

edilportale
TOUR 2017



SALERNO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



SALERNO - 11 APRILE 2017,
ORE 14.30 - SALA TAFURI
GRAND HOTEL SALERNO

Enrico Sicignano

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Salerno

LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

premessa

Carta di Cracovia (2000)

Principi per la conservazione e il restauro del patrimonio costruito

I monumenti, come singoli elementi del patrimonio, sono portatori di valori che possono cambiare nel tempo.

premessa

Carta di Cracovia (2000)

Principi per la conservazione e il restauro del patrimonio costruito

Gli strumenti ed i metodi sviluppati per giungere ad una corretta salvaguardia devono essere adeguati alle diverse situazioni, soggette ad un continuo processo di cambiamento.

Carta di Cracovia (keywords)

<u>Patrimonio costruito:</u>	identificazione
	conservazione integrata
	mantenimento (autenticità - integrità)
<u>Progetto di restauro:</u>	compatibilità (materiali, strutture, valori architettonici)
	<u>gestione</u> (trasformazioni)
	<u>verifica</u> (sostenibilità)
	<u>aspetti patrimoniali e aspetti sociali - economici</u>
	<u>integrazione</u> (dei monumenti del passato nella realtà operativa moderna)
	consapevolezza (relazioni con il tempo)
	<u>sviluppo sostenibile</u>
	variabilità (valori)

Carta di Cracovia (2000)

Principi per la conservazione e il restauro del patrimonio costruito

GESTIONE

Art.11) La gestione del processo di cambiamento, trasformazione e sviluppo delle città storiche, così come il patrimonio culturale in generale, consiste nel costante controllo delle dinamiche del cambiamento stesso, delle scelte appropriate e dei risultati. Deve essere inoltre data particolare attenzione all'ottimizzazione dei costi di esercizio ...

La coniugazione tra conservazione ed efficienza energetica è un'operazione che richiede un approccio peculiare e specifico e deve tenere conto, più in generale:

- del ricorso a materiali tradizionali,
- dell'armonizzazione dell'intervento nel rispetto dell'edificio in sé e del contesto circostante,
- del rispetto della non invasività,
- dell'uso di tecniche e prodotti compatibili con il supporto esistente.

La normativa energetica vigente (DLg.vo 311/06 – art.3 comma 3) esonera tali costruzioni dall’obbligo di certificazione energetica “nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un’alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici”.

Il Mibac (Ministero per i Beni e le Attività Culturali) ha censito oltre 46.000 beni architettonici vincolati, oltre circa 5.700 beni archeologici e circa 8.700 siti di interesse paesaggistico.

*Tecniche non invasive
per il miglioramento energetico degli edifici storici*

Partendo dalla constatazione che il patrimonio storico-architettonico può fornire un contributo determinante in termini di risparmio energetico (considerando l'entità del patrimonio italiano «vincolato» o di interesse culturale), in questa sede si intende individuare alcune metodologie e tecniche appropriate per interventi di miglioramento energetico su edifici storici.

Strategie di intervento possibili

PASSIVE – ATTIVE - MISTE

Tecniche di intervento passive

Sono quelle tecniche che consentono un contenimento dei consumi energetici dell'edificio agendo sulle componenti architettoniche dell'edificio, senza l'ausilio di risorse energetiche.

In sostanza queste tecniche tendono alla riqualificazione energetica dell'edificio storico intervenendo sulle componenti «passive» dell'edificio (involucro, copertura, infissi, ecc).

Le principali metodologie di interventi sull'involucro dell'edificio storico possono distinguersi per tipologia di applicazione:

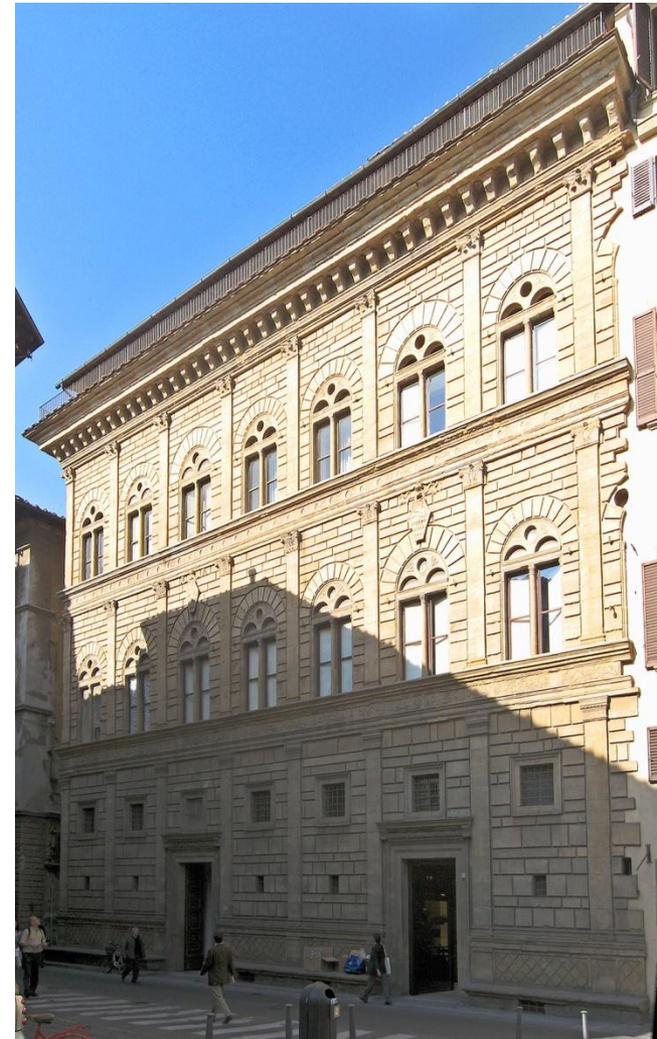
-interventi che agiscono sulla stratigrafia del pacchetto-involucro

-opere di giustapposizione, alla facciata esistente, di volumi di nuova progettazione.

Interventi che agiscono sulla stratigrafia del pacchetto-involucro

La prima possibilità, che consiste in pratica nel classico cappotto termico, presenta non poche difficoltà (se applicata agli edifici storici):

la scelta dipende dal **compromesso** possibile fra la migliore soluzione in termini di **performance energetica** e **libertà di intervento** che il valore del paramento murario consente.



Termointonaco

Una efficace soluzione è rappresentata dall'impiego di intonaco minerale termoisolante, a base di calce idraulica, che garantisce un miglioramento della prestazione energetica della parete dell'ordine del 40% a fronte di spessori molto ridotti che permettono di non alterare l'immagine originale della facciata.

Termointonaco

È un intonaco minerale fibrorinforzato, costituito da una miscela di legante (**calce idraulica**) ed inerte (**perlite espansa / silice espansa / farina di sughero / vetro espanso riciclato**)

I termointonaci attualmente in commercio sono certificati con valori di conduttività termica λ a partire da **0,045 W/mK** (a seconda dello spessore di applicazione).

Generalmente il prodotto si applica con spessori da 2 a 6 cm, a seconda che venga accoppiato ad un cappotto tradizionale o come unico isolamento.

Il termintonaco è in grado di fornire una risposta soddisfacente nei casi di:

- 1) Mancanza di planarità della muratura;**
- 2) Supporto non uniforme;**
- 3) Disomogeneità di spessore di rivestimento da applicare;**
- 4) Esigenze estetiche e storiche particolari;**

Monastero di Sant'Antonio in Polesine (Ferrara)

Per le facciate del portico interno, per le quali il cappotto esterno risulterebbe troppo invasivo (presenza di modanatura e tracce di antichi affreschi), è stata preferito l'impiego di un isolante interno in fibra di legno di 8 cm con un valore di λ di 0,04 W/mK, per cui la trasmittanza della parete si riduce da 1,27 W/m²K a 0,351 W/m²K.

Sul prospetto secondario a Nord Ovest è stato ipotizzato l'uso di intonaco termoisolante di 6 cm di spessore, comportando la riduzione della trasmittanza da 1,54 W/m²K a 0,66 W/m²K.

La previsione dei consumi, per effetto dell'intervento, è stata stimata in 11 KWh/m²a (rispetto ai 70 dello stato di fatto).



Alcuni prodotti in commercio

	coefficiente di conduttività termica λ	fattore di resistenza al vapore acqueo μ	prezzo orientativo al metro quadro per 3 cm di spessore (posto in opera)
Termointonaco a base di calce idraulica naturale con vetro espanso riciclato	fino a 0,086 W/mk	6	€ 47,60
Termointonaco a base di leganti idraulici e granuli di polistirolo espanso	fino a 0,058 W/mk	12,6	€ 53,50
Termointonaco deumidificante, anticondensa a base di calce idraulica e perlite	fino a 0,056 W/mk	9	€ 79,40

Opere di giustapposizione alla facciata

Tra le possibili soluzioni di sovrapposizione di nuove pelli, la soluzione più opportuna, nel rispetto della preesistenza, è la facciata continua vetrata.

La facciata vetrata, sfruttando i vantaggi di accumulo solare in inverno e di ventilazione con basso-emissivi in estate, è in grado di ottimizzare in maniera consistente il rendimento energetico dell'edificio.

Il nuovo involucro vetrato, previsto in progetto, è costituito da lastre stratificate con rivestimento basso emissivo.

L'involucro è stato progettato a regime stagionale variabile:

-a celle per aumentare le prestazioni isolanti in inverno

-ventilato per raffrescare la parete in estate.



progetto per la **valorizzazione di sito museale Antiquarium (Villa del Foro) ad Alessandria.**
(concorso di idee)



