche alla protezione degli strati di muratura retrostanti da intemperie, radiazione, agenti inquinanti, e cc. trovandosi ad essere l'elemento più sollecitato del sistema. Essa subirà quindi un normale invecchiamento che comporta la riduzione dello strato protettivo e la perdita della colorazione superficiale. In tale condizione sarà necessario programmare un ripristino dell'intonaco che comporta il raschiamento della superficie, la pulizia con idropulitrice a bassa pressione per rimuovere polvere e sporco, e una nuova tinteggiatura;

Può inoltre avvenire il guasto dello strato di finitura anche a seguito di danni che non siano causati dal naturale invecchiamento. Il primo passaggio in un intervento di ripristino superficiale su una porzione limitata è la definizione dell'area di intervento: i colori degli intonaci esposti alla luce del sole, intemperie e inquinanti, con il tempo variano leggermente rispetto alla tonalità originale. Per ridurre gli inconvenienti estetici derivanti dal ripristino operato con un intonaco di tonalità inevitabilmente diversa, sarà necessario avere l'accortezza di definire una superficie di intervento tale da ottenere una porzione di muratura confinata da elementi architettonici che risolvano la continuità della superficie stessa in modo da ridurre la possibilità di confronto tra la porzione di superficie ripristinata e quella originale. Sarà quindi necessaria la rimozione dello strato superficiale danneggiato con mezzi meccanici (spatola). Il rasante, così riportato a vista, sarà ripulito mediante raschiatura con carta vetrata e verrà quindi rimossa la polvere con idrolavaggio. Il resto della superficie non danneggiata ma sulla quale si applicherà nuovamente il colore per raccordare o sfumare l'intervento, sarà raschiata con carta vetrata e quindi pulita per rimuovere polvere e sporco. Dopo aver predisposto le superfici, sarà eseguito un nuovo rivestimento di finitura con applicazione a rullo o pennello di primer e finitura.

Isolante

La resistenza agli urti di una parete isolata esternamente è in genere piuttosto ridotta. Non sono rari i casi di punzonamento dello strato isolante provocato da grandine di grosse dimensioni o da atti di origine antropica, volontari o involontari. In questi casi è quindi necessario ripristinare l'intero strato di rasatura: si rimuove la rasatura per tutta l'area oggetto

del danno, si realizza una nuova rasatura armata da raccordare con la rete di armatura esistente (che andrà scoperta lungo il perimetro del vuoto dell'intonaco), quindi a maturazione avvenuta si procede al ripristino della finitura superficiale. Se il danno fosse ancora più profondo, si rende necessaria la rimozione della porzione di pannello danneggiata e la sua sostituzione con un nuovo pannello che deve combaciare con la porzione residua; esso sarà incollato nella parte retrostante e tassellato al supporto murario, ricostruendo poi la rasatura e la finitura come esposto.

Facciata ventilata

Sottostruttura

La struttura della facciata (a montanti, traversi, montanti e traversi o fissaggi puntuali) non necessita di particolari interventi di manutenzione ad eccezione di una regolare pulizia delle parti a vista ed accessibili, da eseguire secondo differenti modalità a seconda del materiale che la costituisce (alluminio anodizzato, alluminio verniciato, acciaio inox, legno, ecc). È opportuno effettuare periodici controlli per accertarsi che lo stato di finitura superficiale non necessiti ripristino. Nel caso in cui si rilevino guasti in corrispondenza del rivestimento la causa può essere riconducibile a danni della sottostruttura: se il rivestimento registra deformazioni o rotture, ciò può essere legato a danneggiamenti delle connessioni del sistema di fissaggio, causato da errori di posa in opera o particolari condizioni di sollecitazione meccanica. In questi rari casi si dovrà allora verificare il sistema di fissaggio e lo stato di serraggio di pressori, bulloni o viti.

Isolante

Non necessita di particolari interventi di manutenzione. Nel caso di danni al rivestimento che ne causassero l'esposizione all'acqua e il conseguente degrado materico e prestazionale, si renderà necessaria la rimozione della porzione di isolamento danneggiata e la sua sostituzione. La presenza di un telo impermeabile traspirante al vapore scongiura tale eventualità.

Rivestimento

Oltre ad una regolare pulizia è consigliato controllare l'aspetto superficiale, al fine di verificare lo stato della finitura, e verificare che non si siano verificati danni, deformazioni o formazione di fessurazioni.

Facciata continua e serramenti

Telaio

La struttura della facciata (a montanti e traversi, a cellule, a cavi e tiranti, ecc) non necessita di particolari interventi di manutenzione ad eccezione di una regolare pulizia delle parti a vista ed accessibili, da eseguire secondo differenti modalità a seconda del materiale che la costituisce

(alluminio anodizzato, alluminio verniciato, acciaio inox, legno, ecc). È opportuno effettuare periodici controlli per accertarsi che lo stato di finitura superficiale non necessiti ripristino.

Nel caso in cui si rilevino guasti in corrispondenza delle specchiature la causa può essere riconducibile a danni della struttura: se gli spandrel registrano deformazioni o rigonfiamenti, ciò può essere legato a danneggiamenti delle connessioni del sistema di fissaggio, causato da errori di posa in opera o particolari condizioni di sollecitazione meccanica di tipo dinamico. In questi rari casi si dovrà verificare il sistema di fissaggio e lo stato di serraggio di pressori, bulloni o viti.

Specchiatura opaca

Oltre ad una regolare pulizia, per i rivestimenti e per i tamponamenti opachi è consigliato controllare l'aspetto superficiale, al fine di verificare lo stato della finitura, e verificare che non si siano verificati danni, deformazioni o rigonfiamenti.

Specchiatura trasparente

Oltre alla regolare pulizia devono essere effettuati periodici controlli, differenti a seconda della tipologia di vetro e da effettuare dopo la loro messa in opera per rilevare eventuali difetti di costruzione o di posa: nel caso di vetrocamera si dovrà verificare l'effettivo funzionamento della camera in modo tale da rilevare possibili infiltrazioni di umidità nell'intercapedine che causano l'insorgenza di macchie e aloni; per i vetri stratificati si deve verificare se si siano registrati fenomeni di delaminazione delle lastre dai fogli in PVB.

Organi di movimentazione

È importante verificare il corretto funzionamento del sistema di apertura/chiusura al fine di rilevare eventuali rischi o pericoli per gli utenti, ad esempio la caduta dell'anta. Annualmente si dovrà inoltre procedere ad una loro lubrificazione evitando gocciolamento sul telaio e asciugando l'olio in eccesso con un panno. Per le cerniere, oltre ad una regolare lubrificazione, deve essere assicurata la sua corretta regolazione, controllando i dati di registrazione e verificando la corretta movimentazione dell'anta.

Guarnizioni

La durata delle guarnizioni è legata non solo al materiale che le costituiscono, ma anche alle tecniche costruttive utilizzate per eseguire le giunzioni in corrispondenza dei telai dei serramenti, quali incollaggio, termosaldatura o vulcanizzazione.

Al fine di conservare le caratteristiche di tenuta e di adesività, è necessario che la guarnizione venga lubrificata periodicamente con un apposito prodotto. È consigliabile inoltre eseguire periodiche ispezioni sulle guarnizioni al fine di verificare che esse non siano danneggiate, tagliate o screpolate, caso in cui è necessario un intervento di sostituzione.

Sigillanti

La durata di un giunto sigillato dipende da fattori ambientali (radiazioni solari, umidità, temperatura, contaminanti, microrganismi) e da fattori legati al funzionamento del giunto (sforzi applicati, deformazioni richieste, incompatibilità con il substrato, esposizione, ecc).

La durabilità di un giunto sigillato non dipende solo dalle proprietà del sigillante, ma anche dalle proprietà del primer, dei substrati, ecc. L'esperienza mostra che alcuni sigillanti, se applicati correttamente, possono restare efficienti per più di trent'anni; viceversa un sigillante applicato male può diventare inefficace nel giro di pochi mesi. È quindi necessario effettuare dei controlli periodici per valutare l'adesione del sigillante al substrato: in generale si consiglia di effettuare un'ispezione dopo la posa in opera dell'edificio, una successiva circa dopo due anni e in seguito un controllo ogni cinque anni.

Nel caso in cui si registri una diminuzione dello spessore del sigillante o una sua perdita di adesività al vetro, si rende necessario un intervento di ripristino o sostituzione: si taglia il silicone, lasciando una sottile pellicola di sigillante (1-2 mm) in modo tale che il nuovo materiale aderisca in maniera ottimale; per l'applicazione si consiglia di fissare una striscia di nastro adesivo in polietilene lungo il perimetro della lastra e una volta che la polimerizzazione del sigillante è completata si procede alla sua rimozione.

Schermature solari

La manutenzione da eseguire sugli schermi solari risulta differente in funzione delle caratteristiche tecniche (dimensioni, materiale costituente), della configurazione, della posizione rispetto alla facciata (inteme, esterne, nell'intercapedine della doppia pelle) e soprattutto in funzione dell'accessibilità della schermatura.

Oltre alle regolari operazioni di pulizia, effettuate generalmente con cadenza annuale, le operazioni di monitoraggio da effettuare, oltre ad un'ispezione del corretto funzionamento nel caso di schermi motorizzati, prevedono controlli dell'aspetto superficiale e di eventuali danneggiamenti causati da sollecitazioni meccaniche, oltre che un controllo relativo al sistema di fissaggio.

Per gli schermi mobili si consiglia di verificare annualmente in fase di monitoraggio lo stato degli organi di guida, dei punti di fine corsa inferiore e superiore, dei supporti e dei sistemi di fissaggio della tenda, nonché lo stato del cavo di alimentazione elettrica e il corretto funzionamento di eventuali dispositivi di sicurezza. Per tutti gli elementi motorizzati integrati nei sistemi di facciata il fabbricante dovrà fornire specifiche indicazioni riguardanti sia l'utilizzo, sia le operazioni di ispezione e controllo, sia gli interventi di manutenzione. Il fabbricante dell'elemento deve redigere un manuale di istruzioni secondo le indicazioni fornite dalla Direttiva macchine.

5.3 Operazioni eseguite in quota

La manutenzione delle facciate richiede inevitabilmente l'esecuzione di lavorazioni eseguite in quota, che al pari degli aspetti di durabilità e affidabilità delle tecnologie utilizzate per l'involucro devono essere esaminati sin dalle prime fasi di progettazione al fine di prevedere il sistema di accesso in quota ottimale per ridurre i costi di manutenzione e garantire il massimo grado di sicurezza per gli operatori che la eseguono.

