



**Progetto LIFE Pianalto**  
**Macroarea Ecobuilding – Progetto edifici pubblici**



**Comune di Villastellone**  
**Scuola media "Cesare Pavese"**

**Relazione tecnica consulenza energetica**

## Contesto operativo, obiettivi generali e specifici

La consulenza progettuale qui illustrata riguarda un edificio scolastico (scuola media) sito nel Comune di Villastellone, denominato "Cesare Pavese", realizzato negli anni 1978-79 secondo principi progettuali antisismici.

Per quanto riguarda la tecnica costruttiva, la struttura portante risulta costituita da pilastri e setti verticali in conglomerato cementizio armato, e completata da travi alte in c.c.a. e solai orizzontali in laterocemento.

L'involucro edilizio è costituito da pareti perimetrali in c.c.a. e serramenti un acciaio senza taglio termico dotati di vetrocamera. Non risulta che sia presente uno strato apprezzabile di isolamento termico nelle pareti perimetrali verticali.

Le caratteristiche dimensionali principali dell'edificio risultano essere le seguenti:

- Volume lordo: 10.936 m<sup>3</sup>
- Superficie utile: 2.700 m<sup>2</sup> (esclusa la palestra).

Alla luce delle ridotte prestazioni energetiche riscontrate nel periodo di esercizio, testimoniate dagli alti consumi, e considerando le situazioni di discomfort termico e luminoso verificate anche tramite sopralluogo diretto, l'obiettivo principale della consulenza progettuale è quello di migliorare considerevolmente l'efficienza energetica dell'edificio, nell'ottica di una ristrutturazione integrale già prevista per l'adeguamento in sicurezza delle strutture edili ed impiantistiche della scuola.

Gli obiettivi specifici comprendono:

- adeguamento del progetto di intervento alle nuove normative inerenti il risparmio energetico;
- riduzione dei consumi energetici e dei relativi costi di esercizio della struttura;
- miglioramento delle condizioni di confort invernale ed estivo degli utenti della scuola;
- ottimizzazione del rapporto costi/benefici nell'ottica della sostenibilità finanziaria del progetto di intervento.

## Metodologia di intervento

La metodologia di intervento seguita ha previsto le seguenti fasi operative:

1. esame del progetto preliminare fornito dall'ufficio tecnico comunale;
2. sopralluogo presso la struttura con rilievo fotografico ed esame delle caratteristiche tecniche di interesse;
3. verifica, tramite apposito software di calcolo, delle prestazioni energetiche attuali garantite dal sistema edificio – impianto;
4. ottimizzazione delle prestazioni energetiche invernali dell'involucro edilizio con relativo adeguamento alle recenti normative inerenti il risparmio energetico degli edifici;
5. indicazioni progettuali per l'ottimizzazione dell'impianto termico;
6. ottimizzazione delle prestazioni energetiche estive dell'involucro edilizio;
7. verifica di possibili integrazioni di fonti energetiche rinnovabili.

Le azioni progettuali adottabili per l'ottimizzazione del progetto di ristrutturazione dell'edificio (contenute essenzialmente ai punti 4 – 7) sono state definite secondo uno schema modulare, in modo da permettere, nel caso, una implementazione graduale e commisurata alle disponibilità economiche dell'Amministrazione Comunale.

### 1. Esame progetto preliminare

Per quanto riguarda gli aspetti energetici, in sede di progetto preliminare è stata indicata la necessità di procedere, in fase esecutiva, alla verifica della legge 10/91.

Alla luce dei recenti aggiornamenti normativi in tema di efficienza energetica (Direttiva Europea 2002/91/CE e Decreto nazionale di recepimento, Dlgs. 19 Agosto 2005 n. 192), diventa indispensabile, in sede progettuale l'adeguamento dell'intervento ai requisiti minimi imposti dalla vigente norma nazionale (Dlgs. 192/05).

Gli interventi edilizi previsti in sede di progetto preliminare comprendono:

- isolamento termico pareti perimetrali mediante cappotto esterno per adeguamento ai requisiti previsti dalla Legge 10/91;
- demolizione e rifacimento di caldane e pavimenti interni;
- rifacimento servizi igienici;
- parziale sostituzione dell'impermeabilizzazione della copertura;
- sostituzione di tutti i serramenti con nuovi serramenti con telai in alluminio a taglio termico.

Gli interventi impiantistici (termico) già previsti in sede di progetto preliminare comprendono:

- sostituzione di una caldaia (le altre due sono recenti);
- rifacimento rete di distribuzione (da definire a che livello);
- sostituzione terminali (radiatori) con altri in ghisa;
- parziale adozione di valvole termostatiche in alcuni locali esposti a Sud;
- sostituzione aerotermini nella palestra.