Foto attuale



Rendering di progetto

Rendering di progetto

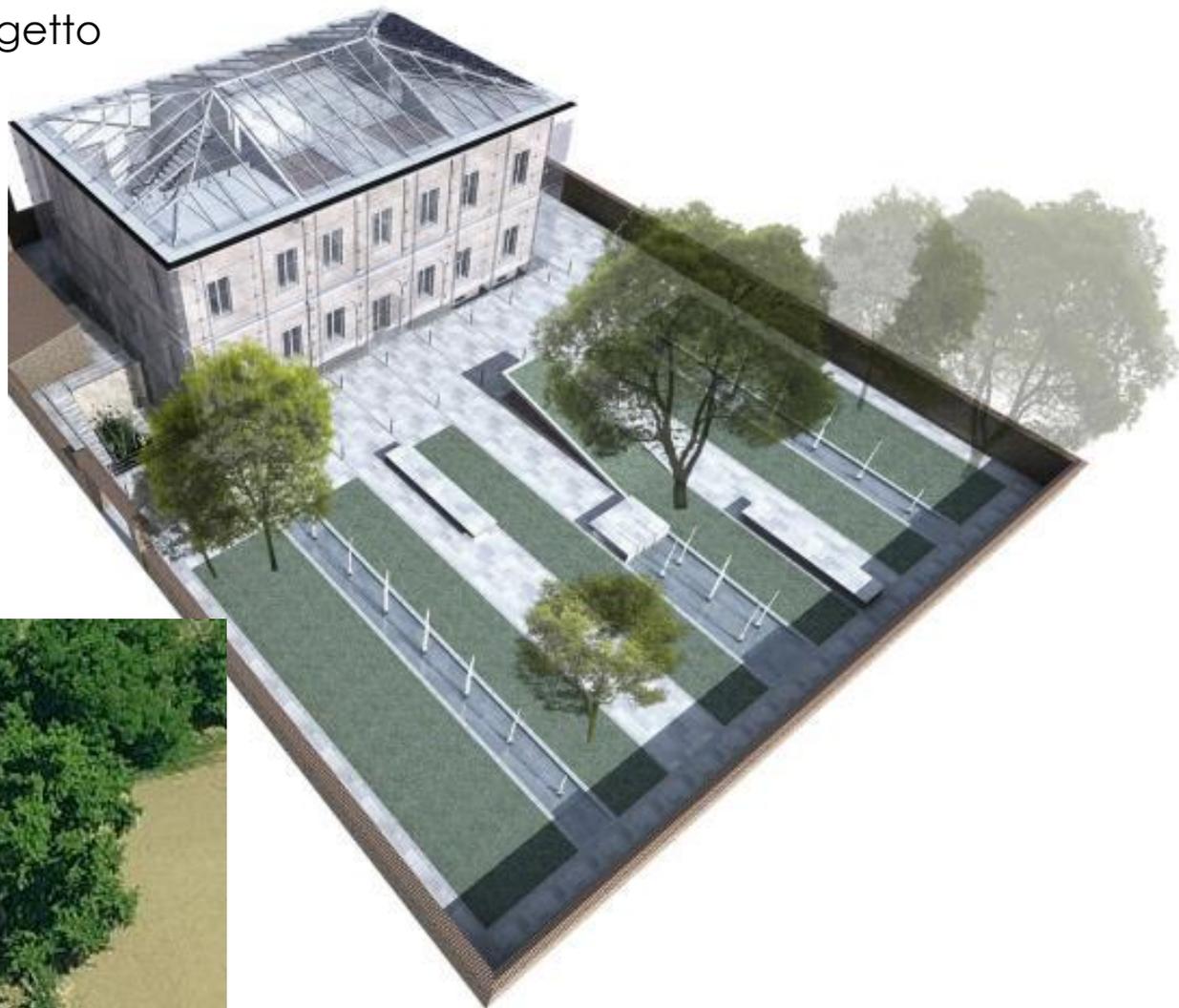


Foto attuale

L'infisso in acciaio cor-ten

I VANTAGGI DELL'ACCIAIO COR-TEN

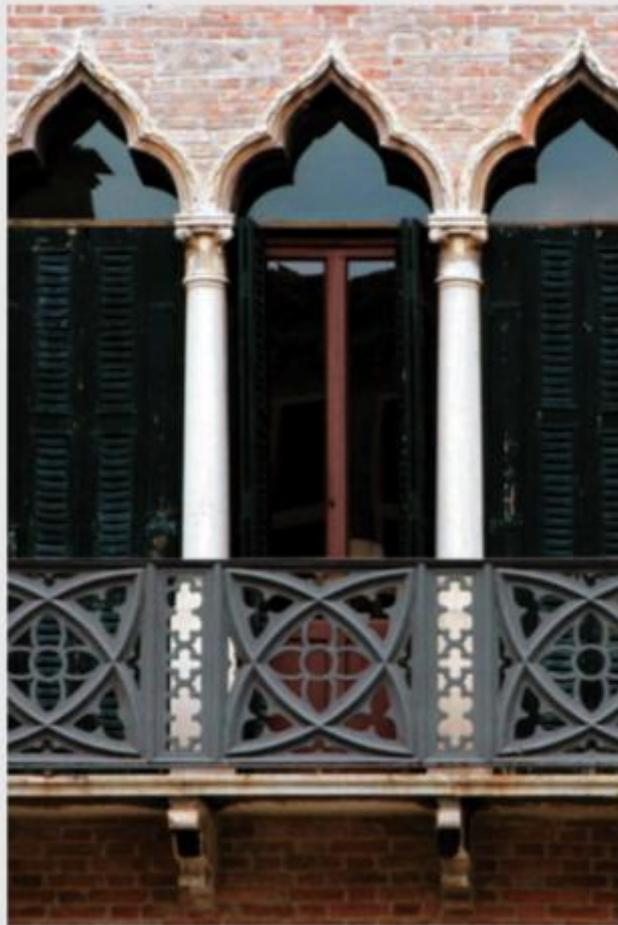
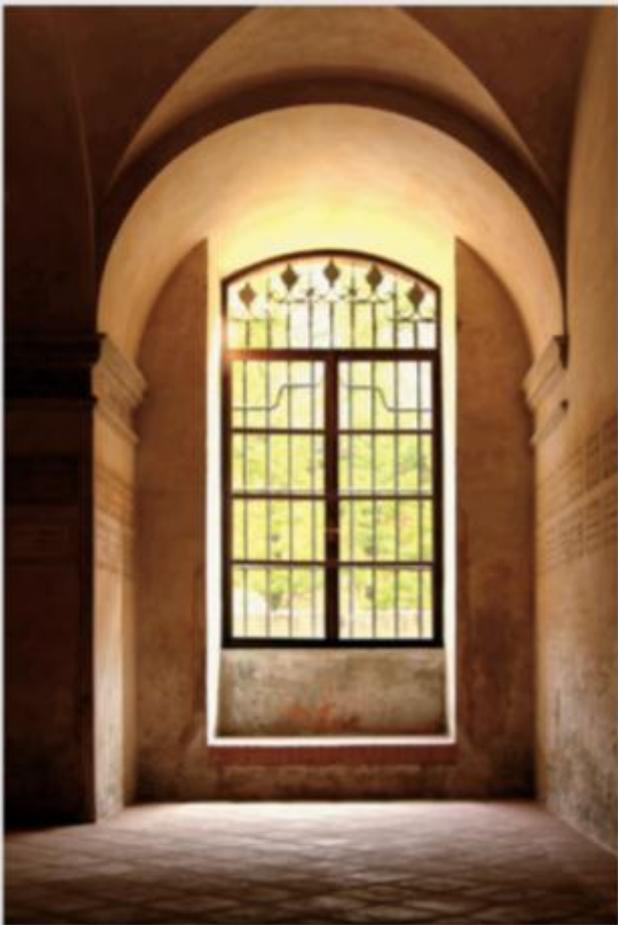
- **Elevata resistenza strutturale**
- **Conduttività termica notevolmente inferiore a quella dell'alluminio**
- **Ridotto coefficiente di dilatazione**
- **Alto valore estetico** per la caratteristica patina (effetto invecchiato, che contraddistingue l'acciaio cor-ten
- **Massima resistenza alla corrosione** rispetto agli acciai normali, anche per impieghi in situazioni critiche
- **Lunga durata e bassi costi di manutenzione**
- **Materiale naturale**, intrinsecamente ecologico, riciclabile al 100% e illimitatamente



Afra e Tobia Scarpa: Restauro del Palazzo del Mercato Vecchio Verona (2007)

L'intervento di restauro ha previsto la installazione di nuovi infissi in acciaio cor-ten a taglio termico. Un particolare accorgimento estetico è stato l'inserimento del fermavetro interno in rovere.





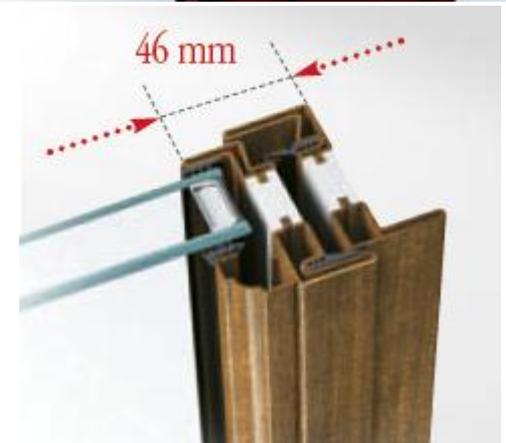
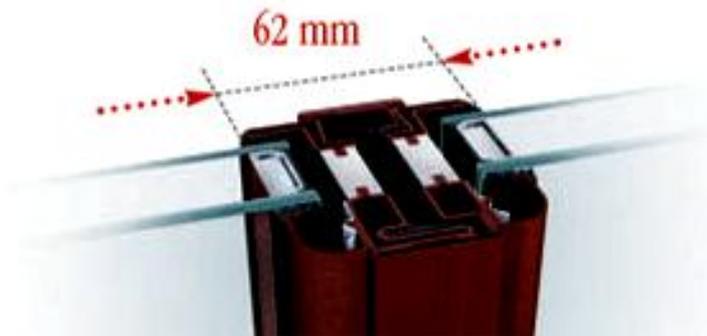
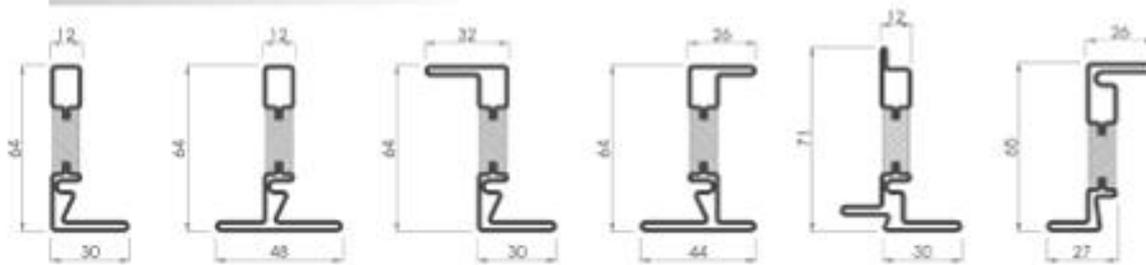
Il telaio in acciaio corten a taglio termico, è una soluzione in grado di coniugare il miglioramento energetico con un discreto inserimento nell'organismo storico, grazie ad uno spessore in vista inferiore ai 5cm e di circa 6,5cm nella sovrapposizione dei battenti.

Le particolari caratteristiche del materiale fanno sì che l'acciaio COR-TEN, esposto all'esterno non verniciato, si ricopra di una patina di ossido, uniforme e resistente, che impedisce il progressivo estendersi della corrosione all'interno.

Tale patina assume una tipica colorazione bruna, le cui tonalità variano nel tempo in base alle condizioni ambientali, consentendo un inserimento negli edifici storici di elevata valenza estetica.

Il telaio cor-ten a taglio termico è realizzato con un sistema che utilizzando la tecnologia della schiumatura di resine poliuretaniche tra i gusci in acciaio permette anche ai profili metallici di garantire valori di trasmittanza termica fino a $1,4 \text{ w/m}^2\text{K}$, con spessori del profilo inferiori rispetto agli altri materiali, garantendo elevate prestazioni di resistenza meccanica.

PORTE E FINESTRE



**costi medi orientativi per una finestra a battente
con telaio a taglio termico**

Materiale	Prezzo al m ² , incluso iva e installazione
PVC	250 - 300 €
Alluminio	300 - 350 €
Legno	350 - 400 €
Legno-Alluminio	400 - 450 €
Acciaio Cor-Ten	600 - 750 €

Tecniche di intervento attive / miste

Sono quelle tecniche che perseguono il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio pur necessitando di una integrazione impiantistica ed un parziale apporto energetico.

Sistemi misti: pellicola antimuffa

La muffa è un agente biologico che, soprattutto in ampi locali dove non è possibile garantire una sufficiente ventilazione, può estendere il proprio effetto su elementi di pregio dell'immobile (oggetti e suppellettili di arredo, opere d'arte, finiture, ecc.) e sulle parti architettoniche (pitturazioni ed intonaci) con conseguente incremento dei costi di gestione e di ristrutturazione.

pellicola antimuffa:
sistema di RISANAMENTO+RISCALDAMENTO

Si tratta di una pellicola riscaldante (dello spessore medio di **0,4 mm**), inserita nello spessore dell'intonaco interno, composta da minuscole fibre di carbonio, sotto forma di conduttori sottointonaco, che trasformano in calore la corrente elettrica di un'apparecchiatura a raggi infrarossi.

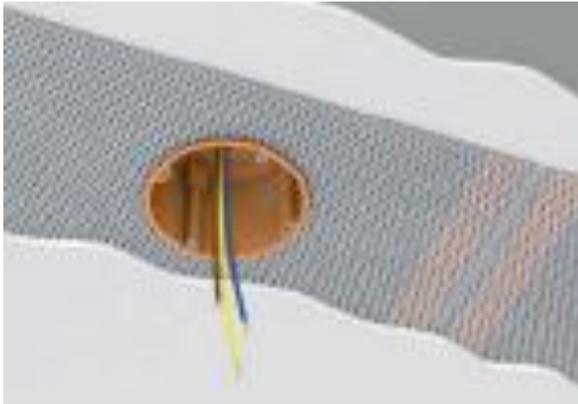
Il sistema consiste in un pacchetto composto da intonaco a calce (che svolge funzioni di conduzione) che ingloba una pellicola riscaldante.



Il sistema può essere applicato a scomparsa su qualsiasi parete interna, sia su materiali inorganici (pietra, intonaco, ecc.) che organici (legno, sughero, plastica, PVC, ecc.), purché resistenti a temperature fino a 60 °C.

Grazie alla tecnologia a basso voltaggio, il sistema è adatto anche all'impiego in locali umidi.

Partendo da una potenza termica minima di 35 W/m lineare conduttrice, garantisce una temperatura di esercizio della parete interna dai 20° ai 40°C.



Montaggio a soffitto

Applicato sulla superficie del soffitto, garantisce una uniforme distribuzione della radiazione di calore.

Montaggio a parete

Il foglio riscaldante permette di appendere normalmente quadri all'interno della superficie di riscaldamento utilizzando comuni tasselli e viti.

Montaggio a pavimento

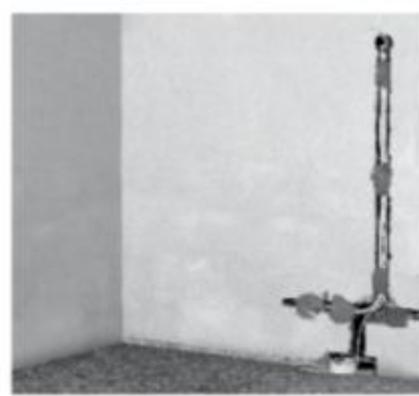
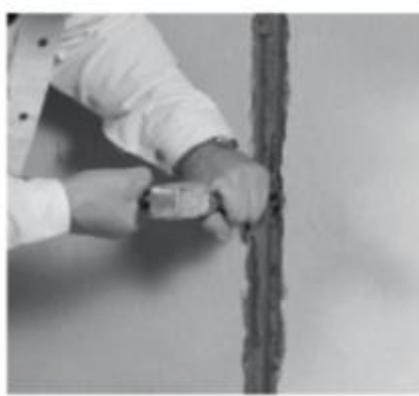
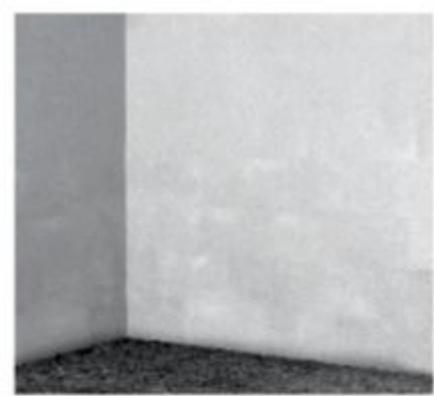
Questo esempio illustra un montaggio galleggiante sotto un parquet/parquet laminato. Il sistema può essere combinato con quasi ogni tipo di rivestimento.