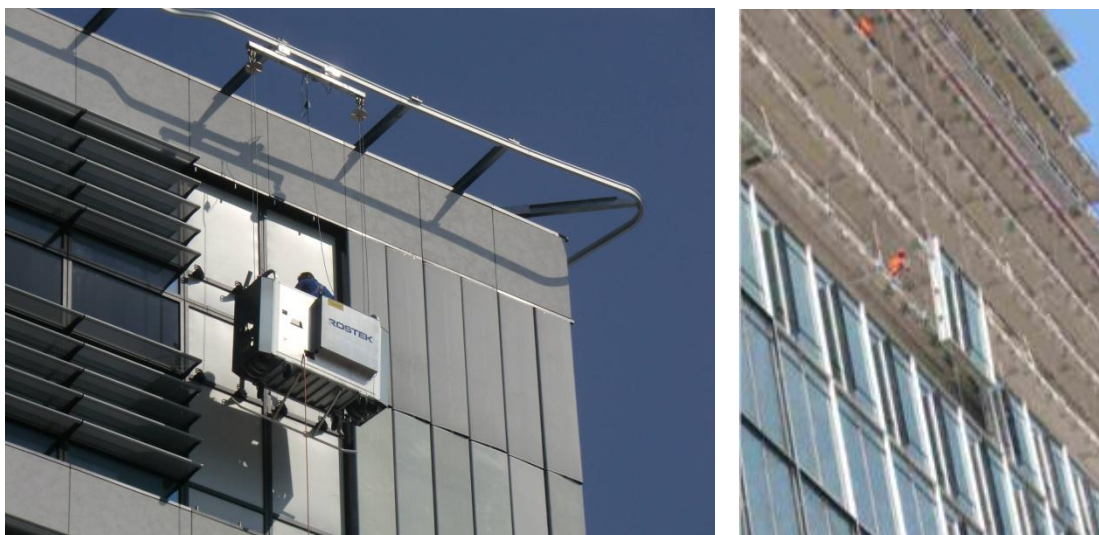
La scelta delle attrezzature per l'esecuzione di lavori in quota dovrà quindi essere effettuata optando innanzitutto per modalità di lavoro che agevolino le operazioni di sostituzione, ispezione e manutenzione in relazione alla tecnologia di cui è costituita la facciata. Per le soluzioni progettuali ipotizzate saranno quindi necessari sistemi di accesso diversi.

La soluzione CV01 che prevede il rivestimento a cappotto della chiusura esistente, per lo svolgimento del ripristino programmato dello strato di finitura necessiterà l'installazione di un ponteggio, per via della natura delle lavorazioni: esse prevedono infatti operazioni laboriose da eseguirsi con continuità su tutta la facciata utilizzando materiale di ripristino che deve essere approvvigionato in quantità ad ogni piano (intonaco plastico, tinteggiatura). Per le operazioni di manutenzione in quota localizzate in precise zone del prospetto, quali il ripristino di danni superficiali o la manutenzione dall'esterno dei sistemi di schermatura solare e per le soluzioni CV02 e CV03 si prevede l'installazione di un sistema di accesso a ogni parte della facciata del tipo a piattaforma sospesa (TSP: Temporary Suspended Platform), che si possa muovere su guida monorotaia installata lungo tutto il perimetro del coronamento dell'edificio. Seppur esso comporti un costo aggiuntivo iniziale e la necessità di studiare l'integrazione col sistema di facciata, rispetto a un sistema di accesso temporaneo (piattaforme aeree telescopiche) non impone limiti in altezza né di peso massimo degli elementi che può movimentare, consente di raggiungere ogni parte dell'edificio senza occupazione di suolo o ingombro di macchinari, e inoltre è sempre disponibile. Esso sarà di fondamentale importanza anche per le operazioni di manutenzione sulle nuove colonne impiantistiche così come dei sistemi di schermatura solare, laddove fosse difficile raggiungerli dall'interno dell'edificio.

La scelta è ricaduta su un sistema a monorotaia in quanto è il più diffuso ed economico sistema permanente di accesso a una facciata, adatto all'applicazione su un edificio esistente per la sua leggerezza e facilità di installazione: le gru fisse in copertura (BMU: Building Maintenance Unit) con braccio telescopico e rotaie sono caratterizzate infatti da un peso molto elevato, difficilmente compatibile con la struttura esistente di un edificio da riqualificare. Al contrario un sistema a piattaforma sospesa richiede la semplice predisposizione di una monorotaia costituita da un profilo in alluminio sorretto da mensole in acciaio con interasse compreso tra i 2,5 e i 4,5 m, che lo distanziano di circa 40 – 60 cm dal filo della facciata. Esse possono

assumere qualsiasi forma e quindi curvare seguendo l'intero profilo dell'edificio. La piattaforma sospesa può essere collegata alla monorotaia soltanto durante i lavori di manutenzione e quindi essere usata in comune per più edifici che siano stati predisposti con lo stesso tipo di guida; quando la piattaforma non viene usata essa viene disconnessa a terra e movimentata su ruote incorporate fino al luogo di ricovero. In alternativa la piattaforma può essere lasciata fissata alla monorotaia, la cui fine corsa entra all'interno dell'edificio dove la piattaforma verrà parcheggiata in un apposito vano fino al successivo utilizzo. Un ulteriore vantaggio di questo sistema rispetto ad altri sistemi di accesso alla facciata è che le rotaie possono anche essere utilizzate durante la costruzione dell'edificio: per sistemi di rivestimento costituiti da elementi discreti collegati a secco, quali facciate ventilate o facciate continue, è ad esempio possibile, se la rotaia è stata opportunamente dimensionata⁴⁸, installare un sistema per la movimentazione e posa di elementi di facciata, risparmiando sui costi di noleggio di gru e ponteggi, incrementando la velocità di posa, evitando ingombri a terra.

Figura 79 – Esempio di piattaforma sospesa su monorotaia e del suo utilizzo per l'installazione di cellule di facciata (www.adermalocatelli.it)



Sarà comunque utile prevedere la disposizione di ancoraggi nascosti per un eventuale innesto del gancio di ancoraggio di un ponteggio tradizionale, qualora fosse richiesto un intervento di manutenzione più impegnativo, la cui collocazione dovrà essere riportata in apposite tavole as-built redatte a seguito del termine dei lavori.

Si è invece discusso di come la soluzione CV04 sia stata concepita per massimizzare la semplicità manutentiva della facciata continua: in questo caso non sarà necessario alcun sistema di elevazione in quanto le passerelle di camminamento integrate nel sistema di schermature solari saranno sufficienti a raggiungere ogni punto del prospetto del Monoblocco.

⁴⁸ La portata di un impianto standard è di 500 kg

06

Valutazioni economiche

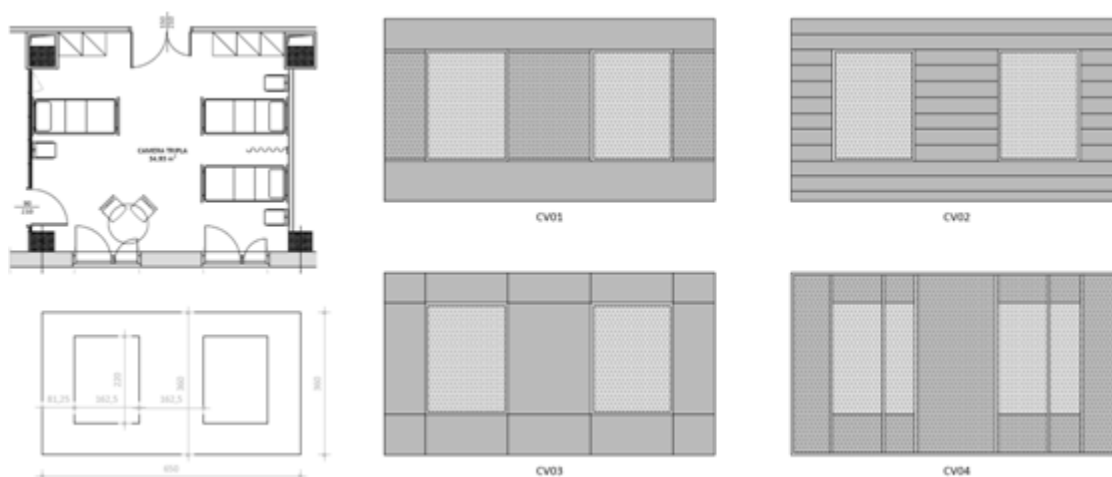
L'infinito ventaglio delle strategie di intervento applicabili per un caso di redadding, e in generale di recupero edilizio, è limitato da diversi vincoli tra cui quello relativo ai costi di costruzione è spesso il più determinante.

La valutazione economica di ogni possibile strategia serve in primo luogo a verificare la fattibilità dell'operazione. È evidente che un intervento di recupero la cui realizzazione comportasse costi maggiori di un intervento di demolizione e ricostruzione sia insostenibile: a differenza dei casi di conservazione di una testimonianza storico-architettonica, per i quali i costi sono subordinati al valore intrinseco dell'edificio, negli interventi di riqualificazione dell'edilizia minore il bilancio deve risultare vantaggioso.

Costo totale

In prima istanza sono stati quindi analizzati i costi relativi a ogni soluzione tecnologica ipotizzata. Il calcolo è stato eseguito computando le lavorazioni relative all'esecuzione di una porzione della facciata sud rappresentativa dell'intero intervento, ovvero quella che racchiude un ambiente di degenza tra due pilastri e due solai consecutivi; moltiplicando tale risultato per il numero di camere (o per il numero di campate e di piani) sarà possibile ottenere una stima di massima dei costi necessari per l'intervento di redadding della facciata in esame.

Figura 80 - Porzione di facciata di riferimento per il computo metrico



In allegato si trova il computo metrico redatto, dal quale sono estrapolati i dati riassunti nelle tabelle che seguono. Essi sono stati eseguiti sulla base dei prezzi indicati nel Listino Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche e manutenzioni del comune di Milano o in quello della Camera di Commercio.

| COSTO [€] | CV01 | CV02 | CV03 | CV04 |
|--------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Ponteggi | 1.028,66 | 1.028,66 | 1.028,66 | 0,00 |
| Demolizioni | 274,75 | 274,75 | 521,41 | 521,41 |
| Infissi esterni | 2.583,56 | 1.707,75 | 1.641,14 | 1.200,00 |
| Schermature solari | 661,56 | 661,56 | 628,48 | 1.068,79 |
| Pareti perimetrali | 1.322,26 | 6.108,38 | 5.918,29 | 12.583,95 |
| Totale | 5.870,79 | 9.781,10 | 9.737,99 | 15.374,16 |

| COSTO [€/m ²] | CV01 | CV02 | CV03 | CV04 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Ponteggi | 43,96 | 43,96 | 43,96 | 0,00 |
| Demolizioni | 11,74 | 11,74 | 22,28 | 22,28 |
| Infissi esterni | 110,41 | 72,98 | 70,13 | 51,28 |
| Schermature solari | 28,27 | 28,27 | 26,86 | 45,67 |
| Pareti perimetrali | 56,51 | 261,04 | 252,92 | 537,78 |
| Totale | 250,89 | 418,00 | 416,15 | 657,02 |