Interventi impiantistici (elettrico) già previsti in sede di progetto preliminare:

- rifacimento di tutti gli impianti elettrici (a parte la zona biblioteca e sale polifunzionali appena rifatti);
- installazione di apparecchi illuminanti a tubi fluorescenti con reattore elettronico (nelle aule, dimmerabili con sensore di luce);

Per quanto concerne i costi di intervento, il preventivo contenuto nel progetto preliminare indica:

1	Demolizioni caldane e pavimenti	€	18 280,81
2	Demolizione tratti di murature, opere murarie e relativi intonaci	€	5 482,71
3	Rifacimento sottofondi, pavimenti e rivestimenti	€	143 217,44
4	Sostituzione accessori servizi igienici	€	12 794,72
5	Serramenti esterni, vetri, davanzali esterni, porte interne danneggiate	€	213 905,06
6	Ristrutturazione cornicioni esterni e isolamento a cappotto, rifacimento tratti d'intonaco	€	120 056,35
7	Opere per consolidamento statico parti degradate	€	28 307,39
8	Opere antincendio e cartellonistica di sicurezza	€	27 989,29
9	Riduzione sonorità mensa	€	8 203,97
10	Faldaleria, eliminazione infiltrazioni dal tetto	€	12 181,05
11	Ringhiere e nuova scala esterna di sicurezza	€	14 675,72
12	Protezioni alla base dei canestri, eliminazione tubazioni in amianto	€	469,68
13	Noli e ponteggi	€	30 610,81
14	Economie	€	3 725,00
15	Impianto elettrico	€	170 000,00
16	Impianto idrico sanitario	€	60 000,00
17	Impianto termico	€	130 000,00
	<b>TOTALE OPERE</b>	€	<b>999 900,00</b>

In virtù dell'obbligo di adeguare il progetto al recente Dlgs. 192/05, diviene necessario procedere ad una verifica dei costi e del rispetto del budget preventivato.

## 2. Sopraluogo presso la struttura scolastica

Il sopralluogo presso l'edificio ha avuto lo scopo di integrare i dati non rilevabili direttamente dal progetto preliminare e di esaminare il sito lo stato prestazionale e di conservazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici ed elettrici.

Complessivamente, lo stato di conservazione dell'involucro edilizio risulta di avanzato degrado, in special modo per quanto riguarda le strutture cementizie (fig. 1 e 2).



Fig. 1, 2: stato di conservazione di un davanzale esterno e di un pilastro d'angolo.

Lo stato di conservazione dei serramenti esterni risulta discreto, a parte la presenza, in alcuni punti, di fenomeni di condensa all'interno del vetrocamera (fig. 3 e 4)



Fig. 3, 4: Stato di conservazione dei serramenti esterni e condensa interna al vetrocamera.

La copertura dell'edificio si presenta un uno stato di conservazione complessivamente discreto, considerando l'età e la comparsa di alcuni sintomi patologici di invecchiamento dello strato di impermeabilizzazione (fig. 5 e 6).



Fig. 5, 6: stato di conservazione della membrana impermeabile e manifestazione patologica.

Per quanto concerne le prestazioni di efficienza energetica complessive dell'edificio, lo stato attuale si dimostra particolarmente carente sotto tutti i punti di vista.

In particolare, le prestazioni di isolamento termico risultano ampiamente insufficienti, vista la probabile assenza di alcun tipo di isolamento nelle pareti perimetrali verticali e una possibile presenza di un modesto strato isolante nella copertura piana, strato isolante che molto probabilmente a seguito dell'invecchiamento non disporrà che di significanti proprietà isolanti.

I serramenti esterni, dotati di un semplice vetrocamera tradizionale, non dispongono di telai a taglio termico. Le prestazioni energetiche in regime invernale sono pertanto caratterizzate da elevate dispersioni termiche che inducono rilevanti consumi energetici.

Le prestazioni energetiche in regime estivo sono nello stesso modo influenzate negativamente dallo scarso isolamento termico delle pareti perimetrali verticali e soprattutto della copertura. I serramenti esterni non sono dotati di alcun tipo di dispositivo esterno di controllo della radiazione solare.

La mancanza di un adeguato isolamento termico della copertura e la di idonee schermature solari per le superfici verticali trasparenti, induce, nei mesi primaverili più caldi e nel periodo estivo, situazioni di surriscaldamento degli ambienti interni (fig. 7) (in particolare modo quelli posizionati al primo piano) con conseguente disagio termico dovuto ad alte temperature e disagio luminoso derivante da abbagliamento. A tale situazione si è posto rimedio in modo parziale e non efficace (riducendo la luminosità dell'ambiente ma non schermando efficacemente le radiazioni solari) mediante l'installazione di tende interne (fig. 8).



Fig. 7, 8: locali caratterizzati da elevato disagio termico estivo e tende oscuranti interne.

L'esame dell'impianto termico ha messo in evidenza lo stato di invecchiamento avanzato di alcuni dei generatori di calore presenti, della rete di distribuzione del calore e dei terminali di erogazione del calore (fig. 9, 10).



Fig. 9, 10: Generatore di calore e rete di distribuzione del calore.

### 3. Verifica delle prestazioni energetiche attuali del sistema edificio – impianto

Tramite idoneo software di calcolo (fig. 11), si è proceduto alla verifica numerica delle prestazioni energetiche attualmente garantite dal sistema edificio – impianto.