VANTAGGI

-Possibilità di concepire i propri locali in maniera innovativa, **senza necessità di radiatori e termoconvettori.**

-Vantaggi del sistema di riscaldamento: **foglio riscaldante con spessore ridotto di soli 0,4 mm**, proprietà di diffusione e alta capacità di presa grazie alla perforazione con possibilità di successive lavorazioni.

-Particolarmente adatto alla **prevenzione della formazione della muffa** su muri e produzione di una **temperatura ideale per il comfort interno.**



Il sistema si basa sulla applicazione di una pellicola riscaldante posata con adesivo.

Sul sottofondo viene stesa una malta-collante di rivestimento dello spessore di 1,2 mm.

La pellicola viene quindi applicata con una leggera pressione e l'ausilio di un'apposita cazzuola in plastica.



Componenti del sistema “pellicola antimuffa”

1) Pellicola in PET con fibre di carbonio



2) Trasformatore

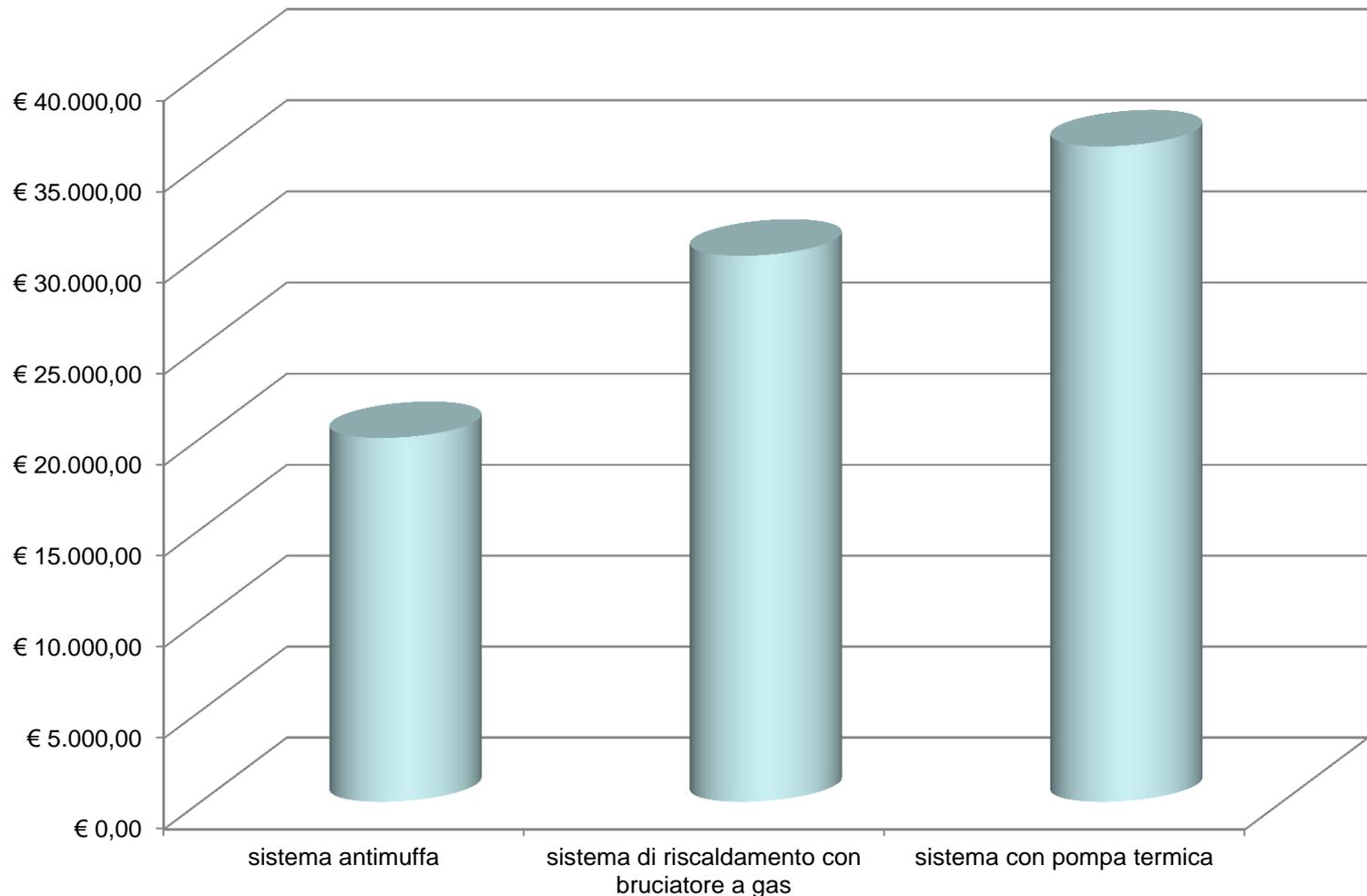


3) Sensore termico e cavi di collegamento



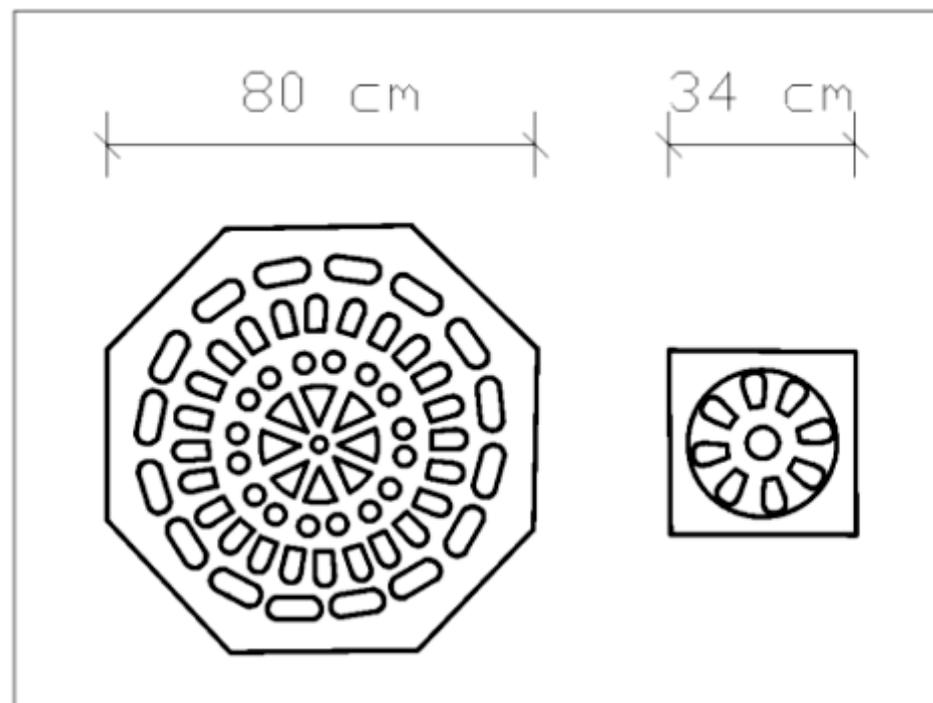
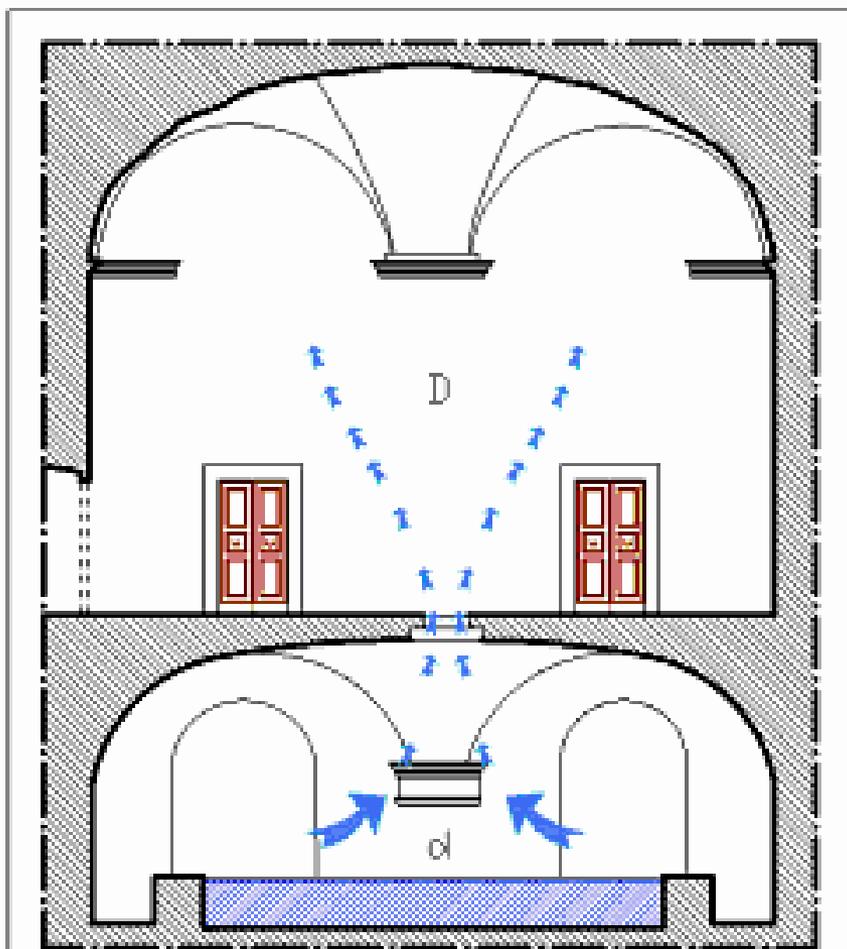
4) Termostato