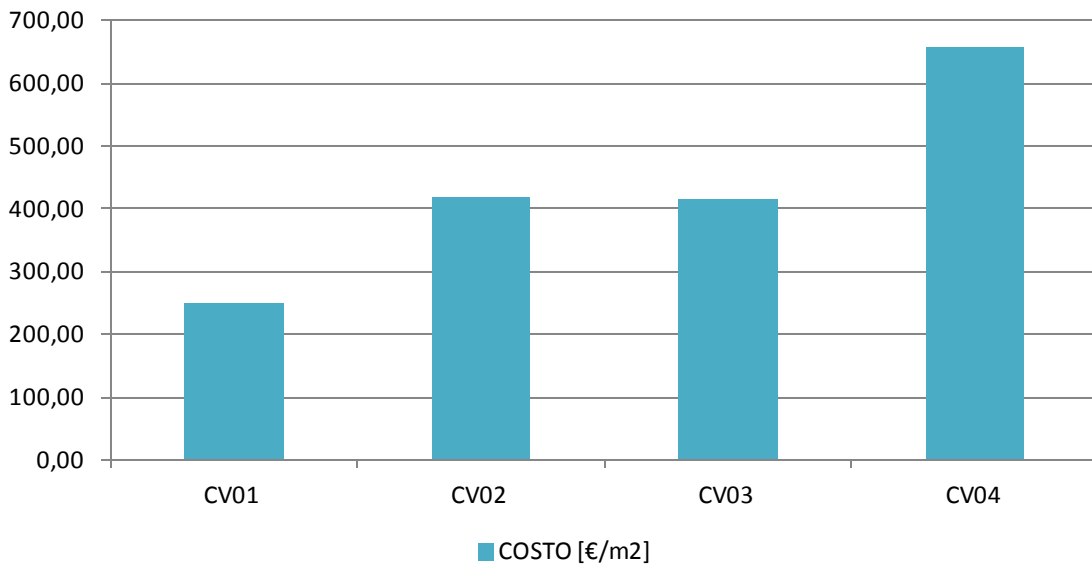


Grafico 1 - Costo al m² di ogni ipotesi progettuale



Grafico 2 - Ripartizione del costo al m² di ogni ipotesi progettuale per macrovoci di lavoro

Essi mostrano che, come era prevedibile, la soluzione a facciata continua è quella che comporta il maggior impegno economico, le soluzioni a parete ventilata hanno un costo corrispondente a 2/3 del primo, mentre la tecnologia a cappotto costa poco più di 1/3 della soluzione più cara. È interessante notare anche come le due diverse strategie che prevedono

l'utilizzo della facciata ventilata, con o senza demolizione, abbiano complessivamente un costo paragonabile: analizzando il dettaglio dei computi si rileva che questo è innanzitutto dovuto alla forte incidenza del rivestimento a parete ventilata su tutte le altre voci, che ha un costo leggermente più alto per la soluzione CV02 per via del tamponamento di alcune porzioni di apertura con le pareti stratificate a secco, del doppio strato di isolante e della finitura in alluminio verniciato contro quella della CV03 con tamponamento in laterizio, singolo strato isolante e rivestimento in fibrocemento. Tale differenza, assieme a qualche variazione di costo dovuta alla diversità geometrica del nuovo prospetto, equivale al costo per la demolizione dei pannelli prefabbricati, ottenendo quasi il medesimo prezzo per le due diverse strategie di redadding.

Rapporto costo - prestazione

Questi dati sono essenziali come prima discriminante per determinare l'applicabilità o meno delle strategie di redadding ipotizzate in rapporto alle risorse economiche a disposizione della committenza e restringere il campo delle strade percorribili. Assunto che più di una tipologia di intervento rientri nel budget a disposizione, in un secondo momento si rende necessario relazionare il costo della soluzione al livello prestazionale che essa è in grado di fornire o, ancor meglio, alla differenza di prestazione che apporta.

Ad esempio si potrebbe cercare la soluzione che comporta il miglior rapporto tra efficienza energetica e costi di realizzazione: i possibili interventi che comportano un efficientamento energetico saranno caratterizzati da un diverso costo delle opere, ma anche da un differente beneficio, misurabile ad esempio in termini di trasmittanza termica⁴⁹. Una soluzione che ha un forte costo rispetto alle altre potrebbe essere tale perché si è deciso di applicare un isolante di ultima generazione, ancora poco diffuso sul mercato e quindi caratterizzato da alti costi ma in grado di offrire una prestazione termica molto elevata, oppure perché si è deciso di applicare un rivestimento di finitura pregiato che nulla ha a che vedere con un buon comportamento termico della parete. Lo scopo della successiva analisi è stato quindi quello di relazionare i costi agli incrementi prestazionali in termini di riduzione della trasmittanza termica di parete.

Per fare ciò è stato innanzitutto calcolato il valore di trasmittanza termica della parete utilizzando le diverse trasmittanze delle porzioni di parete opaca (parapetto, veletta, tamponamento tra serramenti), dei serramenti e i coefficienti di ponte termico lineare in corrispondenza del solaio e dell'interfaccia (orizzontale o verticale) tra i serramenti e la chiusura opaca. Per la determinazione di tali valori si è utilizzata in prima approssimazione la norma UNI EN ISO 14683 – "Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento", ma una valutazione più precisa del loro contributo potrebbe essere effettuata tramite l'Abaco dei ponti termici redatto da Gestec spa,

⁴⁹ Come si è evidenziato nel capitolo 4, il suo valore sarà variabile in relazione alle scelte tecnologiche effettuate per adattare la generica strategia di recladding al caso particolare: se nella definizione di una nuova chiusura è possibile progettare con diverse tecnologie adattando la stratigrafia alla prestazione che si vuole raggiungere, nel caso di recladding dell'esistente la composizione della sezione corrente sarà più fortemente legata ai vincoli imposti dalla chiusura allo stato di fatto, come particolari dettagli costruttivi o caratteristiche di resistenza dei materiali.

ANCE Lombardia e il Politecnico di Milano, oppure tramite analisi del nodo con software agli elementi finiti.

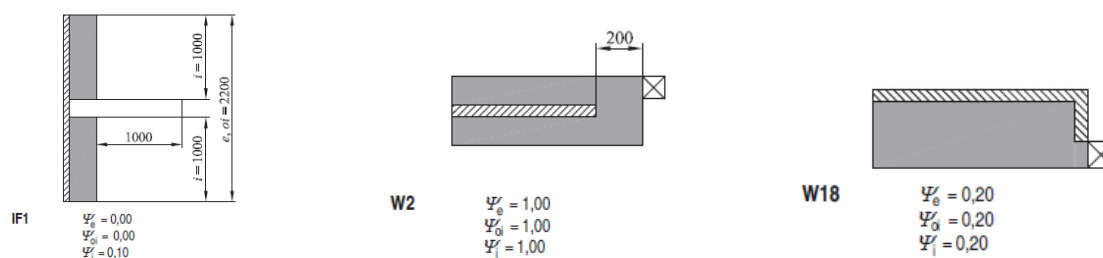


Figura 81 – UNI 14683 – Coefficienti di trasmissione termica lineica a seconda del tipo di ponte termico

| TRASMITTANZA U [W/m ² K] | CV00 | CV01 | CV02 | CV03 | CV04 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| parapetto | 0,34 | 0,18 | 0,12 | 0,20 | - |
| chiusura opaca | | | | | |
| veletta | 3,18 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | - |
| tra serramenti | 0,70 | 0,51 | 0,12 | 0,20 | - |
| chiusura trasparente | 6,00 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | - |
| solaio | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | - |
| ponte termico lineare | | | | | |
| serramenti h | 1,0 | 1,0 | 0,2 | 0,2 | - |
| serramenti v | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | - |

Moltiplicando ogni valore di trasmittanza termica/coefficiente di ponte termico per il peso della parete/linea di ponte termico a cui è riferito e dividendo per l'area totale si ottengono i valori di trasmittanza termica complessiva di parete riferiti ai quattro casi di redadding, più il caso base allo stato di fatto. Per sottrazione si è infine ottenuta la variazione di trasmittanza della facciata, apportata dall'intervento di riqualificazione dal nuovo pacchetto.

| | CV00 | CV01 | CV02 | CV03 | CV04 |
|---|------|------|------|------|------|
| TRASMITTANZA DI PARETE U [W/m ² K] | 3,83 | 1,15 | 0,80 | 0,85 | 1,70 |
| ΔU [W/m ² K] | 0,00 | 2,68 | 3,03 | 2,98 | 2,13 |

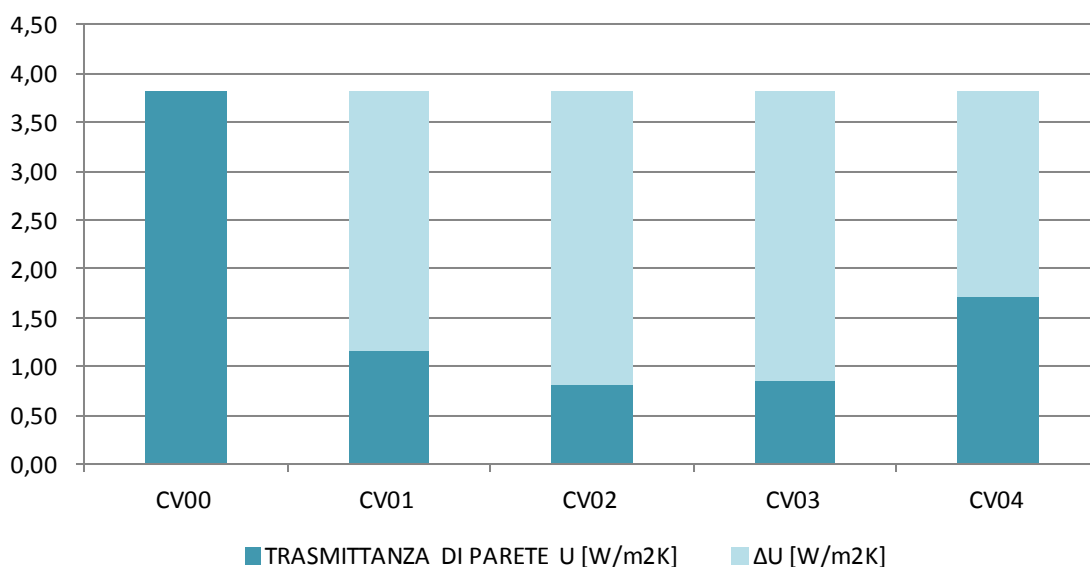
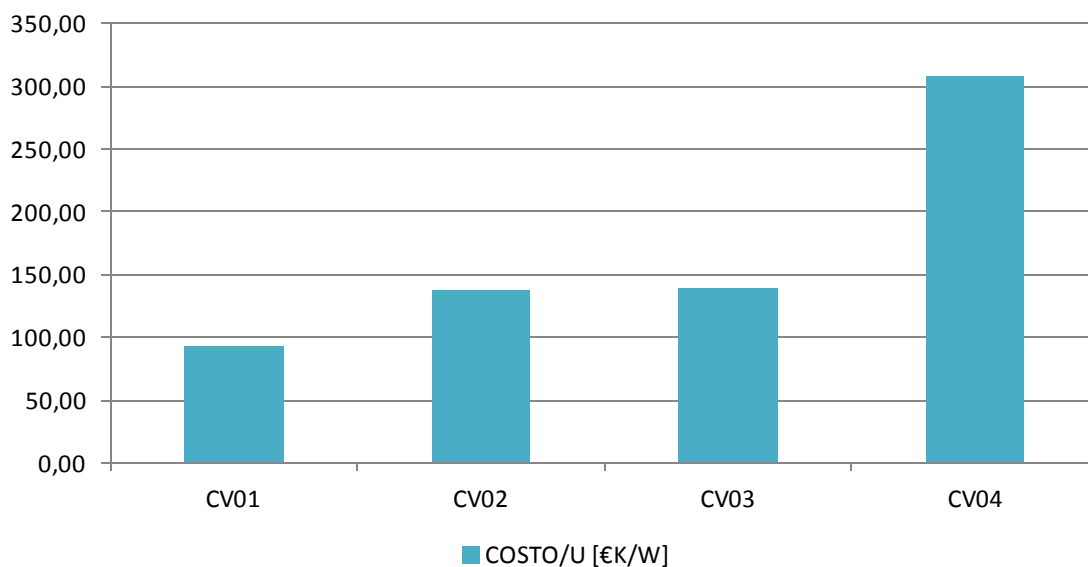