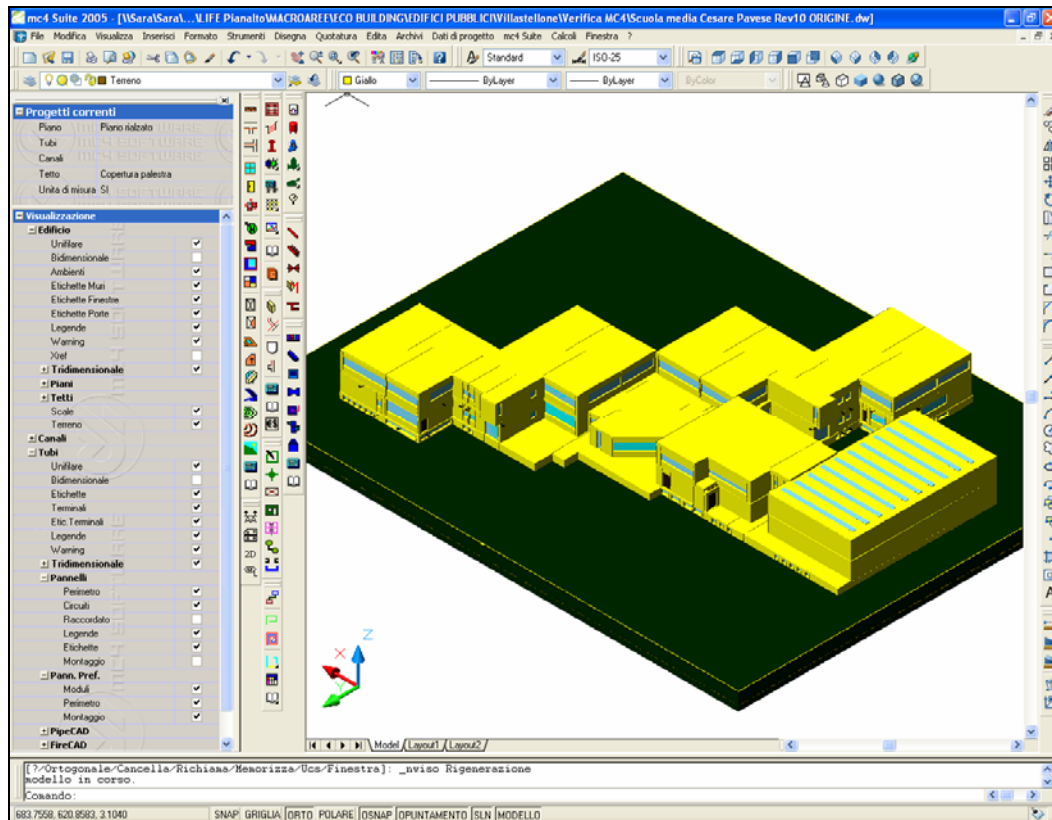


Fig. 11: simulazione software del sistema edificio - impianto

Le principali caratteristiche termiche stimate, riguardanti gli elementi dell'involucro edilizio, comprendono i seguenti valori:

Elemento tecnico	Trasmittanza U di calcolo [W/m <sup>2</sup> K°]	Note
Pareti perimetrali verticali opache	2,050	Nessun isolamento termico
Infissi esterni	3,500	Vetrocamera tradizionale su telaio non a taglio termico
Copertura piana	0,635	4 cm di lana di roccia
Solai orizzontali verso spazi non riscaldati	1,640	Nessun isolamento termico
Solai controterra interrato	1,590	Nessun isolamento termico

Le caratteristiche geometriche caratteristiche e i principali risultati ottenuti sono i seguenti:

Escludendo la palestra:

- Volume lordo: 10.936 m<sup>3</sup>
- Superficie utile: 2.700 m<sup>2</sup>
- S/V: 0,509
- Fabbisogno Annuo di Energia Primaria FAEP prima degli interventi: 156,40 kWh/m<sup>2</sup> a

Compresa la palestra:

- Volume lordo: 14.583 m<sup>3</sup>
- Superficie utile: 3.109 m<sup>2</sup>
- S/V: 0,472
- Fabbisogno Annuo di Energia Primaria FAEP prima degli interventi: 174,40 kWh/m<sup>2</sup> a

A titolo di confronto, si riporta il valore del Fabbisogno Annuo di Energia Primaria FAEP limite previsto dalla legislazione vigente: circa 83 kWh/m<sup>2</sup> a.

Riepilogo dispersioni termiche per zone termiche omogenee (inclusa ventilazione)	
Zona calcolata	Dispersioni involucro [kW]
Zona didattica	149,3
Appartamento custode	6,5
Palestra	73,3
Auditorium	21,5
<b>TOTALE</b>	<b>250,6</b>

Riepilogo dispersioni termiche per elementi di involucro (esclusa ventilazione)		
Zona calcolata	Dispersioni involucro [kW]	Percentuale [%]
Pareti verticali	106,6	46
Infissi esterni	74,6	32
Copertura piana	44,9	20
Solaio verso ambienti non riscaldati	4,6	2
<b>TOTALE</b>	<b>230,7</b>	<b>100</b>

## 4. Ottimizzazione delle prestazioni energetiche invernali dell'involucro edilizio e adeguamento normativo

Per quanto concerne l'adeguamento del progetto di ristrutturazione ai requisiti definiti dal Dlgs 192/05, la legislazione attualmente in vigore prevede, nel caso in oggetto (ristrutturazione integrale degli elementi edilizi di edifici con superficie utile maggiore di 1.000 m<sup>2</sup>) due soluzioni alternative:

- il rispetto dei valori minimi delle trasmittanze degli elementi dell'involucro edilizio e del Rendimento Globale Medio Stagionale (RGMS) definiti dal decreto (nel caso in oggetto i valori minimi delle trasmittanze sarebbero: solai orizzontali e copertura: 0,43 w/m<sup>2</sup>K; pareti verticali: 0,46 w/m<sup>2</sup>K; infissi esterni – totale - : 2,8 w/m<sup>2</sup>K; tamponamenti vetrati: 2,4 w/m<sup>2</sup>K; il RGMS minimo di legge si aggirerebbe intorno al 82%);
- il rispetto della Fabbisogno Annuo di Energia Primaria FAEP limite definito dalle norme transitorie (che per l'edificio in oggetto sarebbe di circa 83 kWh/m<sup>2</sup> a);

La prima soluzione, se risulta meno restrittiva in termini di grado di isolamento termico degli elementi dell'involucro da implementare nel progetto, induce la necessità di prevedere obbligatoriamente un sistema di nuovi generatori di calore ad alte prestazioni integrate con un sistema di regolazione dell'impianto termico di buone prestazioni. Tale soluzione non risulterebbe quindi applicabile nell'ipotesi di mantenere i generatori di calore oggi esistenti.

La seconda soluzione induce, alla luce delle caratteristiche geometriche dell'edificio (basso rapporto S/V e altezza media di interpiano non standard) la necessità di definire un livello di isolamento termico per gli elementi dell'involucro maggiore rispetto alla prima ipotesi.

Alla luce della prossima emanazione delle nuove legislazioni Regionali (in particolare la Legge Regionale di Recepimento del Dlgs 192/05, prevederà quasi certamente dei valori limite di FAEP più restrittivi rispetto alla legislazione nazionale) e considerando i tempi del processo di progettazione e di ristrutturazione della scuola in oggetto, e considerando anche gli obiettivi del Progetto Life Pianalto, è necessario valutare le necessità di raggiungere standard prestazionali energetici superiori rispetto a quello minimo previsto dalla legislazione vigente.

Le soluzioni tecnologiche adottabili al fine di raggiungere gli obiettivi preposti sono state raggruppate in diversi moduli che potranno essere integrati anche in tempi successivi:

- A. facciata ventilata su pareti perimetrali verticali
- B. sostituzione infissi esterni
- C. isolamento copertura dall'interno (lato intradosso)
- D. isolamento solai verso terra o verso locali non riscaldati
- E. isolamento copertura lato estradosso con rifacimento del manto esterno

Per ottenere l'adeguamento del valore del FAEP ai requisiti minimi di legge sarebbe comunque necessario implementare, sin da subito, le prime quattro soluzioni tecnologiche sopra indicate (A, B, C e D).

Al fine di contenere l'onere economico correlato con tali interventi, visto anche il diverso profilo di utilizzo dei diversi ambienti della scuola, si è ipotizzato di escludere interventi di coibentazione relativi al volume della palestra. Il profilo di utilizzo di tale ambiente, occupato sporadicamente, e le sue notevoli dimensioni, suggeriscono di concentrare le risorse economiche sulla parte di edificio utilizzata costantemente.

### A. facciata ventilata su pareti perimetrali verticali

Considerato lo stato di conservazione delle superfici esterne dell'involucro edilizio e la conformazione geometrica molto articolata delle superfici stesse, si è valutato la possibilità di prevedere l'integrazione di un sistema di finitura esterna a facciata ventilata (fig. 12, 13 e 14).

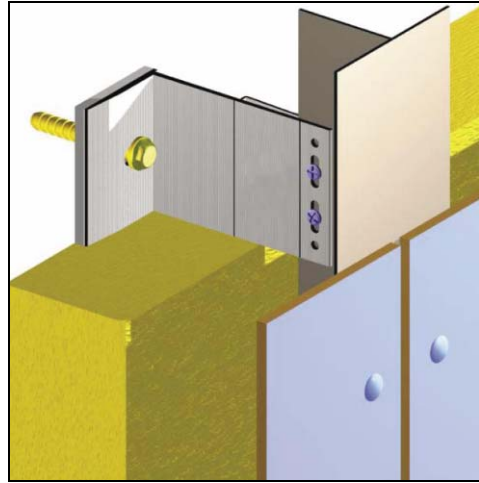
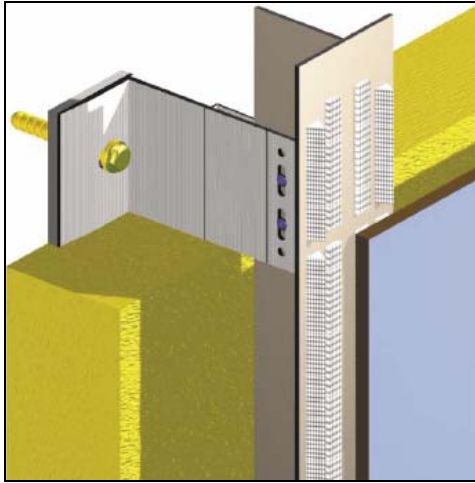


Fig. 12: sistema di montaggio del rivestimento in fibrocemento (mediante incollaggio o tassellatura) nella facciata ventilata



Fig. 13: possibile aspetto esterno della facciata ventilata in fibrocemento



Fig. 14: possibili colorazioni del rivestimento in fibrocemento

Tale soluzione consentirebbe una più rapida e agevole messa in opera rispetto ad una soluzione di isolamento "a cappotto", e consentirebbe di rinnovare l'aspetto estetico dell'edificio e di contribuire alla riduzione dei carichi termici estivi.

Per contenere i costi relativi, si ipotizza di utilizzare per il rivestimento esterno della facciata ventilata lastre in fibrocemento, che coniugano una buona durabilità con bassi costi.