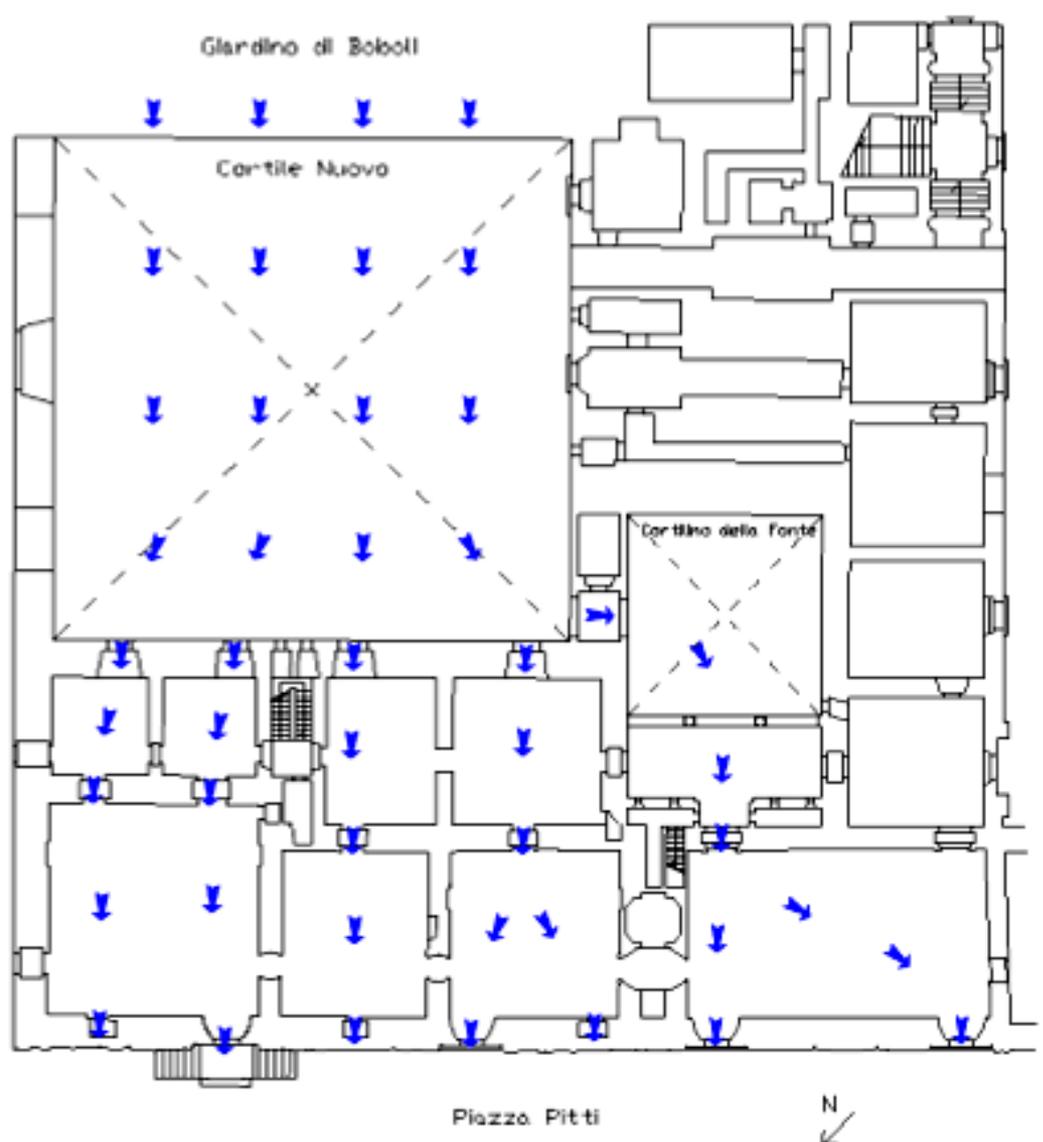
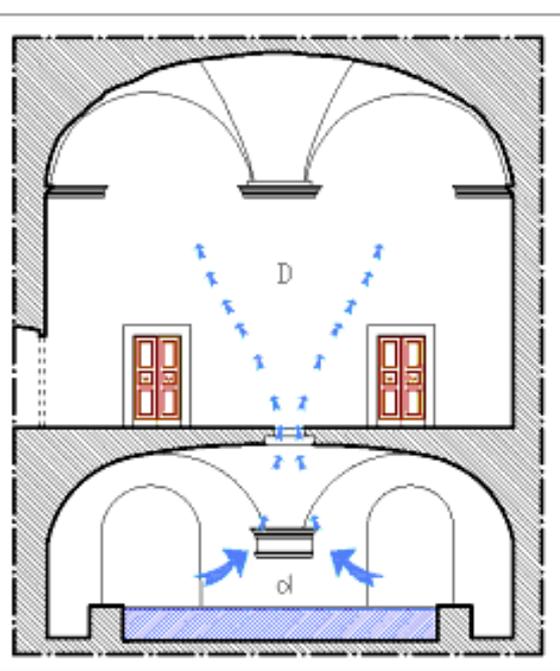
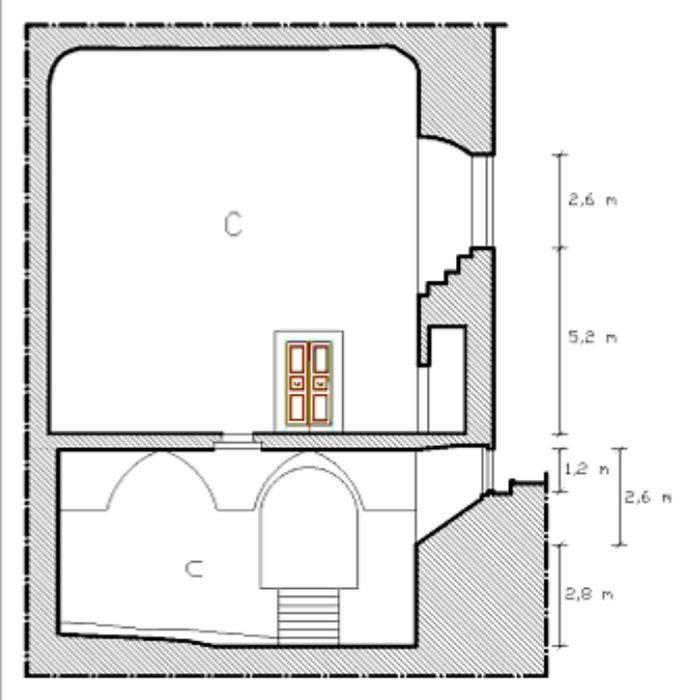
Confronto spese di investimento tra sistemi di riscaldamento, per un'abitazione tipo, in un periodo di 20 anni



***La gestione del comfort termoigrometrico
negli edifici storici***

Recenti studi hanno dimostrato che, **negli edifici storici si poneva attenzione particolare alla ventilazione naturale degli ambienti**, grazie alla circolazione dell'aria che, nel suo percorso, attraversava ampie vasche d'acqua che ne favorivano il raffrescamento (*Palazzo Pitti a Firenze*), grazie ad apposite grate di areazione a pavimento.





Ipotesi di moto dell'aria tra cortile Nuovo di palazzo Pitti e piazza Pitti

Fonte: C.Balocco, G.Minutoli, F.Farneti, *I sistemi di ventilazione naturale negli edifici storici. Palazzo Pitti a Firenze e palazzo Marchese a Palermo*

L'adattamento di molti edifici monumentali a nuove destinazioni (museo, biblioteca, funzioni pubbliche, ecc.) con conseguente compartimentazione stagna dei vari ambienti **ha comportato una inevitabile alterazione del microclima interno iniziale, e proliferazione di patologie tipiche quali condense, muffe, ecc.**

Tipo di sorgente	Classe	Sorgente
Endogena	Attività umane Materiali edilizi e arredi Impianti	Metabolismo degli occupanti Processi di combustione Pulizia dei locali Igiene personale Emissioni dai materiali edilizi Emissione da collanti e vernici Emissione da arredi e pareti umide Emissioni di contaminanti dagli impianti Emissioni di contaminanti che possono svilupparsi in componenti degli impianti.
Esogena	Industrie Traffico veicolare Prodotti agricoli	Scarichi Scarichi Fertilizzanti e prodotti chimici in generale

Tipi di inquinanti presenti in ambienti museali

L'integrazione dei sistemi di condizionamento

Nel caso dell'integrazione di sistemi impiantistici ex-novo, all'interno di edifici storici, la soluzione più conveniente è costituita dalla progettazione di un unico sistema impiantistico (sia per la ventilazione che per la climatizzazione) che controlli anche la qualità dell'aria.

L'integrazione impiantistica è un'operazione molto complessa soprattutto per le dimensioni delle canalizzazioni.

L'operazione prioritaria è quella conoscitiva e diagnostica per la individuazione di vani tecnici preesistenti, all'interno dei quali alloggiare le unità di trattamento d'aria.

-è possibile **installare controsoffitti nei vani di servizio** (servizi igienici e corridoi) per concentrare le unità di condizionamento negli ambienti meno pregiati, praticando delle bocchette di immissione ed estrazione sulle pareti confinanti con gli ambienti da condizionare.

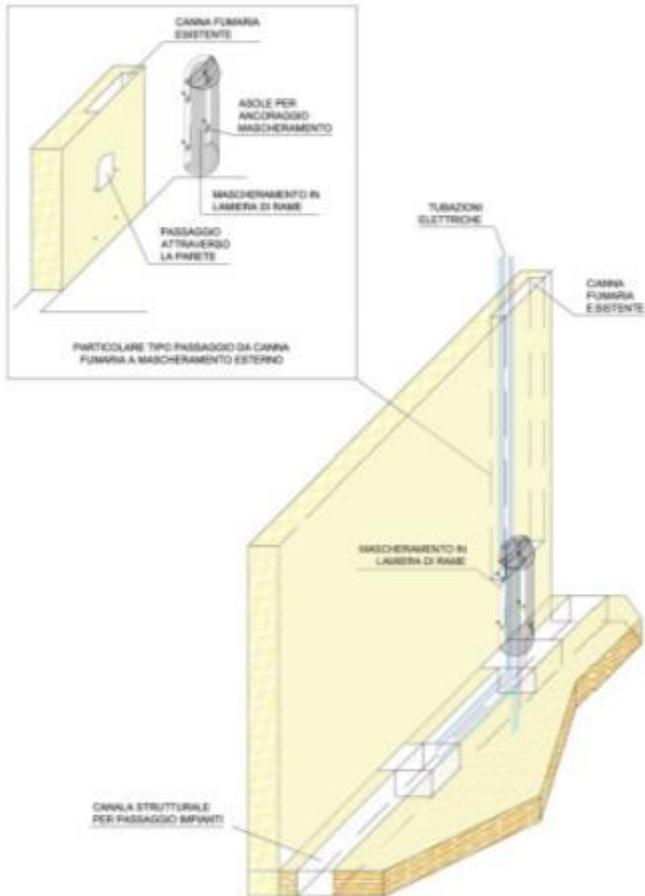
-è possibile **sfruttare i vuoti presenti nelle murature che portano alle canne fumarie degli antichi camini.** È possibile ritrovare gli antichi tracciati e riutilizzarli per funzioni simili, reinterpretate in chiave moderna.

-è possibile **utilizzare i cavedi costituiti dai rinfianchi delle volte lungo il perimetro degli ambienti,** per nascondere nei solai le canalizzazioni, realizzando bocchette di ventilazione a terra.

Questa soluzione tuttavia non è attuabile in presenza di un pavimento da preservare in toto.

Importanza della conoscenza del manufatto storico

INTEGRAZIONE IMPIANTISTICA



Le dorsali di distribuzione principale alloggiano all'interno di:

- contro-pareti di nuova realizzazione
- cavedi delle canne fumarie esistenti e percorsi a pavimento



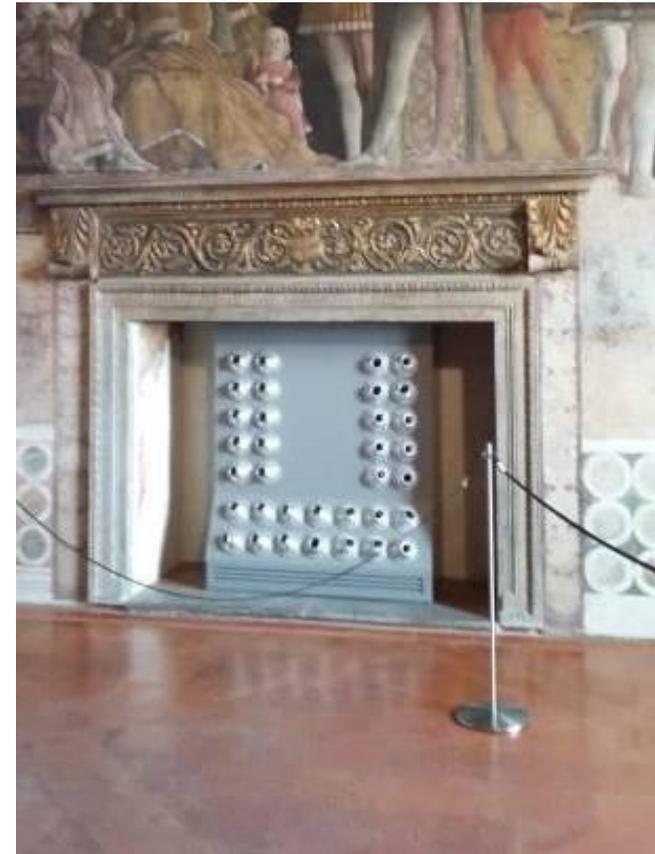
Camera degli Sposi,
Castello di San Giorgio
di Mantova (affreschi di
Andrea Mantegna, 1465-
1474)



Per l'installazione del sistema meccanico di ventilazione non sono stati apportati interventi sulle pareti della Camera Picta; solo all'interno delle camere adiacenti è stata rimossa la zoccolatura perimetrale del pavimento e reinstallata con gli stessi materiali (piastrelle in cotto).

All'interno della Camera Picta si vede solo il diffusore d'aria, alloggiato all'interno del camino al centro della parete Nord.

Due condotti circolari sono alloggiati all'interno della canna fumaria esistente e sono collegati con una Unità Trattamento Aria, collocata all'interno della stanza del piano superiore.



**Esempio di integrazione
dell'impianto di aerazione
che sfrutta i rinfianchi
delle volte.**

**Dell'impianto è visibile
solo la bocchetta di
emissione dell'aria.**

(Castello del Valentino, Facoltà di
Architettura di Torino).