Grafico 3 – Trasmittanza termica di parete della chiusura allo stato di fatto e di ogni ipotesi progettuale

Infine, per ogni soluzione, dividendo il costo totale in €/m² della stratigrafia per il miglioramento di trasmittanza che essa apporta alla soluzione base, si ottiene un indice che rappresenta il costo in €/m² di ogni W/m²K risparmiato. Più piccolo sarà tale valore, maggiore sarà la quota del costo affrontato che incide sulla prestazione energetica della parete, quindi maggiore l'efficacia dell'intervento in termini di qualità termica/prezzo. Ciò non vuol dire che sarà la soluzione in assoluto più efficace in termini di risparmio energetico, ma che avrà "pagato meno" il risparmio. In altre parole, se due ipotesi progettuali avessero lo stesso costo, ma offrissero prestazioni termiche diverse, l'indice più basso mi indicherebbe la soluzione più efficace. Viceversa se fornissero lo stesso valore di U, ma avessero costi diversi. Così pure, allora, in tutti i casi intermedi.

Per fissare le idee, si consideri il caso in esame: la soluzione CV01 è quella che tra tutte le ipotesi costa meno, ma la sua prestazione energetica è intermedia; la soluzione CV02 ha un costo maggiore rispetto alla prima ma in compenso offre il maggior risparmio energetico. I rapporti tra costi e differenze di trasmittanza, essendo più bassi per la prima soluzione, mi fanno capire che essa è comunque quella più efficace nella misura in cui mi fornisce il miglior incremento di prestazione in relazione al costo sostenuto; che per risparmiare energia utilizzando un cappotto io debba sostenere costi minori di costruzione rispetto a quelli che dovrei sostenere per risparmiare la stessa energia con una facciata ventilata era ovvio (c'è in più lo strato di rivestimento), ma con questo parametro ottengo una quantificazione numerica che mi permette, per esempio, di confrontare soluzioni per cui il raffronto sia meno immediato.

Grafico 4 – Rapporto costi/decremento di trasmittanza termica ottenuto per ogni ipotesi progettuale



Va da sé che lo stesso ragionamento può essere poi applicato utilizzando altri indici di prestazione, come ad esempio l'incremento dell'isolamento acustico di facciata, e può essere svolta un'analisi multi criterio ponderata sul peso relativo di ogni obiettivo in relazione all'importanza che esso ricopre nel raggiungimento del risultato finale.

Riduzione del fabbisogno energetico

Si noti inoltre che la grandezza ΔU calcolata può essere usata per un'ulteriore analisi in merito alla riduzione di fabbisogno energetico dell'edificio nella stagione invernale dovuto alle dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro, tramite la formula:

$$\Delta E = \frac{(U - U_F) \cdot S \cdot GG \cdot 24}{1000}$$

Dove:

- ΔE è il risparmio energetico derivante dall'intervento di riqualificazione [kWh]
- U e U_F sono le trasmittanze della parete prima e dopo l'intervento $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$
- S è la superficie della parete interessata dall'intervento [m]
- GG sono i gradi giorno della località considerata [GG]

Se inoltre si volesse calcolare il risparmio di combustibile in termini economici, sarebbe necessario convertire l'energia utile appena calcolata in energia consegnata o finale (quella a monte delle perdite generate per l'inefficienza del sistema impiantistico) e in energia primaria (il vettore energetico naturale a monte del costo energetico per essere estratto, trasformato e trasportato), utile a confrontare i consumi di fonti energetiche diverse:

$$\Delta E_P = \frac{\Delta E}{\eta_G \cdot x} \quad [kWh]$$

Dove:

- η_G è il rendimento medio stagionale dell'impianto, il cui valore è compreso, per una stima di massima su edifici esistenti, tra 0,55 e 0,85 a seconda della vetustà dell'edificio e del corrispondente impianto
- x è il fattore di conversione in energia primaria fornito nella UNI TS 11300

Tale valore di energia, espresso in kWh, può essere trasformato, noto il tipo di combustibile e il suo potere calorifico inferiore (kWh/kg o kWh/m³), in unità di combustibile risparmiato e infine in risparmio economico annuale, moltiplicando per il costo del combustibile (€/kg o €/m³). Il risparmio economico così calcolato potrà essere utilizzato in una stima costi-benefici ottenibili, utile a comparare i costi da sostenere per realizzare il redadding di una facciata con i derivanti risparmi a livello gestionale in fase di utilizzo. I principali indicatori comunemente utilizzati per questo tipo di analisi sono:

L'indice di profitto (IP)

È il rapporto tra i benefici attualizzati e i costi attualizzati:

$$IP = \frac{\sum_{j=0}^T \frac{B_j}{(1+r)^j}}{I_0 + \sum_{j=0}^T \frac{C_j}{(1+r)^j}}$$

Dove:

- I_0 è l'investimento iniziale per la realizzazione dell'intervento
- T è il periodo considerato per la valutazione economica
- r è il tasso di sconto utilizzato per valutare il valore attuale di somme di denaro che si verificano in futuro (attualizzazione)
- B sono i benefici ottenibili da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio in termini di risparmio sulla bolletta energetica nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto
- C sono i costi derivanti da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio necessari per operazioni di manutenzione e riparazione programmabili nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto

Se l'IP è maggiore di 1 significa che il numeratore, quindi i benefici, è maggiore del denominatore, che rappresenta i costi, e l'intervento risulta essere conveniente. Nel momento in cui si dovessero confrontare più progetti alternativi, l'indice di profitto più alto indicherà il più conveniente dal punto di vista economico.

Il tempo di ritorno (TR) o Payback time (PBT)

È il tempo in cui è possibile ammortizzare l'investimento, ovvero il numero di anni necessario affinché i benefici compensino i costi sostenuti. Esso è il più piccolo valore di τ per cui risulta:

$$I_0 - \sum_{j=0}^{\tau} \frac{B_j - C_j}{(1+r)^j} = 0$$

Dove:

- I_0 è l'investimento iniziale per la realizzazione dell'intervento
- τ è il periodo necessario affinché i benefici compensino i costi

- r è il tasso di sconto utilizzato per valutare il valore attuale di somme di denaro che si verificano in futuro (attualizzazione)
- B sono i benefici ottenibili da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio in termini di risparmio sulla bolletta energetica nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto
- C sono i costi derivanti da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio necessari per operazioni di manutenzione e riparazione programmabili nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto

Nel momento in cui si dovessero confrontare più progetti alternativi, il tempo di ritorno più basso indicherà il più conveniente dal punto di vista economico.

Tasso di rendimento interno (TIR) o Internal rate of return (IRR)

È il tasso di rendita di un investimento. Nel caso di investimento di capitale proprio, potrebbe essere utile confrontare l'IRR con il tasso di sconto offerto da una banca sul deposito della stessa somma di denaro: se dovesse risultare maggiore di quello offerto da una banca, il progetto risulterebbe conveniente. In caso invece si ricorresse a un finanziamento, l'IRR potrà essere confrontato con il tasso di interesse richiesto dalla banca o dalla finanziaria: se dovesse risultare maggiore di quello richiesto, il progetto risulterebbe conveniente.

Il suo valore è pari al tasso di sconto (r) per cui l'indice di profitto (IP) risulta essere uguale a 1:

$$TIR = \frac{\sum_{j=0}^T \frac{B_j}{(1 + IRR)^j}}{I_0 + \sum_{j=0}^T \frac{C_j}{(1 + IRR)^j}} = 1$$

Dove:

- I_0 è l'investimento iniziale per la realizzazione dell'intervento
- T è il periodo considerato per la valutazione economica
- B sono i benefici ottenibili da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio in termini di risparmio sulla bolletta energetica nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto
- C sono i costi derivanti da un intervento eseguito al tempo t , ad esempio necessari per operazioni di manutenzione e riparazione programmabili nel periodo considerato per la valutazione economica, attualizzati all'anno in cui si effettua la stima considerando uno specifico tasso di sconto

Nel momento in cui si dovessero confrontare più progetti alternativi, il tasso di rendimento interno più alto indicherà il più conveniente dal punto di vista economico.

A fronte di parametri di valutazione apparentemente semplici, bisogna tuttavia tenere sempre in considerazione l'aleatorietà delle variabili in questione. A partire dalla durata della valutazione economica, occorre innanzitutto stabilire l'arco temporale durante il quale valutare i risparmi e i costi che l'intervento comporta: esso potrebbe coincidere con la vita utile di una tecnologia, con la vita utile del complesso ma anche il tempo massimo per il quale si è disposti a sostenere l'alea dell'investimento. Studi di settore potrebbero essere utili a definire i valori di vita utile media di alcuni componenti edilizi, assieme i costi annui di eventuali interventi di manutenzione e riparazione. Vi è poi il più complesso compito di stimare correttamente il valore del tasso di sconto, che in un progetto di efficientamento energetico può essere considerato esaustivo nel momento in cui sia correlato al tasso annuo con cui varia il prezzo dell'energia che è tuttavia altrettanto aleatorio, oscillando in intervalli ampi e difficilmente prevedibili⁵⁰. Per far fronte a queste incertezze, una soluzione potrebbe essere ipotizzare diversi scenari relativi all'aumento delle tariffe energetiche in modo da avere un ulteriore confronto tra una condizione favorevole e una sfavorevole riguardo agli andamenti del mercato dell'energia.

Incidenza percentuale della mano d'opera

La durata delle lavorazioni in cantiere dipende principalmente dalla natura delle stesse e dell'oggetto da realizzare, dalle modalità esecutive-costruttive, dalla qualità e quantità di risorse impiegate e dalle condizioni del contesto fisico, ambientali, organizzative e gestionali.