Inoltre, l'adozione di una finitura esterna più resiliente rispetto all'intonaco plastico caratteristico del rivestimento a cappotto, garantirebbe una maggiore resistenza agli urti accidentali e volontari, ai quali un rivestimento esterno è esposto, soprattutto nelle parti inferiori più accessibili.

La soluzione individuata, integrata con uno strato di isolante termico costituito da pannelli di fibra di canapa dello spessore di 8 cm, consentirebbero di ottenere buone prestazioni energetiche, con una trasmittanza complessiva della parete  $U = 0,402 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$ .

Stima del costo dell'intervento – facciata ventilata (esclusa palestra)*			
Elemento	Costo [€/mq]	Superficie stimata [mq]	Costo totale [€]
Facciata ventilata in fibrocemento (con struttura di sostegno e posa in opera dell'isolante)	100,00	1.510	151.000
Pannelli isolanti in fibra di canapa da 8 cm (solo materiale)	12,00		18.120
<b>TOTALE</b>			<b>169.120</b>

\* Costi desunti dai Prezziari della Regione Piemonte e della Provincia di Bolzano

## B. sostituzione infissi esterni

Gli infissi esterni attualmente presenti, in acciaio verniciato senza taglio termico e con vetrocamera semplice, appaio in uno stato di conservazione discreto, salvo alcuni evidenti casi di condensa avvenuti nel tamponamento vetrato.

Per migliorare drasticamente le prestazioni energetiche delle superfici trasparenti e permettere l'adeguamento legislativo del progetto, si è valutata l'adozione di nuovi infissi con telaio in PVC e dotati di vetrocamera con lastre bassoemissive fig. 15).



Fig. 15: serramento in PVC con vetrocamera bassoemissivo

Tale tecnologia permetterebbe, a costi contenuti, di ottenere buone prestazioni termiche, conseguendo una trasmittanza termica complessiva degli infissi  $U = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Stima del costo dell'intervento – sostituzione infissi esterni (esclusa palestra)*			
Elemento	Costo [€/mq]	Superficie stimata [mq]	Costo totale [€]
Serramenti in PVC con vetrocamera 4-12-4 con lastra basoemissiva – U = 1,7 W/m <sup>2</sup> K	225,00	470	105.750
Rimozione vecchi infissi	9,50		4.465
Installazione nuovi infissi	19,50		9.165
<b>TOTALE</b>			<b>119.380</b>

Al fine di migliorare il confort degli ambienti interni durante il periodo estivo, nella definizione delle aperture dei nuovi serramenti sarebbe conveniente, pur conservando il disegno originario, prevedere l'apertura a vasistas delle parti superiori, in modo da permettere, pur con la parte inferiore chiusa, una ventilazione naturale dei locali (fig. 16).



Fig. 16: localizzazione delle possibili aperture nella parte superiore degli infissi

### C. Isolamento copertura dall'interno (lato intradosso)

Nell'ipotesi di non intervenire sull'estradosso della copertura dell'edificio, rifacendo lo strato impermeabile della stessa, si ipotizza di operare all'interno della struttura smontando il controsoffitto attualmente esistente (fig. 17) all'ultimo piano, collocando uno strato di isolante termico idoneo e rimontando un sistema di finitura interna.



Fig. 17: controsoffitto esistente

La fattibilità e la convenienza di tale soluzione deve essere verificata per quanto riguarda lo stato del controsoffitto presente e per lo stato di conservazione degli impianti ospitati nel vano tecnico sovrastante.

Dal punto di vista energetico, tale soluzione consentirebbe di limitare le dispersioni termiche nel periodo invernale e ridurrebbe il carico termico estivo degli ambienti interni.

La trasmittanza termica ottenibile con il predetto intervento si attesterebbe (con la posa di uno strato isolante di canapa dello spessore di 8 cm) al valore  $U = 0,389 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$ .

Stima del costo dell'intervento – isolamento termico copertura dall'intradosso (esclusa palestra)*			
Elemento	Costo [€/mq]	Superficie stimata [mq]	Costo totale [€]
Smontaggio controsoffitto esistente	14,50	1.395	20.225
Fornitura e posa del pannello isolante di canapa da 8 cm	17,00		23.715
Montaggio del controsoffitto	14,50		20.225
<b>TOTALE</b>			<b>64.165</b>

#### D. Isolamento solai verso terra o verso locali non riscaldati

Al fine di contenere i consumi energetici e rispettare i requisiti legislativi (in particolare, il raggiungimento di un valore adeguato del FAEP), è necessario isolare termicamente i solai verso ambienti non riscaldati (come i depositi presenti al piano seminterrato) e verso il terreno (per gli ambienti riscaldati posti nel locale seminterrato).

Considerando di rifare le pavimentazioni della zona didattica e dei locali seminterrati non ancora ristrutturati, lo strato di isolamento termico può essere posato sotto lo strato tecnico della nuova pavimentazione.

Tenendo conto della resistenza meccanica necessaria per tale tipo di impiego, il materiale isolante scelto è il polistirene estruso in lastre, nello spessore di 6 cm.

La trasmittanza complessiva della nuova stratigrafia del solaio non deve superare il valore  $U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$ .