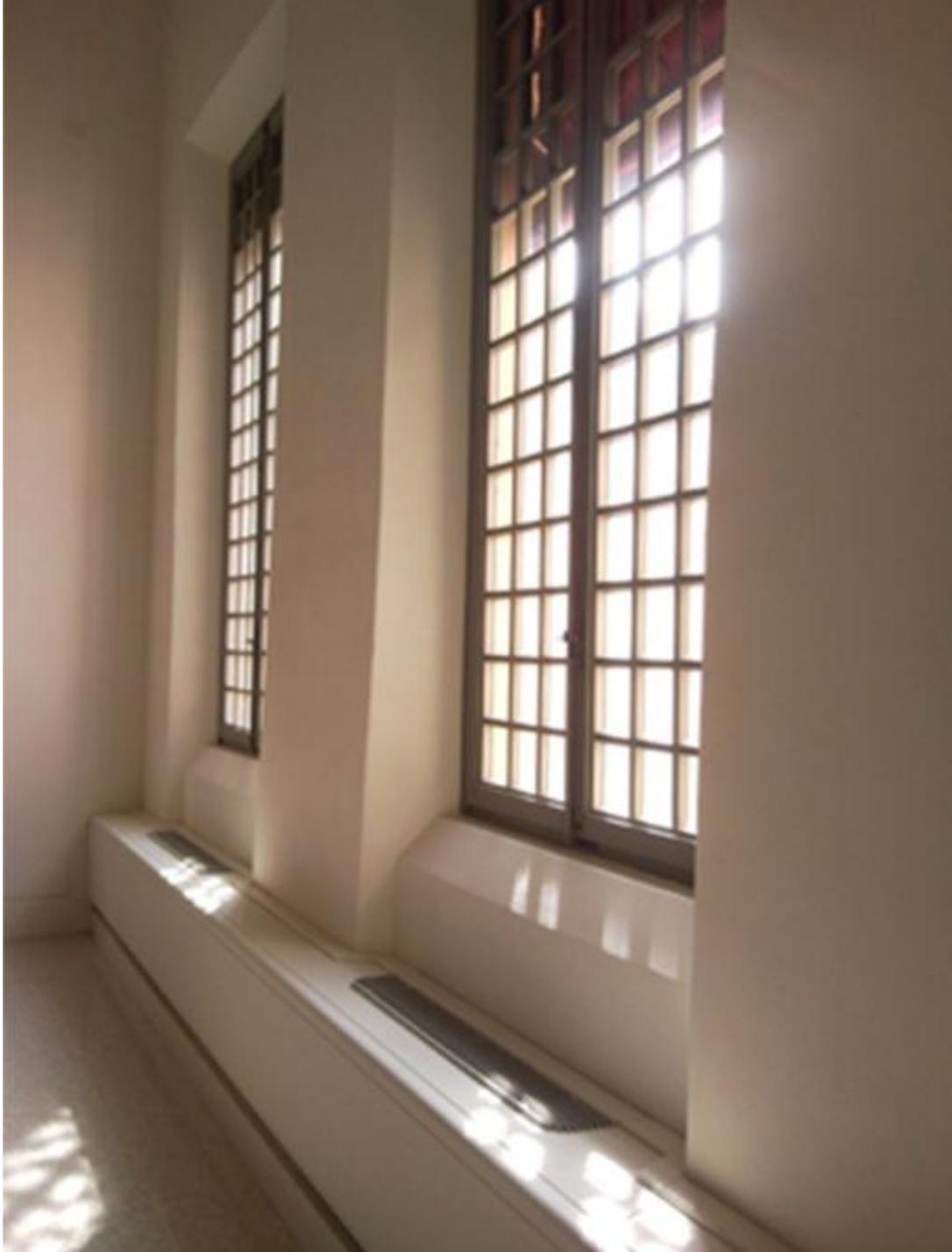




Impianto di condizionamento ad aria integrato nell'arredo.
Salone d'onore di Palazzo Tassoni, Facoltà di Architettura di Ferrara.

**Impianto di condizionamento
ad aria integrato nell'arredo.
Salone d'onore di Palazzo
Tassoni.**

*Dettaglio del sistema impianto-arredo
realizzato sotto le finestre.*



**Impianto di ventilazione con
bocchette di areazione integrate
nelle porte.**

*Castello estense,
sede della Provincia di Ferrara.*



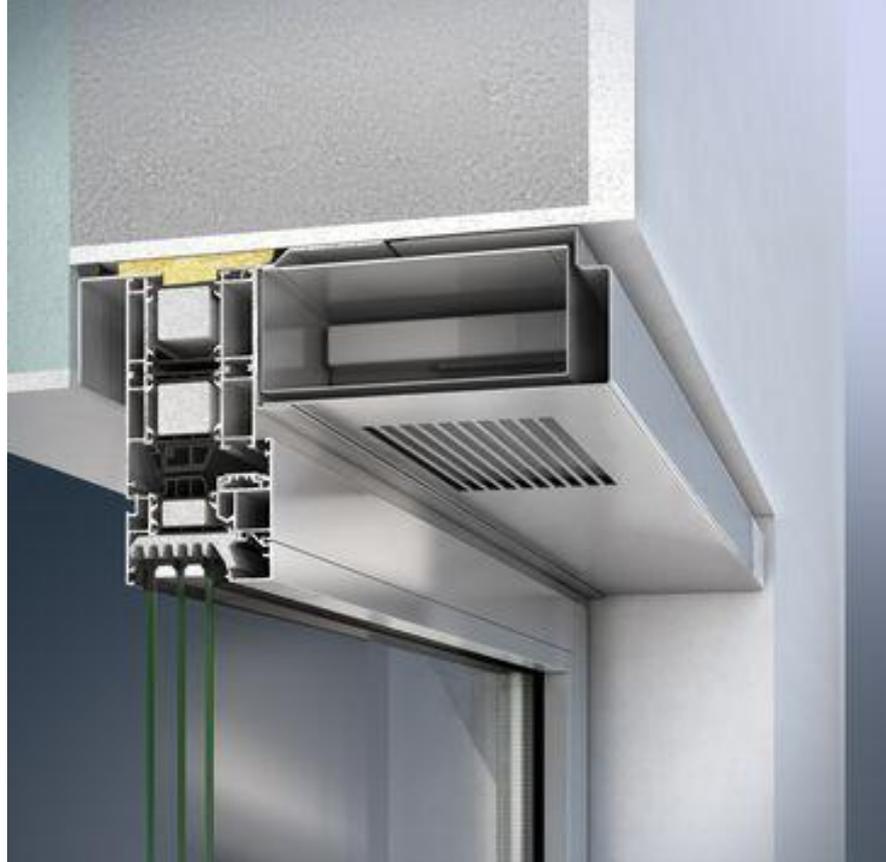
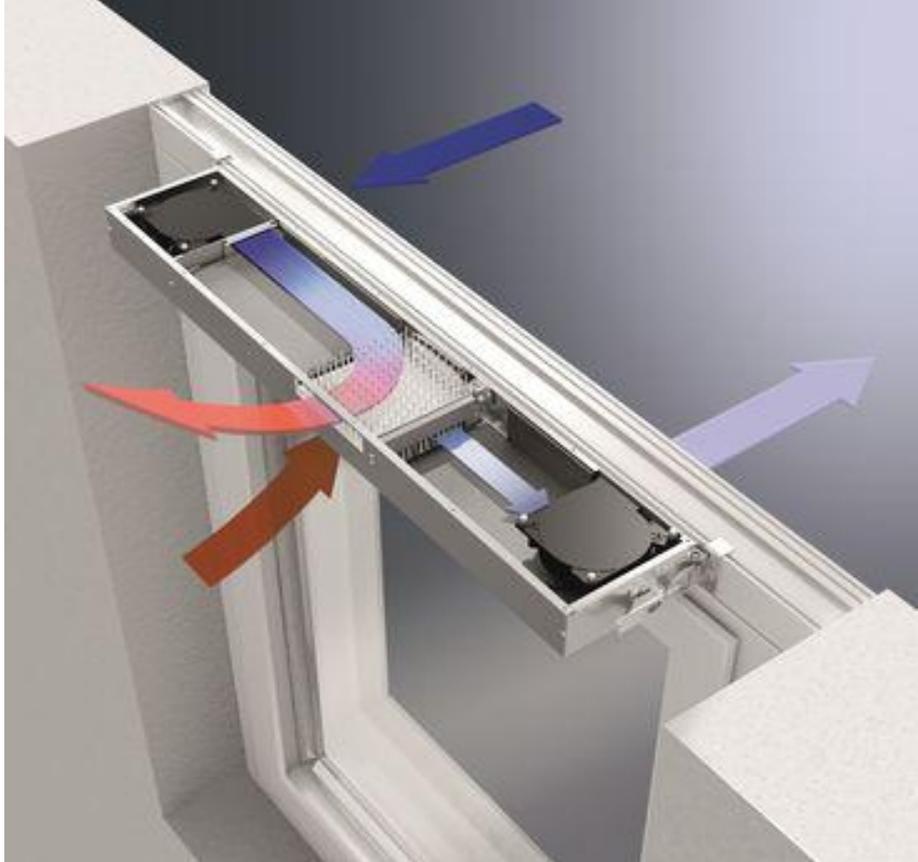
***Sistemi di ventilazione controllata
con recupero del calore***

Il rimedio immediato per un rapido ricambio dell'aria stagnante negli ambienti è, molto spesso, l'apertura delle finestre.

Questa soluzione tuttavia è notevolmente dannosa in termini di dissipazione di calore e di inquinamento acustico.

Ventilare correttamente gli ambienti significa rinnovare regolarmente l'aria interna senza perdite energetiche significative, prevenendo la formazione di condense ed inquinanti che attecchiscono all'interno degli ambienti.

La ventilazione con recupero energetico degli spazi è una problematica che **interessa** non solo i locali abitativi e lavorativi, ma anche **gli edifici storici dove il ricambio naturale dell'aria è molto raro, per evitare di alterare il microclima interno** (sia nel caso di spazi espositivi sia nel caso di emergenze artistiche sensibili all'inquinamento *outdoor*).



Esempio di sistema di ventilazione integrata nelle finestre con recupero di calore. L'aria interna viene filtrata da un dispositivo di recupero che, prima di trasferirla all'esterno, ne assorbe il calore.

Contemporaneamente l'aria fredda proveniente dall'esterno dell'edificio, passando attraverso lo stesso dispositivo, viene filtrata e riscaldata con il calore recuperato dall'aria interna.

La caratteristica più interessante di questo sistema è il minimo ingombro, facilmente integrabile all'interno di un vano-finestra, anche di un edificio storico.

**Caso studio
(il retrofit energetico del 'moderno'):**

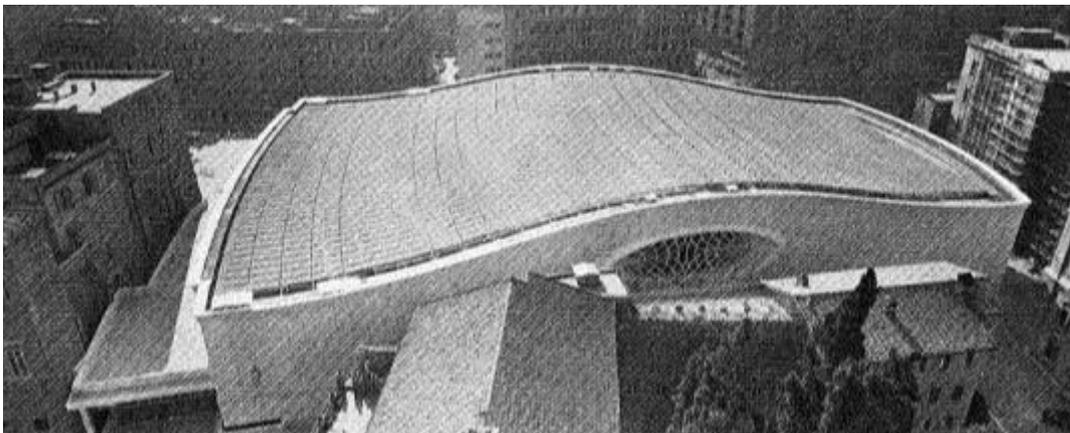
**L'installazione dell'impianto fotovoltaico
sulla copertura della Sala Udienze del Vaticano
Pier Luigi Nervi**

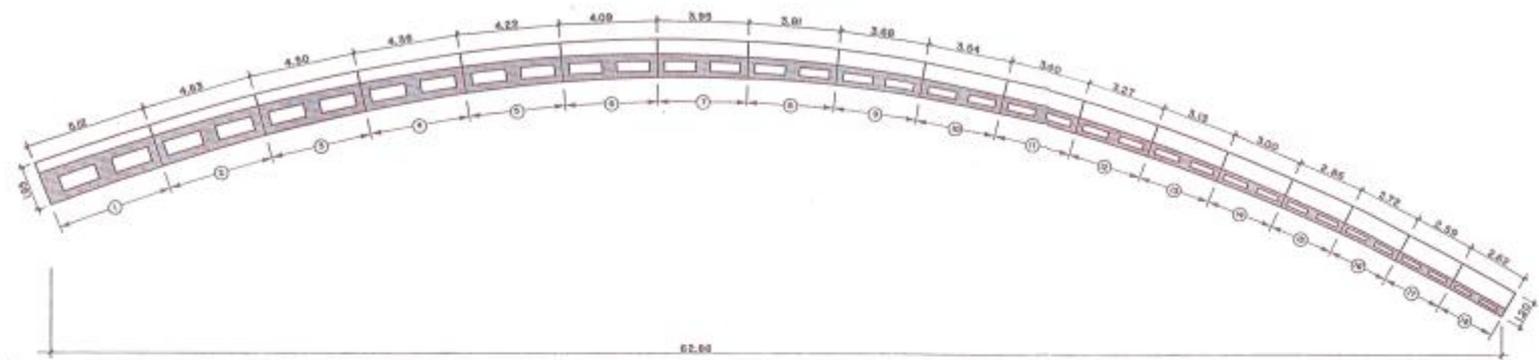
Pier Luigi Nervi, già autore di importanti ed imponenti opere pubbliche

negli anni '50, in occasione delle Olimpiadi di Roma '60, nel 1964 fu incaricato da Papa Paolo VI per il progetto di una sala per le udienze, in un lotto prossimo alla Basilica di San Pietro.