Essa, tuttavia, sarà principalmente legata al grado di meccanizzazione della lavorazione e al grado di prefabbricazione del prodotto che arriva in cantiere (che potrà essere un materiale, un semilavorato o un componente finito) e cioè sostanzialmente dalla quantità di mano d'opera richiesta per la sua posa. Poiché tale mano d'opera ha dei costi, è dunque possibile correlare il tempo necessario a eseguire una lavorazione con il costo totale della stessa, tramite un parametro che esprime l'incidenza (del costo) della mano d'opera (sul costo totale).

Alcuni prezzari, quindi, riportano oltre al prezzo delle lavorazioni anche tale percentuale, con la quale è possibile, dedotti dal prezzo totale l'utile d'impresa e le spese generali, ricavare il costo della squadra operativa che esegue la lavorazione. Noti il numero di ore di lavoro giornaliero in cantiere, il costo medio orario della mano d'opera e la composizione della squadra che esegue la lavorazione, si potrà calcolare la durata di ogni lavorazione, necessaria per la programmazione operativa delle fasi di costruzione.

In questa fase progettuale, tuttavia, non sarebbe particolarmente significativo tradurre tale dato percentuale in un programma dei lavori in quanto la sua redazione dipende fortemente

⁵⁰ Dall'Ò, G., Galante, A. & Ruggieri, G. 2008, *Guida alla valorizzazione energetica degli immobili: metodi, strumenti e tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*, Il Sole 24 Ore, Milano

dalla quantità e qualità della mano d'opera a disposizione dell'impresa appaltatrice, dall'organizzazione del cantiere riguardo a layout, percorsi, accessi, modalità di approvvigionamento, ecc. oltre che dalla politica gestionale dei lavori, che potrà essere prudente, equilibrata o aggressiva a seconda della tensione produttiva. Si deve inoltre considerare che la logica costruttiva e la durata dei lavori per la riqualificazione delle facciate sarà da determinarsi anche in relazione alle lavorazioni da effettuare sul resto dell'immobile che non vengono analizzate in questa sede. Sarà invece possibile fare qualche considerazione generale sul valore stesso di incidenza della mano d'opera.

Supponendo un utile d'impresa del 10 % e spese generali pari al 15 %, si è quindi calcolato il costo della mano d'opera per ogni lavorazione, la cui somma restituisce il costo della mano d'opera per l'esecuzione dell'intera porzione di facciata analizzata. Dividendo il costo totale della mano d'opera di una soluzione progettuale per il costo totale della stessa si ottiene quindi la percentuale di mano d'opera complessiva per quella soluzione di redadding, che peraltro corrisponde alla media pesata delle singole percentuali di mano d'opera delle lavorazioni.

| COSTO [€] | CV01 | CV02 | CV03 | CV04 |
|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| Totale | 5.870,79 | 9.781,10 | 9.737,99 | 15.374,16 |
| MDO | 1.411,07 | 3.114,48 | 3.183,10 | 294,64 |
| MAT + NT | 4.459,72 | 6.666,62 | 6.554,90 | 15.079,52 |
| % MDO | 24% | 32% | 33% | 2% |

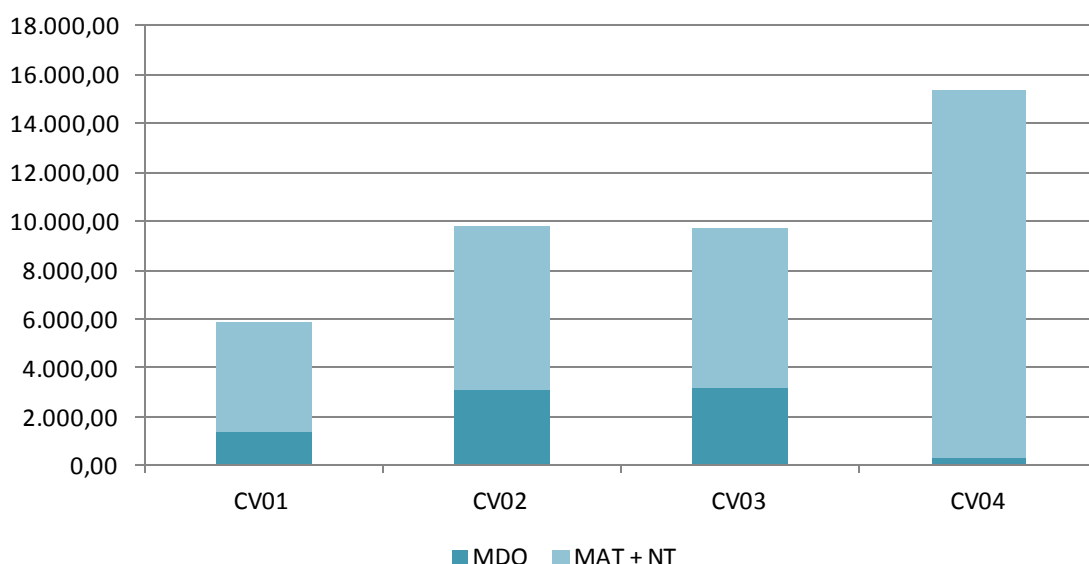
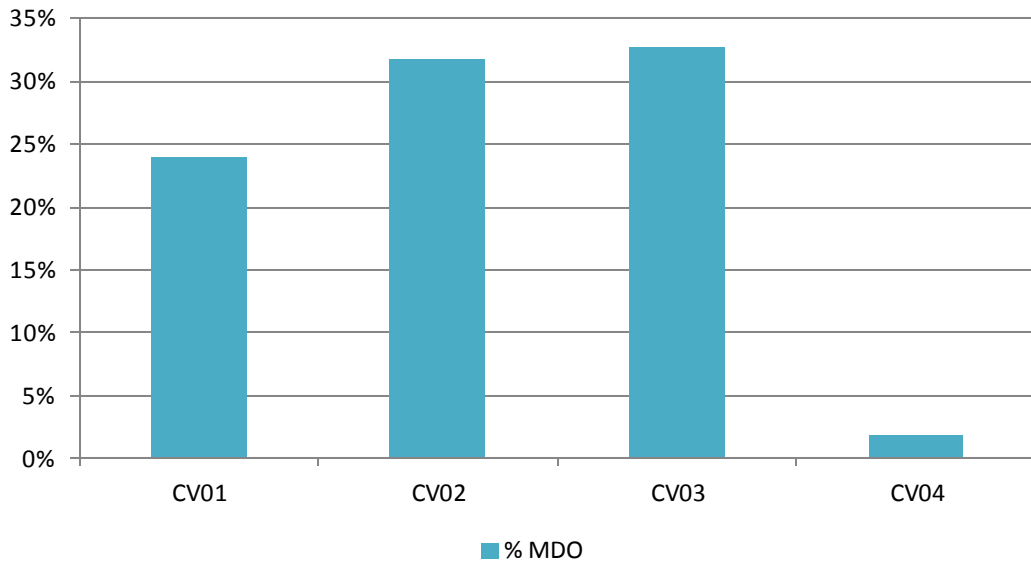


Grafico 5 – Costo della mano d'opera rispetto al costo totale per ogni ipotesi progettuale

Grafico 6 – Incidenza percentuale della mano d'opera sul costo totale per ogni ipotesi progettuale



I risultati evidenziano, come era prevedibile, il forte divario tra le soluzioni realizzate in opera e la quarta soluzione prefabbricata, per la quale il costo maggiore legato al processo di industrializzazione è ricambiato da una bassissima percentuale di mano d'opera da leggersi come forte contenimento di durate e costi del cantiere.

Era pure prevedibile che la soluzione a cappotto fosse complessivamente caratterizzata da una percentuale minore rispetto alle soluzioni a facciata ventilata, in quanto si tratta praticamente della stessa tecnologia, quindi delle stesse lavorazioni che richiederanno le stesse tempistiche, a meno dell'installazione della sottostruttura e del rivestimento avanzato. Invece è interessante notare che anche in questo caso le soluzioni CV02 e CV03 raggiungono valori molto simili: le lavorazioni di demolizione dei pannelli prefabbricati e ricostruzione della parete in laterizio compensano quelle necessarie al tamponamento dei vani finestra e all'applicazione di uno strato aggiuntivo di materiale isolante per la seconda ipotesi di progetto. Tuttavia, a questo punto è necessario pensare anche alla natura delle lavorazioni rappresentate da tale percentuale. Nel primo caso si tratta di lavorazioni che possono essere effettuate in parallelo: ad esempio si potrà procedere alla rimozione dei serramenti, al tamponamento dei vani, all'installazione di quelli nuovi e alle operazioni di finitura interne ed esterne contemporaneamente sia su più piani diversi che tra interno ed esterno della facciata. L'ipotesi CV03 invece prevede lavorazioni concatenate che devono necessariamente svilupparsi in serie: prima di procedere con le finiture interne ed esterne sarà necessario aver terminato i tamponamenti in laterizio, che a loro volta potranno essere eseguiti solo dopo la completa rimozione dei pannelli prefabbricati. La necessità di dover attendere la fine di una lavorazione prima di cominciare l'attività successiva causerà quindi la dilatazione della durata del cantiere.

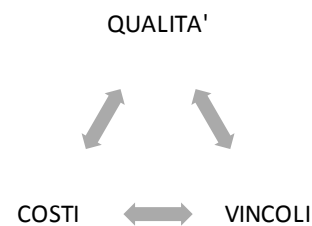
Si può infine fare un ragionamento in merito alla correlazione tra incidenza della mano d'opera su una lavorazione e qualità finale dell'opera realizzata: rappresentando il grado di "meccanizzazione" delle risorse impiegate, sia riguardante la costituzione tecnologica dell'elemento che le lavorazioni necessarie a posarlo in opera, essa può anche essere

interpretata come indice della lavorazione manuale in quanto fattore aleatorio nel raggiungimento della qualità finale. Più la percentuale è alta, più è richiesto l'intervento umano nella lavorazione in cantiere, più è elevata la probabilità che essa induca difetti di realizzazione. Spostare in stabilimento la produzione di componenti edilizi, quali ad esempio a facciata continua a cellule, comporta un maggiore costo di produzione e trasporto ma è sicuramente sinonimo di maggiore qualità: da un lato prestazionale, in quanto i componenti che costituiscono il prodotto sono assemblati in condizioni ambientali controllate, costanti e favorevoli e sono sottoposti a continui controlli di qualità, dall'altro operativa, in quanto il lavoro in cantiere viene minimizzato, riducendo tempi e costi d'installazione ma anche il rischio di errori, sopprimendo il vincolo tra la specializzazione delle squadre di posa ed il livello qualitativo-prestazionale finale della facciata. Le soluzioni a cappotto e facciata ventilata, quindi, richiedendo una percentuale molto maggiore di mano d'opera, saranno caratterizzate da un minore livello di affidabilità qualitativa che dovrà essere compensato da un più severo controllo da parte della direzione esecutiva dei lavori sulla qualità dei materiali e sulla loro posa in opera, sia lato impresa tramite il Direttore Tecnico di Cantiere che lato committenza tramite la Direzione Lavori.