In alternativa, è possibile pensare di intervenire, per il solaio verso il piano seminterrato, dal lato di intradosso. Tale soluzione, se non comporta il rifacimento della pavimentazione superiore, necessita della verifica di resistenza all'incendio del materiale impiegato e/o della realizzazione di una adeguata protezione all'incendio.

## E. Isolamento copertura lato estradosso con rifacimento del manto esterno

Considerando la probabile necessità di intervenire sull'impermeabilizzazione della copertura piana, e considerando l'opportunità di intervenire in maniera più incisiva sulle prestazioni energetiche della copertura, sia nel periodo invernale che estivo, una valida opportunità tecnologica è costituita dalla realizzazione di una sovra copertura in lamiera metallica da disporre su quella esistente (fig. 18).

Tale soluzione consentirebbe di ottenere innumerevoli vantaggi:

- realizzazione di uno strato di tenuta all'acqua più durevole rispetto ad una guaina impermeabile (fig. 19);
- posizionamento di un cospicuo strato di materiale isolante termico sull'estradosso della struttura della copertura esistente (miglioramento del comportamento fisico-tecnico della copertura);
- riduzione del carico termico estivo dovuto alla ventilazione dello spazio tecnico sottostante la nuova copertura.

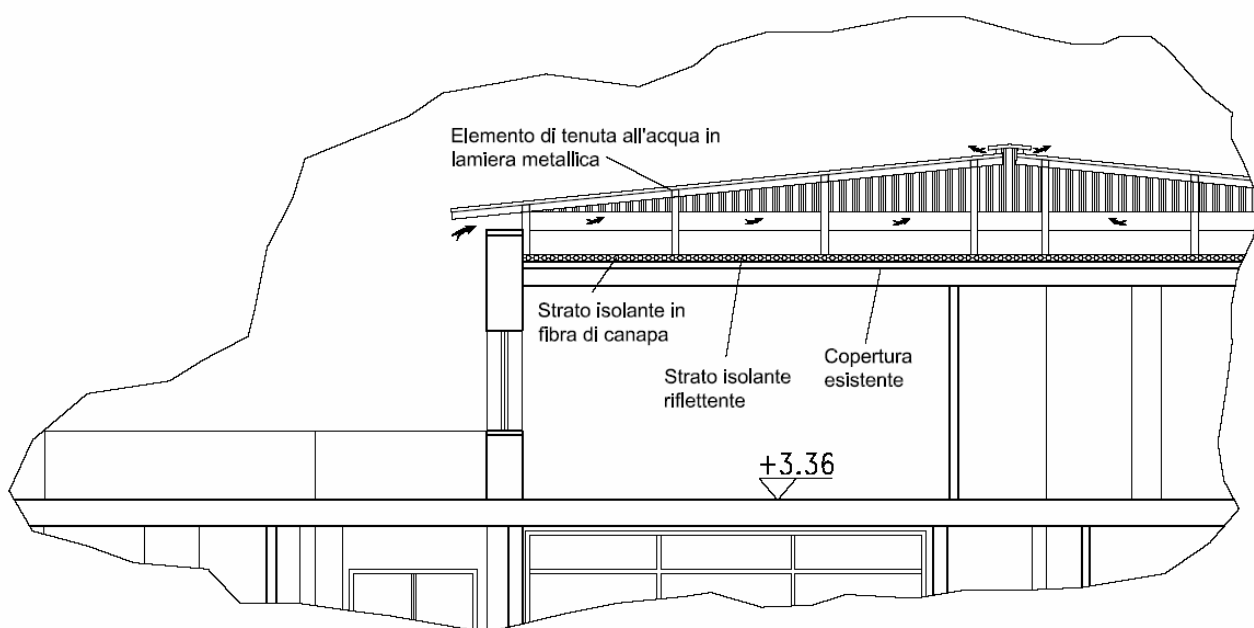


Fig. 18: Schema esemplificativo delle coperture metallica



Fig. 19: coperture metallica impostata su falde inclinate

La determinazione dell'onere economico relativo all'integrazione di tale soluzione è fortemente dipendente dalla scelta progettuale relativa al nuovo sistema strutturale di supporto.

Stima parziale del costo dell'intervento – realizzazione copertura metallica ventilata (esclusa palestra)*			
Elemento	Costo [€/mq]	Superficie stimata [mq]	Costo totale [€]
Fornitura e posa del pannello isolante di canapa da 8 cm	17,00	1.400	23.700
Fornitura e posa foglio isolante riflettente	10,00		14.000
Fornitura e posa di strato di tenuta in lamiera di alluminio	40,00		56.600
<b>TOTALE PARZIALE*</b>			<b>94.300*</b>

\* la stima dei costi non comprende la realizzazione della struttura di supporto del nuovo manto di copertura, variabile di caso in caso.

### Prestazioni energetiche ottenibili

L'implementazione delle soluzioni tecniche illustrate in precedenza, in particolare le soluzioni A, B, C e D, consente di rispettare i limiti imposti dalla vigente legislazione in materia di risparmio energetico (Dlgs. 192/95) con un margine per eventuali inasprimenti legislativi indotti dalle prossime emanazioni legislative.