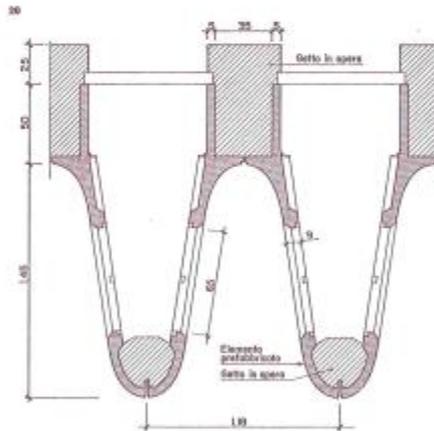
I lavori, avviati nel 1966, furono ultimati nel 1971.

Nel 2008 è entrato in funzione l'impianto fotovoltaico, realizzato sull'intera copertura della sala, mediante un intervento integrato di risanamento/efficientamento energetico.



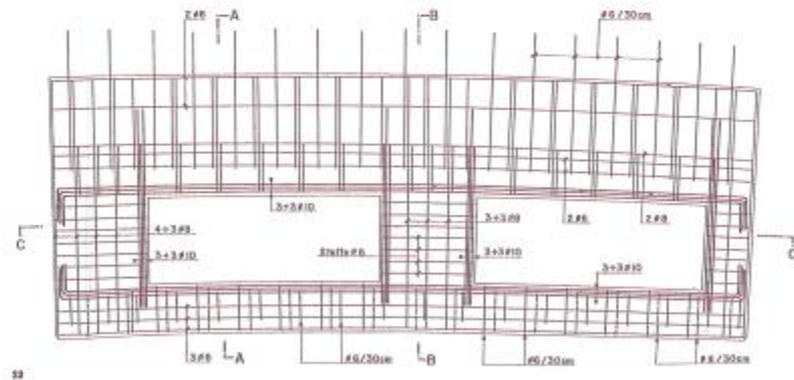
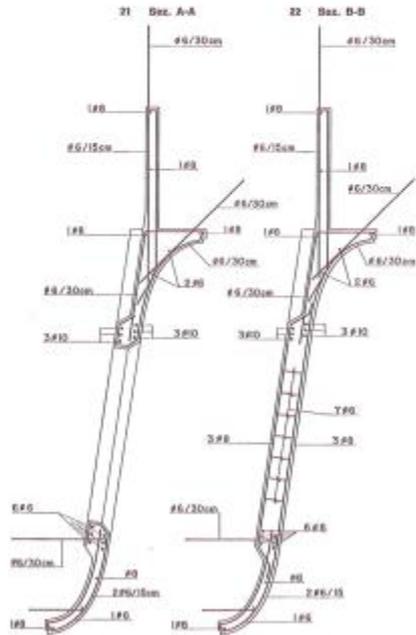


19

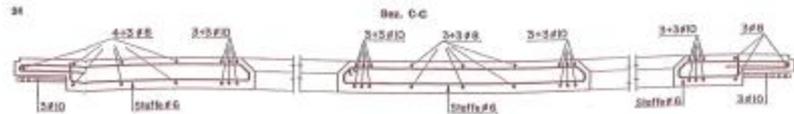


LE VOLTE PREFABBRICATE PER LA COPERTURA DELL'AULA DELLE UDENZE

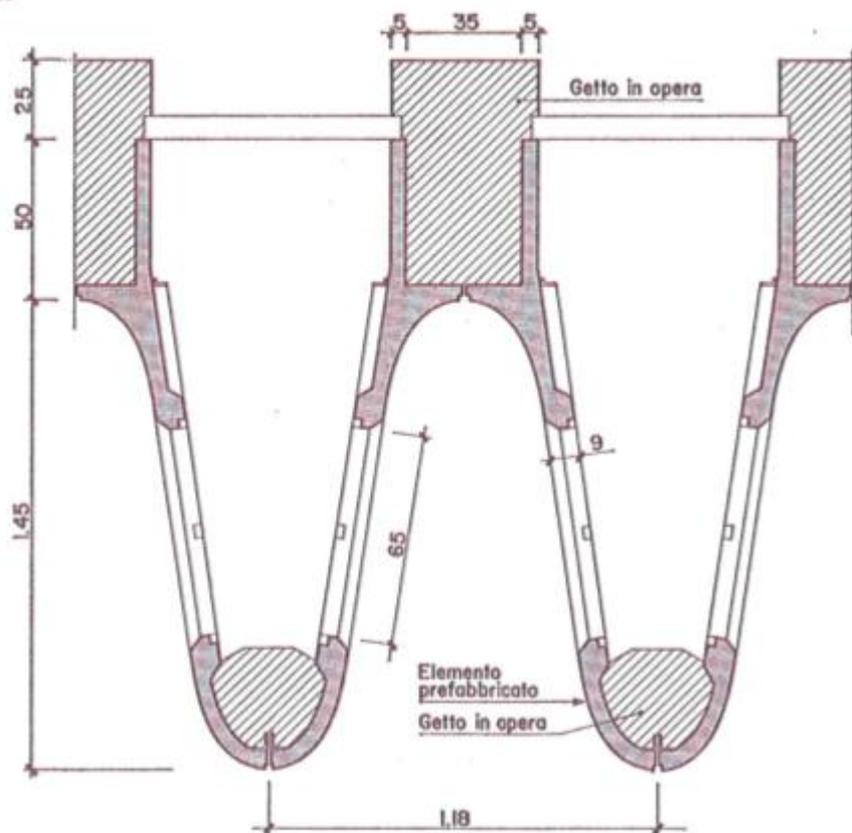
19 - Sezione longitudinale di una volta; 20 - Sezione trasversale di due volte all'ascella, in corrispondenza del primo cuneo; 21-22 - Sezioni trasversali del primo cuneo di una volta, la corrispondenza dell'apertura per l'illuminazione e della parte piena; arretrata; 23-24 - Sezioni longitudinali ed ortogonali del primo cuneo di una delle volte di apertura; arretrata.