07

Confronto

Ogni intervento edilizio è finalizzato al raggiungimento di un certo livello di qualità (ad esempio le prestazioni che un elemento deve fornire o le condizioni ambientali che devono essere raggiunte) a fronte di costi sostenuti per realizzarlo e vincoli (ad esempio temporali o logistici) che ne influenzano lo svolgimento. L'individuazione della strategia più adatta all'intervento di redadding, quindi, sarà da effettuarsi



mettendo a sistema i vantaggi e gli svantaggi che ogni ipotesi progettuale offre in merito a questi tre aspetti: ridurre la scelta alla soluzione più economica, a quella che richiede il minor tempo di realizzazione o a quella che offre la maggior qualità prestazionale può essere un metodo imposto da particolari vincoli dello specifico caso di intervento, ma generalmente sarà auspicabile un approccio che valuti la bontà delle soluzioni in termini complessivi e non in termini assoluti concernenti un unico aspetto.

In questo capitolo, quindi, si riassumeranno le caratteristiche connotanti delle quattro soluzioni progettuali ipotizzate e si procederà al loro confronto, al fine di determinare quale sia l'ipotesi più adatta all'applicazione sul caso di studio.

Vista la similitudine tra le due ipotesi con facciata ventilata, si comincerà paragonando le strategie 2 e 3. Riguardo alla qualità si può innanzitutto guardare ai livelli prestazionali forniti dalle soluzioni di redadding. Le analisi effettuate in merito agli aspetti termoclimatici mettono in evidenza come il comportamento della parete nei due casi sia complessivamente paragonabile: il miglior valore di trasmittanza termica della CV02 è in realtà "assorbito" nella prestazione complessiva di parete pesata rispetto alle aree (si potrebbe allora contenere il costo della soluzione prevedendo un solo strato di isolante); in compenso si è evidenziato come la terza ipotesi progettuale garantisca una maggiore uniformità dello spessore di isolante

che non risente delle irregolarità geometriche insite nel mantenimento della chiusura esistente. A livello di controllo della condensazione, sicurezza al fuoco, durabilità e affidabilità le due soluzioni sono del tutto equivalenti. Tuttavia, oltre che in termini di prestazioni, il livello qualitativo offerto da una soluzione può inoltre essere di tipo operativo. Trattandosi in entrambi i casi di facciata ventilata, tra le due soluzioni non c'è nemmeno differenza tecnologico-costruttiva a meno del supporto murario. Qui entra però in gioco l'ulteriore livello di valutazione riguardante i vincoli, e in particolare quelli inerenti ai tempi: come puntualizzato, la demolizione e ricostruzione della chiusura richiede una sequenza di lavorazioni in serie non sovrapponibili. Poiché le due soluzioni si equivalgono anche economicamente, ecco che l'ipotesi CV02 è vincente sulla CV03 in termini di riduzione dei tempi di cantiere e quindi dell'interruzione dell'attività ospedaliera.

Si passi ora al confronto tra la prima e la seconda ipotesi progettuale. È emerso come la CV01 sia tra tutte la più economica e quella contraddistinta dal miglior rapporto costo/decreto di trasmittanza termica. Tuttavia si rammenti che tale costo riguarda la sola costruzione della chiusura ma non la sua gestione: si è evidenziato come il livello qualitativo in termini di durabilità e manutenzione di questa tecnologia sia inferiore rispetto agli altri, in quanto la natura stessa del cappotto richiede un tasso di intervento decisamente maggiore di quello richiesto da una parete ventilata. Quest'ultima fornisce inoltre migliori prestazioni di isolamento termico e controllo della condensazione, il cui rischio di formazione non può essere trascurato analizzando l'efficacia della CV01 che non risolve nemmeno l'eliminazione dei ponti termici. Essa è inoltre carente dal punto di vista delle prescrizioni per la sicurezza in caso d'incendio, ma forse il difetto più forte è rappresentato dalla scarsa qualità operativa, in riferimento al grado di complessità richiesto per eseguirne la posa in opera: come precedentemente considerato, essa si traduce in scarse garanzie di affidabilità che sono in contrasto con le esigenze di un edificio tali dimensioni, peraltro a destinazione d'uso ospedaliera.

Anche la soluzione di redadding con cappotto può essere dunque scartata, lasciando in gioco la CV02 e la CV04. Il confronto in questo caso avviene tra due strategie completamente diverse: la prima con facciata ventilata, che prevede l'utilizzo della chiusura esistente, la seconda con facciata continua a cellule, che presuppone la rimozione dei pannelli prefabbricati originali.

La prima forte differenza è riscontrabile a livello tecnologico e del comportamento fisico che ne consegue. La CV02 è una parete definibile "pesante" isolata esternamente: questa combinazione di caratteristiche permette di raggiungere da un lato un buon livello di isolamento termico (possibilità di posa di elevati spessori di materiale coibente senza difficoltà costruttive), un ottimo controllo dei ponti termici e una forte riduzione del rischio di condensazione interstiziale, dall'altro lato elevata quiete termica della porzione interna di parete, elevata inerzia termica e minimizzazione delle dilatazioni e contrazioni termiche del sistema strutturale e della chiusura (riduzione delle lesioni e fessurazioni). Anche se non sono

state analizzate è prevedibile che tale tipo di chiusura offra anche buone prestazioni a custiche, in quanto dipendenti principalmente dalla massa degli elementi tecnici e incrementate dallo schermo avanzato.

La CV04 è invece una parete "leggera", caratterizzata da prestazioni inferiori di isolamento termico e acustico (a meno di utilizzare vetrazioni stratificate molto prestanti che hanno però costi elevati), inerzia termica e permeabilità al vapore pressoché nulle, che determinano la necessità di un sistema di dimattizzazione per il controllo dei parametri dell'aria interna.

A livello di durabilità e affidabilità le due soluzioni si equivalgono in quanto i materiali dei due tipi di facciata richiedono le stesse operazioni di pulizia e manutenzione. Una differenza potrebbe tuttavia riscontrarsi nel costo della manutenzione: la facciata ventilata è un prodotto edilizio piuttosto raffinato, ma non paragonabile col grado di precisione e complessità tecnologica che contraddistingue una facciata continua a cellule; per questo motivo non sono molti i produttori/fornitori presenti sul mercato di quest'ultimo tipo di prodotto, che viene generalmente studiato ad hoc per il singolo progetto. Questo fa sì che da un lato non siano facilmente reperibili in commercio pezzi di ricambio o che la loro produzione non sia garantita a distanza di anni, dall'altro che sia richiesta mano d'opera altamente specializzata per eseguire manutenzioni e sostituzioni, rendendo pressoché obbligatorio rivolgersi alla casa produttrice, che non ha concorrenza.

Se dal punto di vista qualitativo-prestazionale è perciò preferibile la soluzione a facciata ventilata, dal punto di vista qualitativo-operativo il discorso si ribalta: la prefabbricazione garantisce un avanzamento dei lavori esponenzialmente più rapido, riduce il controllo di qualità in cantiere perché è già effettuato a monte, non necessita di grandi aree di stoccaggio né di opere provvisorie per il montaggio della facciata, caratteristiche che incidono sui vincoli temporali e spaziali del cantiere.

L'ultimo vertice del triangolo – i costi – depono a favore della facciata ventilata sia in termini assoluti che relativi, ma ancora una volta è bene ricordare che quelli analizzati sono i costi diretti per la costruzione della facciata senza prendere in considerazione l'andamento del resto del cantiere: potrebbe infatti verificarsi che il maggior impegno economico richiesto dal sistema a cellule venga poi compensato da minori costi relativi alla durata del cantiere, alla sicurezza o al fermo delle attività nell'edificio.

Non è quindi possibile identificare un'ipotesi progettuale migliore in assoluto, ma limiti entro i quali è più conveniente l'una o l'altra scelta, in funzione delle condizioni al contorno che riguardano l'intervento di riqualificazione nella sua complessità: non avrebbe senso optare per la prefabbricazione della facciata se le lavorazioni all'interno del fabbricato non potessero essere adeguate al suo ritmo costruttivo.

Di conseguenza, se per la riqualificazione delle facciate dell'edificio Monoblocco il vincolo principale fosse il contenimento dei tempi di realizzazione, la soluzione di redadding con cellule prefabbricate sarebbe la più idonea, all'interno di una filosofia progettuale che sposi la

prefabbricazione come filo conduttore nella riprogettazione di tutte le parti dell'edificio. Se invece si ritenesse sufficiente un ritmo costruttivo standard, allora la soluzione di redadding con facciata ventilata che prevede il mantenimento della chiusura esistente è la più idonea: si è dimostrato che in presenza di un oggetto esistente ben concepito alla nascita non è obbligatoriamente necessaria la sua dismissione, ma è possibile e, anzi, conveniente preservarlo, in quanto fomirà una serie di prestazioni che, seppur livello insufficiente, costituiranno la base da cui partire per restituirgli nuova vita.

Conclusioni

Il lavoro presentato è frutto di un percorso di ricerca e progettazione che ha premesso di approfondire alcune tematiche in materia di riqualificazione del costruito e redadding dell'involucro edilizio, ma anche di indagare alcuni particolari aspetti in materia di edilizia ospedaliera, grazie all'applicazione progettuale sul caso di studio. Affinché tale percorso di conoscenza possa essere utile a un tecnico che si trovasse a operare relativamente a questi due ambiti, l'esposizione ha seguito il lavoro di analisi e conoscenza del problema e il percorso logico che ha portato alla sua risoluzione, proponendosi come linea guida valida per affrontare con metodo il progetto di redadding di fabbricati di edilizia ospedaliera.

L'analisi condotta ha portato all'individuazione di due valide soluzioni di redadding alternative – l'overdadding della chiusura esistente con un sistema a facciata ventilata o la sua completa sostituzione con una facciata continua a cellule prefabbricate – tra cui la scelta sarà da effettuarsi a seconda della tensione produttiva che si vorrà dare al cantiere, ma entrambe estremamente convincenti dal punto di vista architettonico, tecnologico, prestazionale, operativo e gestionale.

Esse permettono innanzitutto di riqualificare il fabbricato esistente prolungandone la vita utile e garantendo al contempo livelli prestazionali pari a quelli che si otterrebbero da un'alternativa demolizione e ricostruzione ex novo.

Sebbene le due soluzioni presentino caratteristiche molto differenti, l'aspetto tecnologico è stato studiato con estrema cura sotto ogni sfaccettatura in modo che esse possano rispondere efficacemente alle esigenze espresse dalla committenza relativamente all'integrazione impiantistica e alla facilità manutentiva, così come relativamente ai costi e ai tempi di realizzazione.

L'analisi in primo luogo tecnico-prestazionale è stata comunque accompagnata da un'attenzione alla connotazione architettonica delle facciate che ha portato a un risultato soddisfacente anche dal punto di vista estetico: rivisitando i prospetti dell'edificio con tecnologie attuali è stato possibile rivitalizzare l'immagine dell'ospedale in un'ottica di rispettoso dialogo col passato nel primo caso e di più marcata modernizzazione nel secondo.