La verifica numerica del rendimento energetico dell'edificio così ristrutturato consentirebbe di ottenere le seguenti prestazioni:

Raffronto delle prestazioni energetiche ante e post intervento			
Parametro	Ante	Post	Variazione [%]
Dispersioni termiche complessive (esclusa palestra) [kW]	177,3	<b>84,7</b>	<b>- 52,2</b>
Fabbisogno Annuo di Energia Primaria FAEP (esclusa palestra) [kWh/m <sup>2</sup> a]	156,4	<b>77,58</b>	<b>- 50,4</b>
Confronto FAEP ottenuto con il limite definito dal Dlgs. 192/05 (limite di 83 kWh/m <sup>2</sup> a)	156,4		+ 188
Confronto FAEP ottenuto con il limite definito dal Dlgs. 192/05 (limite di 83 kWh/m <sup>2</sup> a)		77,58	<b>- 6,5</b>

Ulteriori margini di miglioramento si possono ottenere, oltre che incrementando il livello di isolamento termico delle superfici disperdente sin qui considerate, prevedendo l'adozione di uno strato di isolamento termico per quelle superfici disperdenti di minore estensione ma che contribuiscono alla dissipazione del calore. Tra queste si segnalano:

- le murature verticali degli ambienti riscaldati del piano interrato che disperdono verso la palestra non riscaldata;
- il pavimento controterra dei locali interrati recentemente ristrutturati (se già non si è previsto un adeguato isolamento termico);
- la muratura verticale degli ambienti riscaldati del piano interrato che disperde verso i locali magazzino non riscaldati posti allo stesso livello;
- i soffitti dei locali posti al piano interrato che disperdono verso l'esterno.

## 5. Indicazioni progettuali per l'ottimizzazione dell'impianto termico

Alla luce del sopralluogo effettuato e delle verifiche numeriche, è possibile esprimere alcune indicazioni circa eventuali interventi relativi all'impianto termico della scuola.

Allo stato attuale, i generatori di calore presenti sono i seguenti (fig. 20):

- Caldaia BONGAS 2/15 da 269 kW, vetusta, dedicata alla zona aule;
- Caldaia ICI RED 200 da 200 kW;
- Caldaia BONGAS 2/6 da 145 kW, recentemente installata

Lo stato prestazionale dei generatori di calore di maggior potenza (i più datati) risulta ormai insufficiente a garantire un buon rendimento di produzione del calore.



Fig. 20: generatori di calore attualmente presenti

Il fabbisogno energetico correlato all'edificio dopo l'adeguamento normativo e l'ottimizzazione energetica, risulta decisamente minore rispetto alla situazione attuale.

Alla luce di questi risultati, è pensabile valutare l'adozione dei seguenti interventi di ottimizzazione:

- installazione di un nuovo generatore di calore ad alte prestazioni (\*\*\*) o \*\*\*\* stelle di efficienza energetica, al posto dei due più vecchi generatori esistenti) affiancato, nei periodi di maggior richiesta, dal generatore recentemente installato;
- ottimizzazione del sistema di distribuzione del calore, a partire dalla centrale termica, comprendendo la zonizzazione della rete, in modo da servire soltanto le zone termiche effettivamente utilizzate.
- isolamento termico di tutta le rete di distribuzione
- regolazione del calore con una centralina con sonda climatica esterna e una regolazione locale realizzata mediante installazione di valvole termostatiche sui terminali (radiatori).

## 6. Ottimizzazione delle prestazioni energetiche estive dell'involucro edilizio

Alla luce delle situazioni di disagio termico estivo riscontrate durante il sopralluogo, si è proceduto alla verifica delle esposizioni ai raggi solari dei diversi locali della scuola, in modo da analizzare possibili integrazioni progettuali che possano ridurre il carico termico estivo.

Ai fini del carico termico estivo gravante sugli ambienti abitati, i maggiori contributi derivano dai seguenti elementi:

- copertura dell'edificio;
- superfici trasparenti esposte a Est, Sud e Ovest,
- pareti perimetrali verticali

Mediante la modellazione tridimensionale si sono ricreate le condizioni di soleggiamento delle superfici dell'involucro edilizio (assonometrie solari) nel periodo estivo. Tale rappresentazione permette anche di verificare l'efficacia di eventuali schermatura vegetali rappresentate dagli alberi piantumati in prossimità dell'edificio (figure 21 - 28).