23

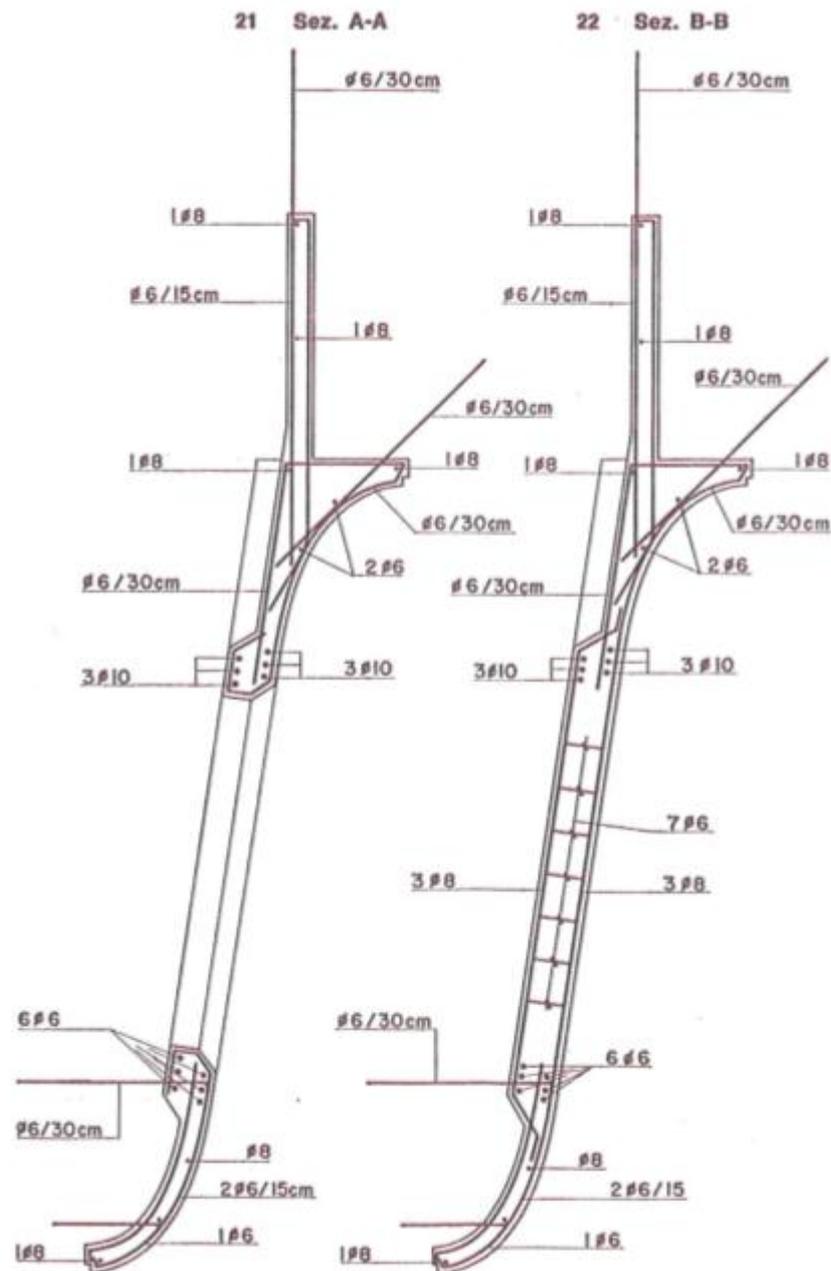


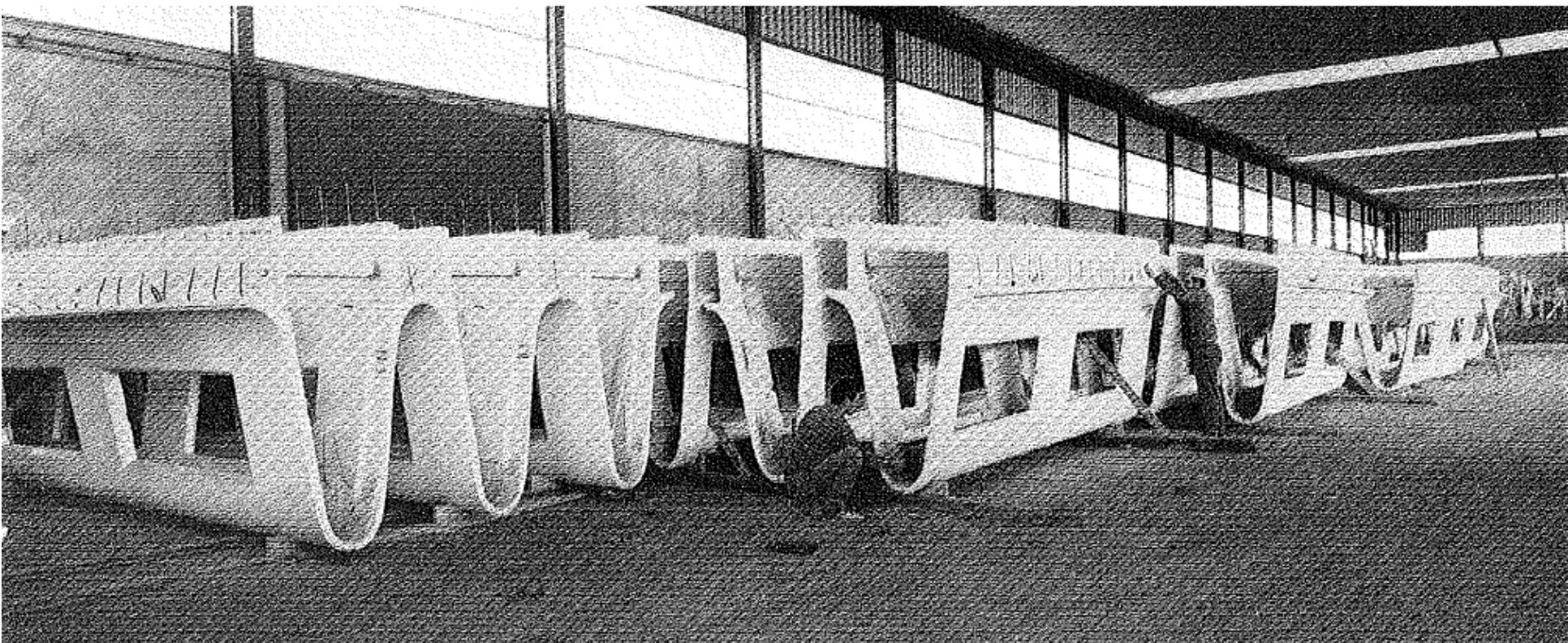
24

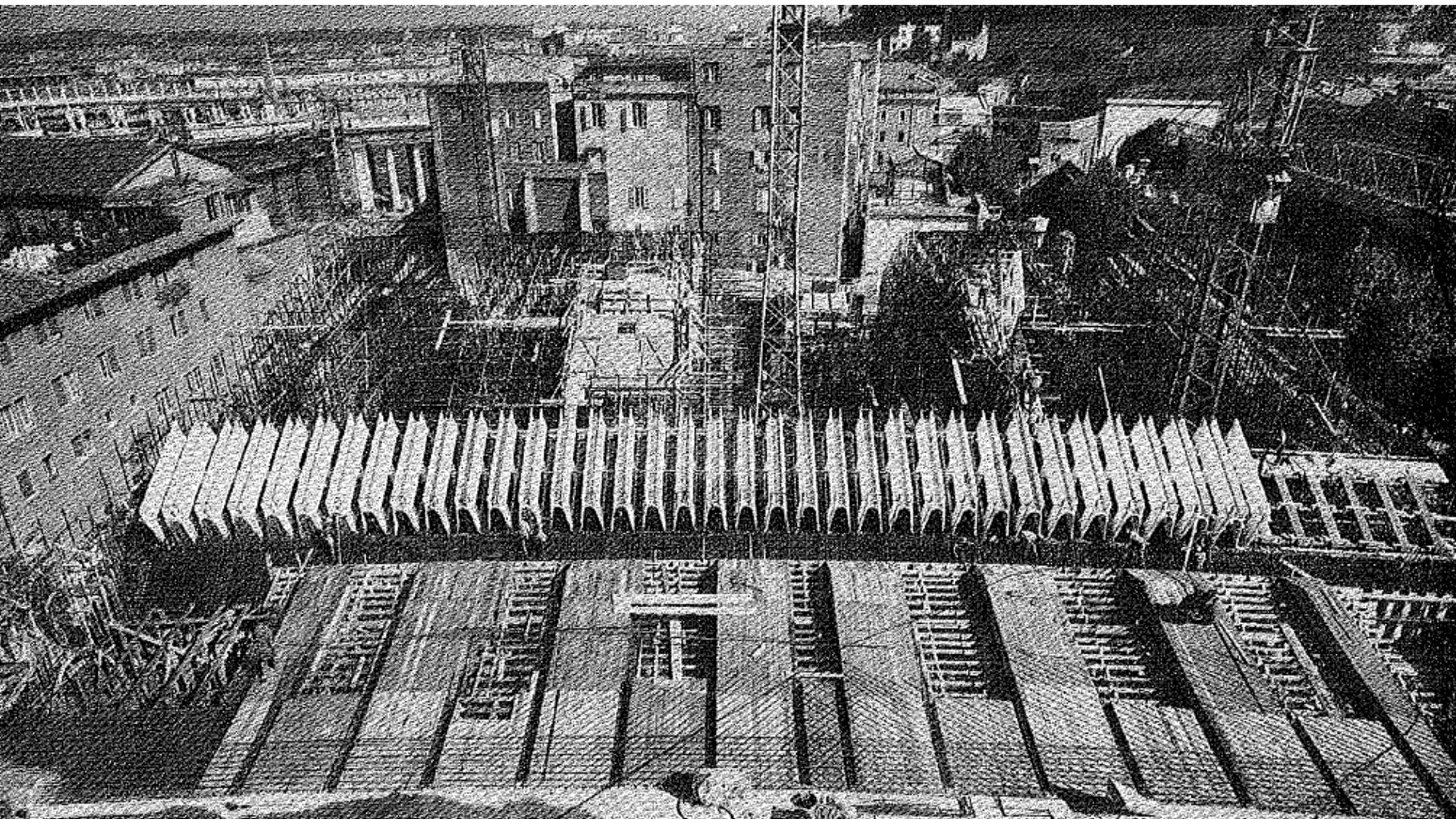


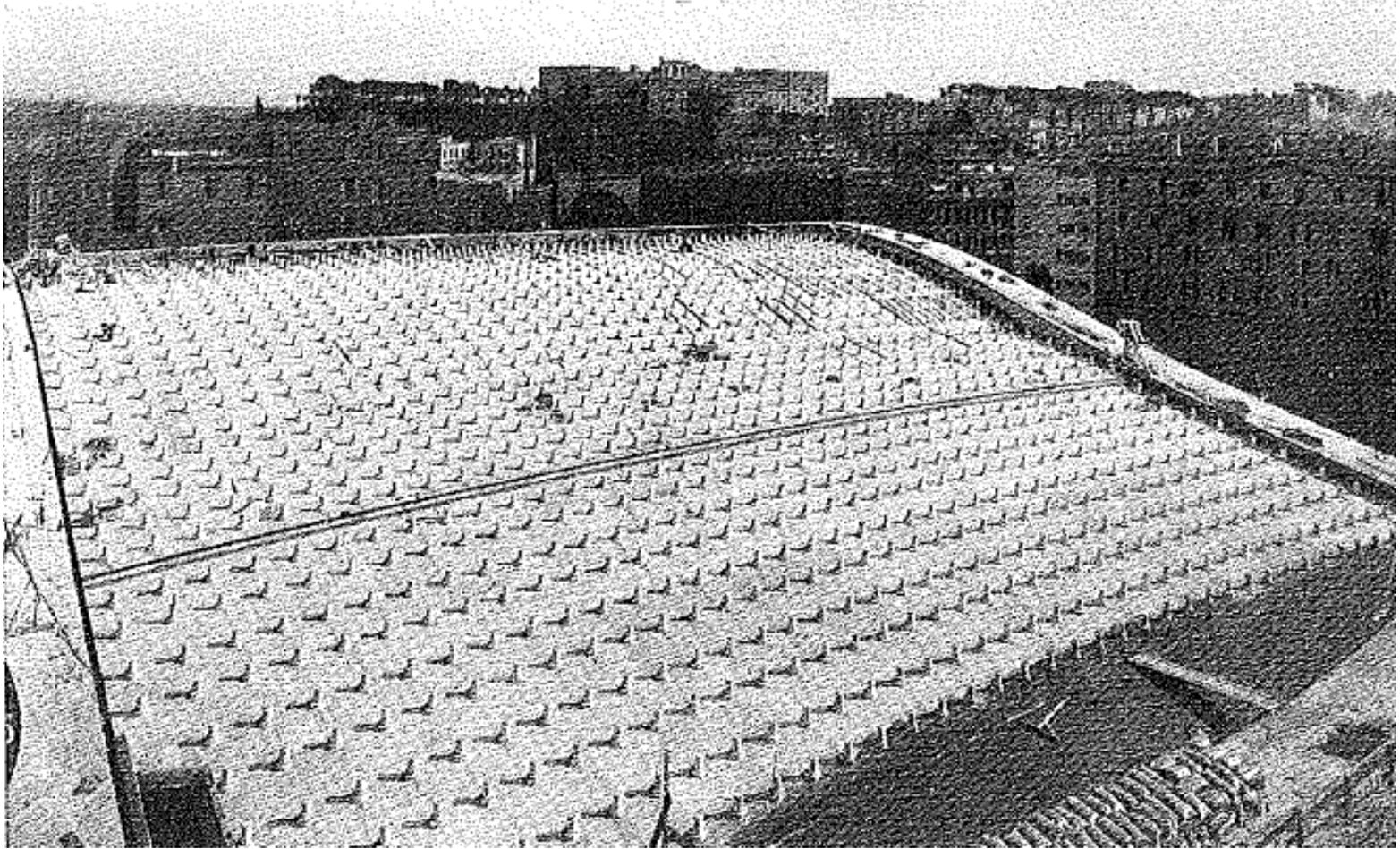
LE VOLTE PREFABBRICATE PER LA COPERTURA DELL'AULA DELLE UDIENZE

19 - Sezione longitudinale di una volta; 20 - Sezione trasversale di due volte affiancate, in corrispondenza del primo concio; 21-22 - Sezioni trasversali del primo concio di una volta, in corrispondenza dell'apertura per l'illuminazione e della parte piena: armatura; 23-24 - Sezioni longitudinale ed orizzontale del primo concio di una delle volte di copertura: armatura.

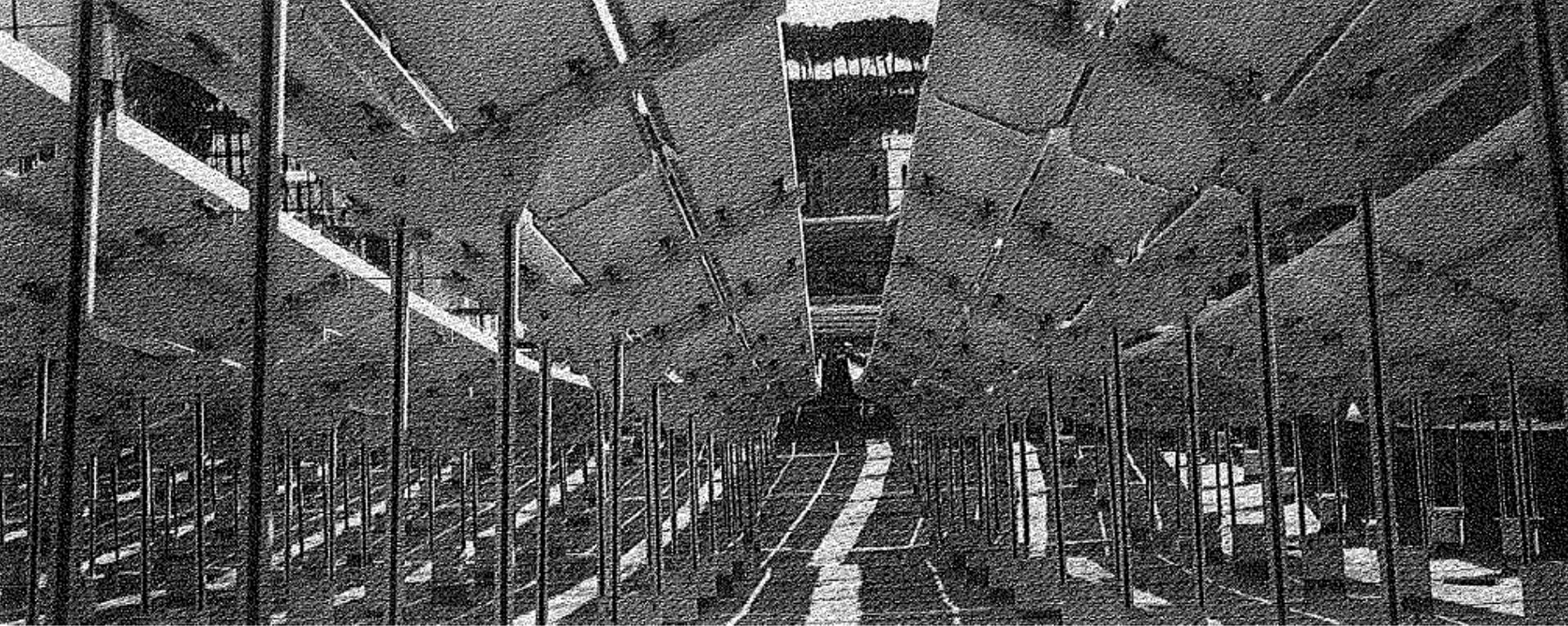






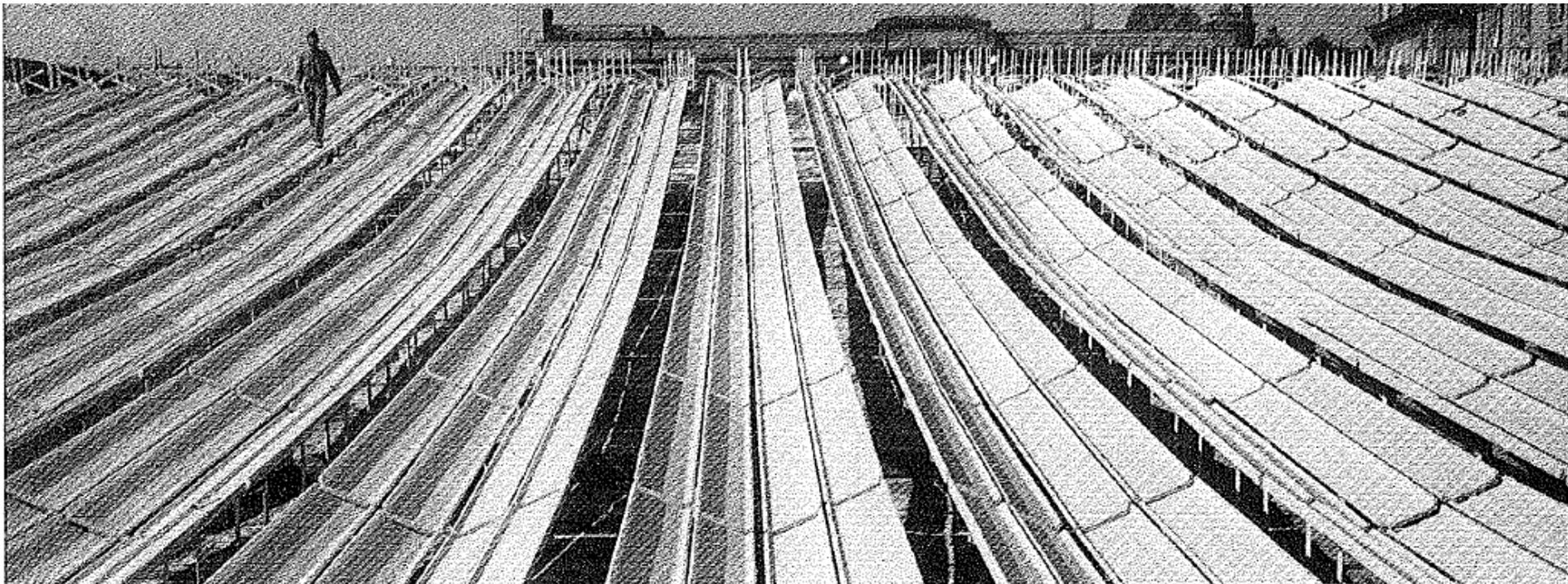






L'edificio progettato dall'Architetto Pier Luigi Nervi fu uno dei primi edifici a tenuta termica mai progettati.