La progettazione integrata ha evidenziato la difficoltà di convogliare un ampio ventaglio di competenze tecniche nella risoluzione efficace di precise e concrete esigenze progettuali e ha confermato l'importanza di affrontare la progettazione, pur limitata a una precisa porzione dell'organismo edilizio, mantenendo un'ottica d'insieme, ovvero con una visione a 360° sulle

problematiche multidisciplinari che si è chiamati a risolvere e sulle implicazioni che una determinata scelta progettuale comporta.

Nel caso specifico, ad esempio, l'analisi approfondita e il confronto di ipotesi di progetto alternative dimostra che la soluzione apparentemente più conveniente – il sistema a cappotto – sia in realtà la più mediocre: essa è infatti utile a risolvere un'unica problematica, quella energetica, ma presenta diverse carenze dal punto di vista operativo, manutentivo e architettonico. Un livello di approfondimento maggiore porta infatti alla conclusione che tale soluzione possa essere notevolmente migliorata – dal sistema a facciata ventilata – o ripensata con un approccio al problema completamente diverso – come nel caso della facciata continua a cellule. Il progetto di redadding, ancor più del progetto di una nuova facciata, deve quindi essere trattato al pari di un abito su misura, da elaborare in stretta relazione alle caratteristiche dell'oggetto dell'intervento. Ogni elemento deve essere valutato come il tassello di un puzzle che interagisce in stretta correlazione con gli altri, e solo la loro armonizzazione può portare efficacemente al quadro completo: la qualità edilizia.

Guardando alle prospettive future, il presente lavoro potrebbe rappresentare una base sulla quale effettuare ulteriori valutazioni di tipo economico, gestionale e organizzativo per lo sviluppo più approfondito del progetto di riqualificazione dell'ospedale.

Bibliografia e sitografia

Testi

- *Edilizia precostruita Ipi : edilizia ospedaliera*, Ipi, Milano.
- Arsie , C.(. 2000, *Edilizia ospedaliera e valutazione del progetto / Cristina Arsie ; rel. Sergio Mattia ; correl. Roberta Bianchi*, Milano : Politecnico, 1998/99, Milano.
- Associazione italiana tecnico e economica, del cemento 1970, *Industrializzazione e prefabbricazione nell'edilizia ospedaliera*, AITEC, Roma.
- Balestriero, R., Cosmacini, G., Crippa, M.A., Della Torre, S., Gamberone, D., Giustina, I., Sala, E., Simioli, A., Vicini, E. & Zanzottera, F. *L'Architettura della salute: Luoghi e storia della Sanità lombarda*.
- Capolongo , S. 2006, *Edilizia ospedaliera : approcci metodologici e progettuali / Stefano Capolongo ; prefazione di Cesare Stevan ; introduzione di Gaetano Maria Fara*, Milano : Hoepli, ©2006, Milano.
- Capolongo, S. 2006, *Edilizia ospedaliera: approcci metodologici e progettuali*, Hoepli, Milano.
- Carotti, A. 2003, *Vetro strutturale e facciate continue*, CLUP, Milano.
- Carria, F. 2009, *Il rinnovo delle facciate: nuovi ruoli dell'involucro edilizio*, Flaccovio, Palermo.
- Chiappa, F. 1968, *L'Ospedale San Carlo Borromeo*, Edizioni de La Ca' Granda, Milano.
- Commissione delle Comunità Europee, Libro Verde 2000, *Verso una strategia europea di sicurezza dall'approvvigionamento energetico*, Bruxelles.
- Dall'Ò, G., Galante, A. & Ruggieri, G. 2008, *Guida alla valorizzazione energetica degli immobili : metodi, strumenti e tecnologie per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*, Il Sole 24 Ore, Milano.
- Daniotti, B. 2012, *Durabilità e manutenzione edilizia*, UTET, Milanofiori, Assago.
- Dubini, S. & Grifa, E. 1999, "Problematiche della manutenzione negli ospedali", *Terza Conferenza Europea sull'Ospedale, Relazione C.N.E.T.O.*, .
- Gottfried , A. 2013, *Ergotecnica edile: progettazione e programmazione operativa ed economica, direzione dei lavori, contabilità, collaudi, scelta delle macchine*, Hoepli, Milano.

- Gottfried, A. & Di Giuda, G.M. 2011, *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna.
- Grechi, M. 2008, *Il recupero delle periferie urbane: da emergenza a risorsa strategica per la rivitalizzazione delle metropoli*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Grechi, M. & Malighetti, L.E. 2008, *Ripensare il costruito : il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Lucchini, A. 2000, *Pareti ventilate*, Il Sole 24 Ore, Milano.
- Matteoli, L., Aliotti, E. & Opidi, M.A. 1990, *Facciate continue: una monografia*, Tecnomedia, Milano.
- Muntoni, A. 2007, *Lineamenti di storia dell'architettura contemporanea*, GLF editori Laterza, Roma.
- Rigone, P. 2011, *Le facciate continue: la manutenzione dell'involucro edilizio vetrato*, Maggioli.
- Zambelli, E., Brandolini, S., Maserà, G., Nezirosi, D. & Ruta, M. 2004, *Ristrutturazione e trasformazione del costruito: tecnologie per la rifunzionalizzazione e la riorganizzazione architettonica degli spazi*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Normative

- UNI 8289:1981 – Esigenze dell'utenza finale. Classificazione
- UNI 8290-2:1983 – Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti
- UNI 10147:1993 – Manutenzione. Terminologia
- UNI 10349:1994 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici: dati climatici
- UNI 10351:1994 – Materiali da costruzione: conduttività termica e permeabilità al vapore
- UNI 10355:1994 – Murature e solai: valori della resistenza termica e metodi di calcolo
- UNI 10366:2007 – Criteri di progettazione della manutenzione
- UNI 10604 – Manutenzione. Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione di immobili
- UNI 10838:1999 – Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia
- UNI 11018:2003 – Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici
- UNI EN 12207:2000 – Finestre e porte. Permeabilità all'aria. Classificazione
- UNI EN 12208:2000 – Finestre e porte. Tenuta all'acqua. Classificazione
- UNI EN 12210:2000 – Finestre e porte. Resistenza al carico dinamico del vento. Classificazione

- UNI EN 12464-1:2004 – Luce e Illuminazione. Illuminazione dei luoghi di lavoro. Parte 1: Luoghi di lavoro interni
- UNI EN 13363-1:2008 – Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate. Calcolo della trasmittanza solare e luminosa. Metodo semplificato
- UNI EN 13501-1:2009 – Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
- UNI EN ISO 717-1:1997 – Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Isolamento acustico per via aerea
- UNI EN ISO 10077-1:2007 – Finestre, porte e schermi. Trasmittanza termica. Parte 1: Generalità
- UNI EN ISO 10077-2:2007 – Trasmittanza termica di finestre, porte e chiusure. Calcolo della trasmittanza termica. Parte 2: Metodo numerico per telai
- UNI TS 11300-1:2008 – Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- UNI EN ISO 6946:2008 – Componenti ed elementi per edilizia: Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo
- UNI EN ISO 10456:2010 – Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto
- UNI EN ISO 13788:2013 – Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia: Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale. Metodi di calcolo
- UNI EN ISO 14683:2008 – Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento
- Documento tecnico UNCSAALUX23 – Capitolato speciale serramenti
- Documento tecnico UNCSAALUX75 – Fuoco e facciate
- D.G.R. 22/12/2008 n. VIII/8745 – Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici
- Guida tecnica sui Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili
- Manuale Rockwool – Pareti ventilate ad alte prestazioni: teoria e soluzioni a cura di Angelo Lucchini

Documentazione tecnica

- Knauf
- Poroton
- Rocwool
- Ruukki
- Schuco

Siti internet

- www.infobuild.it
- www.adermalocatelli.it
- www.alucobond.com
- www.alucobond.com
- www.alucobond.com
- www.arketipomagazine.it
- www.focchi.it
- www.graficaearte.it
- www.harmon.com
- www.homolaicus.com
- www.infobuild.it
- www.labissa.com
- www.laboratorioroma.it
- www.lombardiabeniculturali.it
- www.pepperconstruction.com
- www.polimerica.it
- www.poroton.it
- www.ruukki.com
- www.schuco.com
- www.skyscraperity.com
- www.skyscraperity.com
- www.stefan-forster-architekten.de

Indice delle figure

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Stefan Forster Architekten, Riqualificazione di un quartiere di edilizia e economica popolare, Leinfelden, Germania (www.stefan-forster-architekten.de)..... | 10 |
| Figura 2 - Teatro di Marcello a Roma (www.homolaius.com, www.laboratorioroma.it)..... | 11 |
| Figura 3 – Esempi di involucro funzionale all’attività commerciale all’interno dell’edificio. Punto vendita Ikea e store Geox in via Torino a Milano..... | 18 |
| Figura 4 - Ospedale Ca' Granda di Milano (www.lombardiabeniculturali.it, www.labissa.com)..... | 26 |
| Figura 5 - Ospedale Niguarda Ca' Granda di Milano (www.skyscrapercity.com)..... | 27 |
| Figura 6 - Ospedale San Carlo Borromeo di Milano..... | 29 |
| Figura 7 - Ospedale Papa Giovanni XXIII di Bergamo (www.architectmagazine.it, www.graficaarte.it)..... | 32 |
| Figura 8 - Distacco delle tessere di rivestimento dei pannelli prefabbricati (www.skyscrapercity.com)..... | 37 |
| Figura 9 – Fessurazione in corrispondenza del collegamento tra muratura di tamponamento e struttura portante (www.waler.it)..... | 39 |
| Figura 10 - Alterazione cromatica differenziata tra muratura di tamponamento e struttura portante (www.waler.it)..... | 39 |
| Figura 11 - Ubicazione dell'edificio rispetto alla città di Milano..... | 43 |
| Figura 12 - Assonometria dell'edificio Monoblocco e dell'edificio Accertamento e Cure..... | 45 |
| Figura 13 - Pianta del complesso ospedaliero..... | 46 |
| Figura 14 - L'edificio Monoblocco nel 1966 (da Chiappa F., L'Ospedale San Carlo Borromeo)..... | 47 |
| Figura 15 - Distribuzione funzionale della pianta dell'edificio Monoblocco..... | 48 |
| Figura 16 - Pianta piano tipo dell'edificio Monoblocco allo stato di fatto..... | 49 |
| Figura 17 - UNI 13788 – Figura NA.2a e Na.2b – Confronto comportamento di una parete bistrato al variare della stratigrafia..... | 81 |
| Figura 18 - UNI 13788 – Figura NA.3 – Effetto dell’inserimenti di una barriera al vapore..... | 81 |
| Figura 19 - UNI 13788 – Figura NA.4 – Esempio di elemento di involucro ventilato e di impermeabilizzazione con cavità drenata..... | 81 |

| | |
|---|-----|
| Figura 20 – UNI 13788 – Figura NA.1 – Esempio di correzione di ponte termico | 82 |
| Figura 21 - UNI 13363 - Principi di trasmittanza solare delle schermature solariso..... | 84 |
| Figura 22 - Andamento delle isoterme all'esterno della facciata durante un incendio | 93 |
| Figura 23 – Guida per la determinazione dei requisiti di sicurezza antincendio delle facciate – Schemi A, B e C – Conformazione della fascia di separazione orizzontale e verticale tra i compartimenti..... | 94 |
| Figura 24 - Esempi di diverse tipologie di integrazione impiantistica..... | 97 |
| Figura 25 – Esempio di integrazione di impianti in facciata - Edificio SNAM a San Donato Milanese | 98 |
| Figura 26 – Cantiere dell’Ospedale San Carlo Borromeo nel 1964 (da Chiappa F., L’Ospedale San Carlo Borromeo) | 108 |
| Figura 27 - Esempi di produzione e installazione di pannelli prefabbricati di facciata | 109 |
| Figura 28 - Rush Green Hospital, Romford, UK, 1966-1968. Al fine di ridurre i tempi e la spesa per il trasporto degli elementi prefabbricati è stata impiantata sul lotto stesso dell’ospedale un’officina di prefabbricazione completa di impianto di stagionatura con una catena di produzione lunga 100 m..... | 110 |
| Figura 29 – Particolare della facciata e del davanzale delle facciate lato degenze | 113 |
| Figura 30 – Particolare dei pannelli prefabbricati della facciata degenze | 114 |
| Figura 31 – Particolare dei pannelli prefabbricati della facciata servizi | 115 |
| Figura 32 - UNI 13788 – Figura A.1 – Variazione delle classi di umidità interna in funzione della temperatura esterna | 127 |
| Figura 33 - Edificio ex-Poste a Bolzano (www.provincia.bz.it , www.divisare.com , www.infobuildenergia.it)..... | 149 |
| Figura 34 - Quartiere residenziale a Gratosoglio, Milano (www.skyscrapercity.com , www.archetipomagazine.it) | 153 |
| Figura 35 - Palazzo della Vetra, Milano (www.gasworkstudio.com , www.divisare.com) | 157 |
| Figura 36 - Torri FS Garibaldi, Milano (www.teske.it , www.skyscrapercity.com)..... | 161 |
| Figura 37 - Edificio residenziale a Sheffield, Inghilterra (www.hawkinsbrown.com)..... | 166 |
| Figura 38 - Ex Casa di Bianco, Cremona (www.marchitects.it) | 171 |
| Figura 39 - CIS Towe, Manchester, Regno Unito (www.solaripedia.com)..... | 176 |
| Figura 40 – sistema Schüco VentoTherm per l’aerazione controllata integrata nel serramento con recupero di calore (www.schueco.com)..... | 181 |
| Figura 41 - Dati EUOL: distribuzione accessi al pronto soccorso nel comune di Milano | 183 |
| Figura 42 - Planimetria generale del complesso ospedaliero..... | 184 |
| Figura 43 - Distribuzione del gruppo servizi di due camere di degenza | 188 |
| Figura 44 - Esempio di unità bagno prefabbricata (www.sanika.it)..... | 188 |
| Figura 45 - Esempio dei due tipi di bagno prefabbricato (www.sanika.it) | 189 |
| Figura 46 - Sfalsamento dei giunti verticali e d'angolo tra i pannelli isolanti | 191 |

| | |
|---|-----|
| Figura 47 - Incollaggio dei pannelli isolanti per punti e cordolo perimetrale..... | 192 |
| Figura 48 – Trattamenti superficiali per elementi in calcestruzzo o materiale ceramico | 192 |
| Figura 49 - Deformazioni differenziali del pannello termoisolante causate dalle sollecitazioni termiche | 193 |
| Figura 50 - Schemi di fissaggio a seconda del numero di tasselli per m ² | 193 |
| Figura 51 - Dettaglio rompigoce e di interfaccia dell'intonaco plastico con altri materiali | 195 |
| Figura 52 - Esempio di serramento a giunto a aperto | 196 |
| Figura 53 – Esempio di schemature solari a veneziana | 198 |
| Figura 54 - Esempio di colonna montante a facciata ventilata per l'integrazione impiantistica | 199 |
| Figura 55 – Determinazione della trasmittanza termica del serramento col software U-Cal | 204 |
| Figura 56 - Collarini antincendio per la protezione al fuoco degli attraversamenti impiantistici di elementi REI o EI | 205 |
| Figura 57 - Schema di posa della sottostruttura e del rivestimento sulla facciata esistente | 211 |
| Figura 58 - Esempio di sottostruttura con staffe a Ce montanti a Ω | 212 |
| Figura 59 - Posa dell'isolante in lana di roccia e successiva protezione con telo impermeabile traspirante | 214 |
| Figura 60 - Schema di posa alternativo della sottostruttura e del rivestimento sulla facciata esistente | 214 |
| Figura 61 - Esempio di rivestimento a doghe metalliche (www.ruukki.com)..... | 215 |
| Figura 62 - Dettagli della connessione del rivestimento alla sottostruttura e gradazioni cromatiche (www.ruukki.com) | 216 |
| Figura 63 - Esempi di prospetti il cui motivo è determinato da arretramenti e avanzamenti della facciata (www.alucobond.com)..... | 226 |
| Figura 64 - Esempio di sottostruttura con staffe a Le montanti a T | 227 |
| Figura 65 - Esempio di facciata in pannelli prefabbricati di GRC dell'area Ex Bassesti di Vimercate (www.infobuild.it)..... | 228 |
| Figura 66 - Esempio di facciata continua a cellule e delle operazioni di montaggio (A. Carotti, Vetro strutturale e facciate continue)..... | 231 |
| Figura 67 – Esempi di facciata e parete testate prefabbricate (www.harmon.com) (www.pepperconstruction.com) | 232 |
| Figura 68 - Sezione verticale della cellula progettata | 233 |
| Figura 69 - Piastra per il collegamento della cellula al solaio | 234 |
| Figura 70 - Sezione orizzontale sul montante di mezzera e di bordo della cellula progettata | 235 |
| Figura 71 - Connessione della vetratura al montante tramite pressori o silicone strutturale | 235 |
| Figura 72 - Schermature solari a pale orizzontali e piastra di collegamento con la cellula | 238 |
| Figura 73 – Yale Sculpture Building, New Heaven, Connecticut, USA (www.schuco .com) | 239 |
| Figura 74 – AGC Glass Building, Ottignes-Louvain-la-Neuve, Belgio (www.schuco.com) | 239 |
| Figura 75 - Edison Business Center Development a Sesto San Giovanni (MI) (www.focchi.it) | 240 |

| | |
|--|-----|
| Figura 76 – UX75 – Figura 7.1 – Fascia di compartimentazione ed elemento di giunzione della facciata al solaio..... | 244 |
| Figura 77 – Esempio di piattaforma sospesa su monorotaia e del suo utilizzo per l’installazione di cellule di facciata (www.adermalocatelli.it) | 258 |
| Figura 78 - Porzione di facciata di riferimento per il computo metrico..... | 260 |
| Figura 79 – UNI 14683 – Coefficienti di trasmissione termica lineica a seconda del tipo di ponte termico | 263 |

Indice delle tabelle

| | |
|--|-----|
| Tabella 1 – Numero di abitazioni in edifici italiani ad uso residenziale per epoca di costruzione e n. di alloggi | 15 |
| Tabella 2 - Correlazione esigenze-requisiti per l'involucro di facciata di un edificio a destinazione d'uso ospedaliera | 70 |
| Tabella 3 - UNI 12210 – Classi di resistenza al vento | 73 |
| Tabella 4 - Classificazione combinata: resistenza al vento + freccia massima | 74 |
| Tabella 5 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di resistenza al vento per serramenti in zona di vento 1 | 75 |
| Tabella 6 - UNI 12207 - Classi di permeabilità all'aria per serramenti | 75 |
| Tabella 7 - UNI 12208 – Classi di tenuta all'acqua per serramenti | 76 |
| Tabella 8 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di permeabilità all'aria | 77 |
| Tabella 9 - UX24 - Criterio di scelta delle classi di tenuta all'acqua | 77 |
| Tabella 10 - Valori limite di trasmittanza termica dei componenti di involucro secondo D.P.R. 59/2009 [W/m^2K] | 78 |
| Tabella 11 – UNI 13788 – Prospetto quantità limite di condensa ammissibile alla fine del periodo di condensazione | 80 |
| Tabella 12 - D.P.C.M 05/12/97 – Tabella A – Classificazione degli ambienti abitativi | 88 |
| Tabella 13 - D.P.C.M 05/12/97 – Tabella B – Requisiti a costi passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici | 88 |
| Tabella 14 - Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC - Zone di vento | 105 |
| Tabella 15 - Circolare 4 luglio 1996 n°156 AA.GG./STC - Classi di rugosità del terreno | 105 |
| Tabella 16- Dati dimensionali dell'edificio | 112 |
| Tabella 17 - UNI 6946 – Prospetto 1 – Resistenza superficiale convenzionale | 118 |
| Tabella 18 - UNI 6946 - Prospetto 2 - Resistenza termica di intercapedini d'aria non ventilate con superfici ad alta emissività | 119 |
| Tabella 19 - UNI 1077-1 - Prospetto F.2 - Trasmittanza termica U_w per finestre verticali con percentuale dell'area del telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra e tipologie comuni di distanziatori di vetrate | 124 |
| Tabella 20 - UNI 13788 – Prospetto 2 – Resistenze termiche superficiali | 125 |
| Tabella 21 - UNI 13788 – Prospetto A.1 – Classi di umidità interna agli ambienti | 127 |

Tabella 22 – Allegato 2 del Decreto 10/03/2005 – Tabella 7.7 – Materiali da costruzione non combustibili appartenenti alla classe A1.....134

Tabella 23 - Possibili strategie da adottare in un intervento di redadding e rispettive caratteristiche.....179

Indice dei grafici

| | |
|--|-----|
| Grafico 1 - Costo al m ² di ogni ipotesi progettuale | 261 |
| Grafico 2 - Ripartizione del costo al m ² di ogni ipotesi progettuale per macrovoci di lavoro | 261 |
| Grafico 3 – Trasmissione termica di parete della chiusura allo stato di fatto e di ogni ipotesi progettuale..... | 263 |
| Grafico 4 – Rapporto costi/decremento di trasmissione termica ottenuto per ogni ipotesi progettuale | 264 |
| Grafico 5 – Costo della mano d’opera rispetto al costo totale per ogni ipotesi progettuale | 269 |
| Grafico 5 – Incidenza percentuale della mano d’opera sul costo totale per ogni ipotesi progettuale | 270 |

Indice delle schede

Scheda 01 - Rilievo fotografico – Facciata degenze

Scheda 02 - Rilievo fotografico – Facciata servizi

Scheda 03 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Stratigrafia e prestazioni – SDF

Scheda 04 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Condensazione superficiale – SDF

Scheda 05 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Condensazione interstiziale – SDF

Scheda 06 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Stratigrafia e prestazioni – caso 01

Scheda 07 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Stratigrafia e prestazioni – caso 02

Scheda 08 - Verifica delle prestazioni termoigrometriche – Stratigrafia e prestazioni – caso 03