Infatti Nervi decise di disporre sulla superficie del tetto 4800 pannelli prefabbricati in cemento armato sostenuti da appositi cavalletti di ferro che li mantenevano sollevati dal solaio a circa due metri di altezza con funzione di ombreggiamento contro l'eccessivo irraggiamento solare.



Questi elementi, denominati ombrellini parasole, erano accoppiati a “V” e disposti lungo fasce longitudinali, rivolti per metà a sud e per metà a nord. La funzione schermante dei circa 5000 mq di tegolini frangisole disposti su supporti metallici a sezione triangolare collegati su due basi cilindriche permette una stima approssimativa di calcolare in circa 8 tonnellate annue di petrolio equivalente l'energia primaria risparmiata in termini di raffrescamento estivo dell'aula sottostante.

In tal modo l'Aula delle Udienze papali, intitolata a Paolo VI, **conserva naturalmente una temperatura ottimale con un grande risparmio energetico**, garantendo ai fedeli convenuti un ambiente gradevole e a forte inerzia termica rispetto alle temperature spesso torride del clima romano, nei mesi estivi.

Purtroppo, **circa 40 anni dopo la costruzione**, i pannelli di calcestruzzo hanno cominciato a degradarsi e a comportare la necessità di prevedere un accurato e oneroso intervento di restauro comportante in molti casi la totale sostituzione.

Infatti, negli ultimi anni, la copertura dell'aula, che da lontano presentava il caratteristico aspetto a “corazza di armadillo”, cominciava a manifestare segni preoccupanti di degrado dovuto agli effetti delle variazioni termiche e meteorologiche ma anche dell'inquinamento urbano.



Sistematici sopralluoghi evidenziavano sempre più frequentemente:

- il distacco diffuso dei copri ferri** nei bordi superiori delle ali delle tegole frangisole e talora anche per superfici maggiormente estese;
- la caduta di materiale disgregato sul sottostante manto coibente-impermeabile della volta** con conseguenti danneggiamenti;
- il manifestarsi di una sempre maggiore quantità di parti di conglomerato incoerente e distaccato dal corpo delle tegole, sia per le superfici superiori che per quelle inferiori;**
- il deterioramento e conseguente ossidazione delle parti metalliche degli elementi metallici di fissaggio delle tegole e dei supporti sottostanti;**



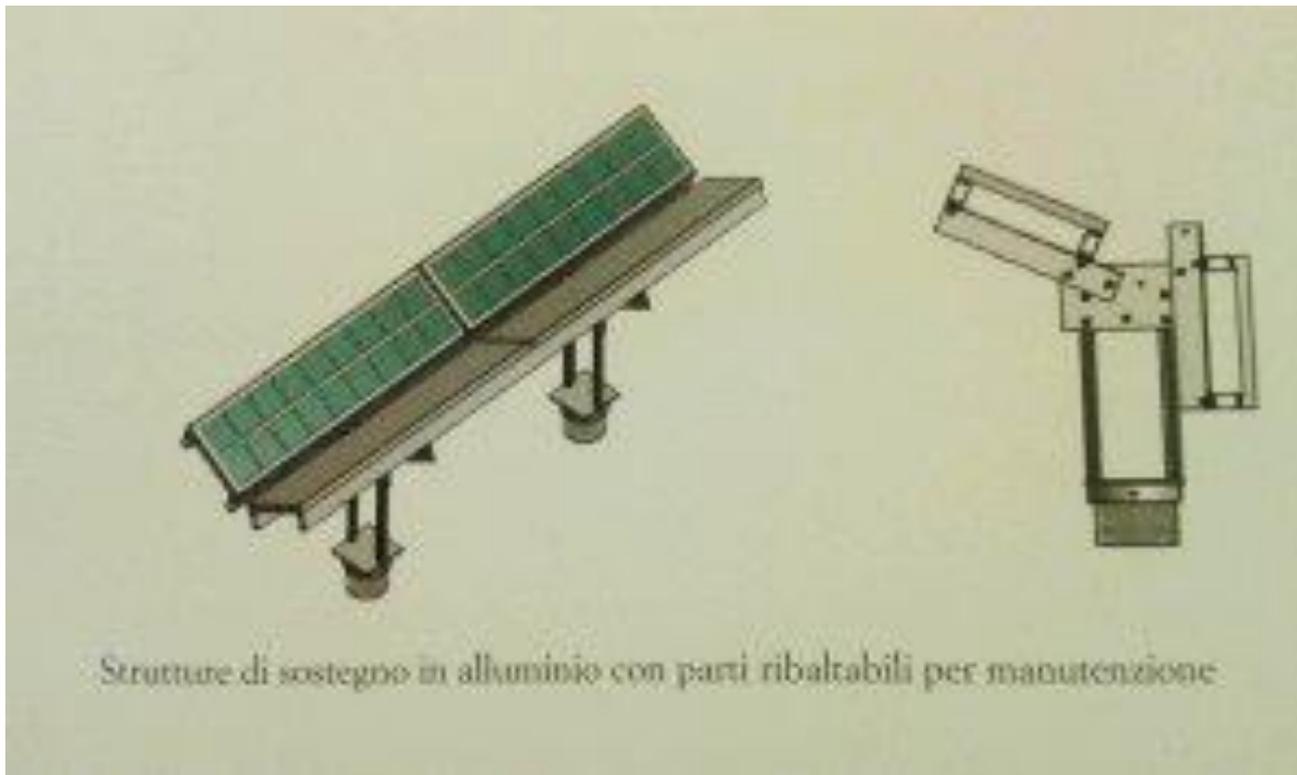
La progettazione del restauro ha tenuto presenti tutti gli aspetti di carattere estetico e architettonico che contribuiscono a definire l'immagine dell'edificio integrato nello skyline paesaggistico con il suo caratteristico aspetto a corazza di armadillo, e in particolare:

- la morfologia e l'andamento curvilineo del tetto;
- le caratteristiche funzionali e termiche, mantenute nonché incrementate;
- la dinamicità del disegno d'insieme dei frangisole che da elementi passivi e statici vengono trasformati in elementi attivi e produttivi di energia (moduli fotovoltaici e superfici riflettenti);
- la distribuzione uniforme dei pesi secondo gli aspetti strutturali del progetto;
- mantenimento delle caratteristiche cromatiche;
- mantenimento senza alcuna alterazione della disposizione e dell'inclinazione originaria, anche per i pannelli fotovoltaici e le superfici riflettenti, di nuova installazione.

La scelta alla base dell'intervento di restauro fu quella di caratterizzare energeticamente la copertura, sempre preservando il caratteristico aspetto a 'corazza di armadillo' voluto da Nervi, **trasformando gli elementi passivi di ombreggiamento**, che di per se già consentivano un risparmio energetico visto che garantivano una certa inerzia termica alla sottostante aula Paolo IV, **in elementi attivi che, oltre al mantenimento dell'ombreggiamento divenivano ricettori dell'energia solare trasformata in energia elettrica**

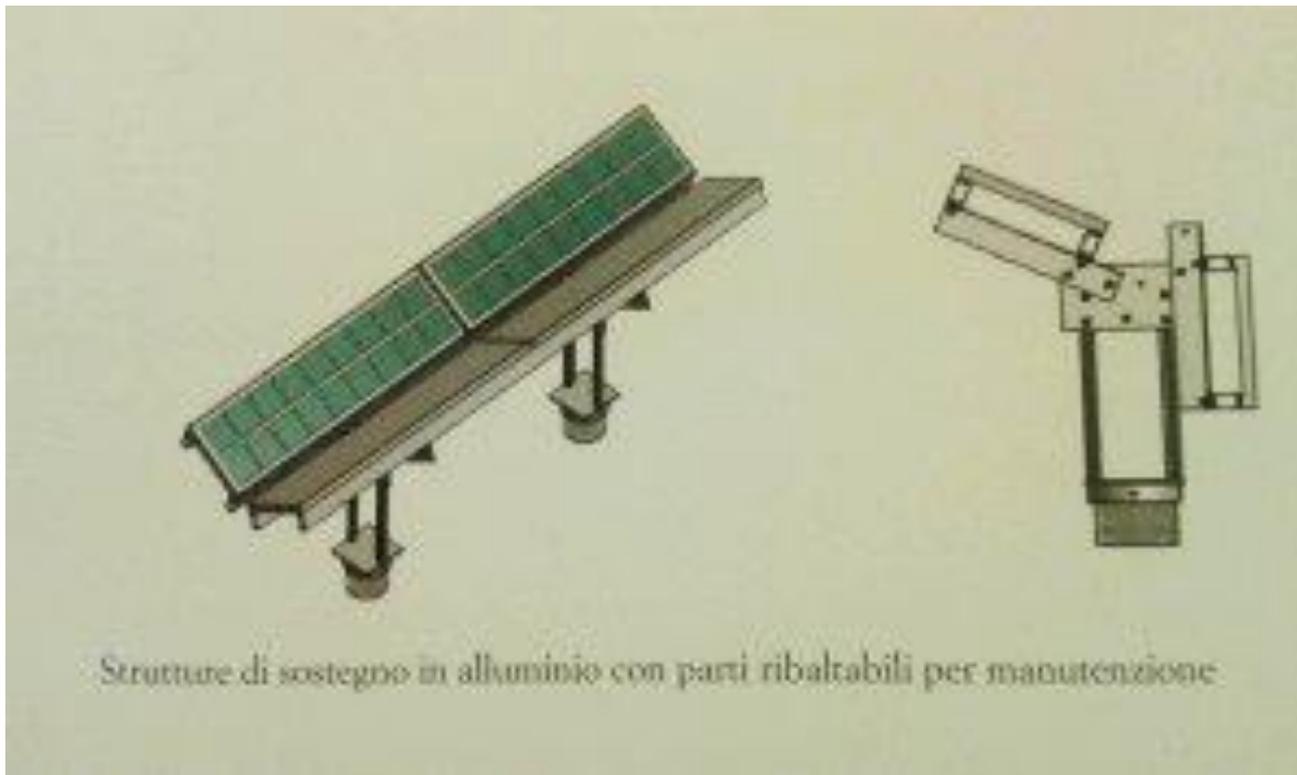


Il Vaticano annunciò così già nel 2007 la propria volontà di intraprendere una politica eco-compatibile con un impianto di energia da fonti rinnovabili per la cui progettazione e fattibilità venne interpellato il professor Livio de Santoli, Energy manager de La Sapienza, e direttore del centro di ricerca CITERA ([Centro Interdipartimentale di ricerca territorio, edilizia, restauro e ambiente](#)) dedito appunto al restauro energeticamente efficiente degli immobili tradizionali



Strutture di sostegno in alluminio con parti ribaltabili per manutenzione

Il lavoro del gruppo di progettazione coordinato dal Prof. de Santoli **ha affrontato le problematiche tecniche e quelle di integrazione con il paesaggio esistente e di manutenzione**, con lo spirito di mantenersi il più possibile **fedeli all'essenza formale dell'opera d'arte originaria** ma con il postulato che i materiali possono cambiare, con la rimozione di quello originale ormai degradato, sostituito con un intervento di *upgrade* tecnologico che non cambia la forma originaria dell'immagine voluta da Nervi.



L'idea di Nervi che non era solo estetica ma anche funzionale ed energetica, è stata rispettata e rilanciata. Infatti il pannello fotovoltaico e il suo “dirimpettaio” di alluminio riflettente che sostituiscono i tegolini di calcestruzzo non solo ne ereditano la funzione di schermatura della radiazione solare, ma assolvono anche alla funzione di trasformazione di una parte di quella radiazione in energia utile, diventando non più solo elementi passivi sul piano termico ma anche attivi su quello energetico-elettrico.



La prima fase del progetto consisteva nella asportazione di tutti i 4800 elementi ombreggianti in calcestruzzo di cemento armato, sostituendo la metà la cui superficie era rivolta verso sud con moduli fotovoltaici, e l'altra metà che invece era orientata verso nord, con pannelli di alluminio semi riflettenti, in modo da aumentare l'efficienza produttiva dei pannelli fotovoltaici aumentando l'intensità dell'effetto di irraggiamento solare sui moduli fotovoltaici.

Tutto ciò venne pianificato con forte risparmio di materiali utilizzando i supporti metallici esistenti a cui vennero solo praticate delle modifiche per renderli semoventi in modo da permettere la rotazione dei pannelli diffusori per le necessarie operazioni di pulizia e manutenzione.



In una seconda fase del progetto venne realizzata l'installazione degli inverter sulla copertura, per trasformare la corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata e quindi, tramite adeguata cablatura, permetterne il trasferimento alla cabina elettrica di trasformazione ubicata nella parte basamentale dell'aula, al fine di alimentare, oltre all'aula stessa, le zone del Vaticano ad essa limitrofe.

L'impianto ha una potenza di picco di 221 KWh e produce annualmente 300.000 KWh evitando l'emissione in atmosfera di circa 225.000 KG di CO2 con un risparmio pari a 80 tonnellate di petrolio.