PLANIMETRIA GENERALE – SCALA 1:500

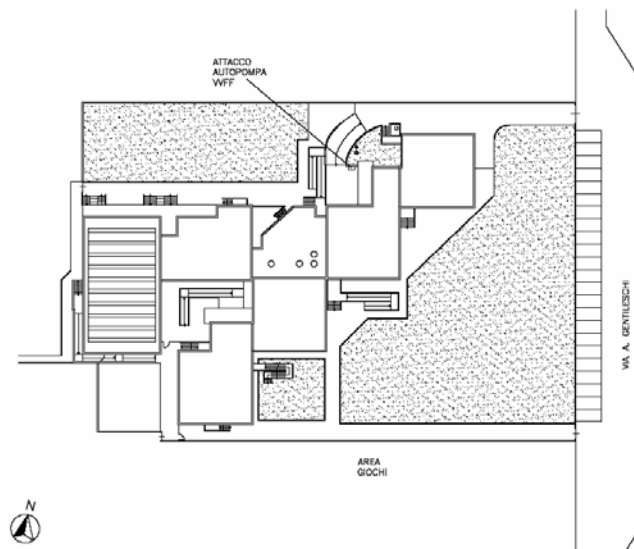


Fig. 21: planimetria del complesso scolastico



Fig. 22: vista satellitare del complesso

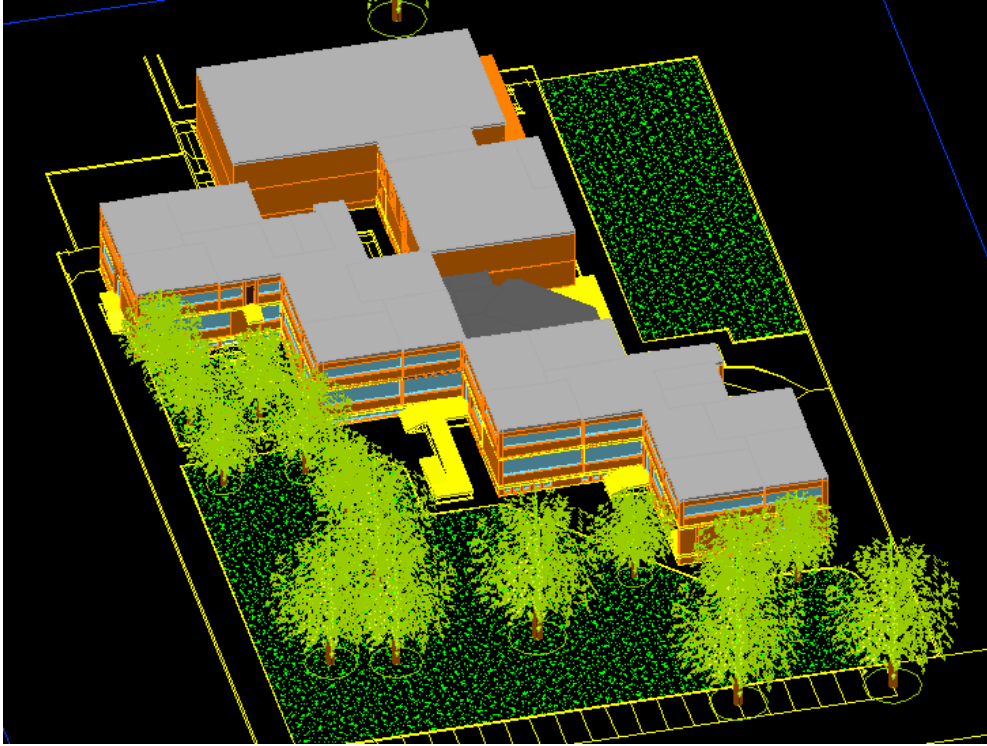


Fig. 23: vista solare 21 Giugno ore 8.00



Fig. 24: vista solare 21 Giugno ore 10.00



Fig. 25: vista solare 21 Giugno ore 12.00



Fig. 26: vista solare 21 Giugno ore 14.00

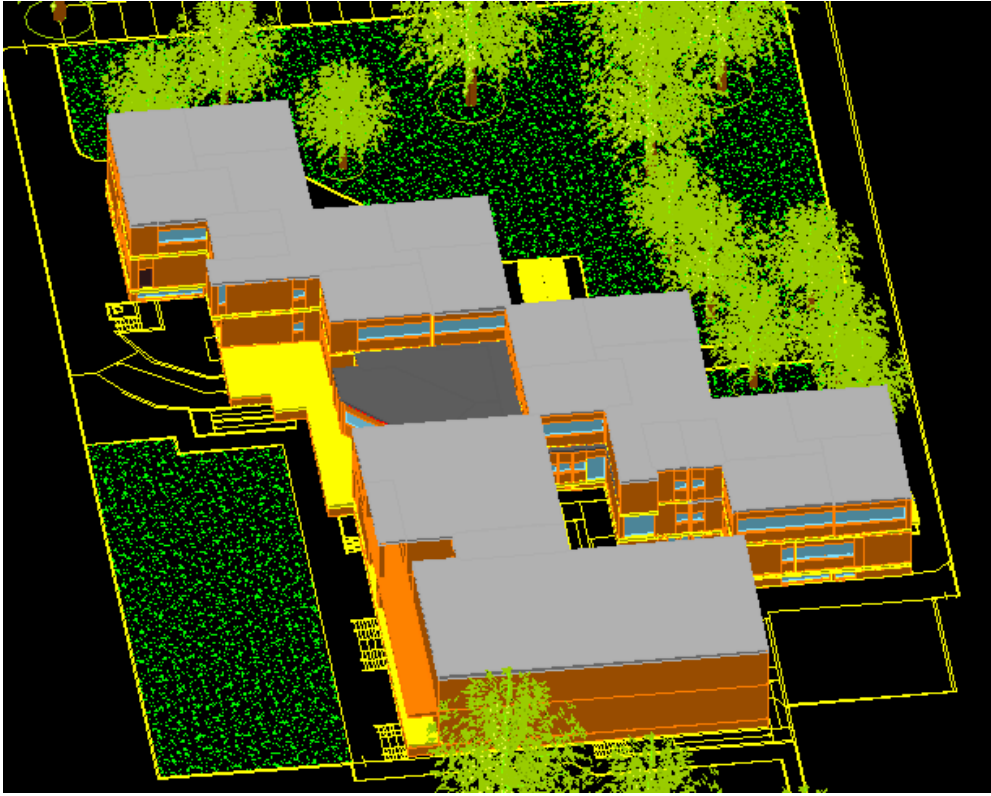


Fig. 27: vista solare 21 Giugno ore 16.00

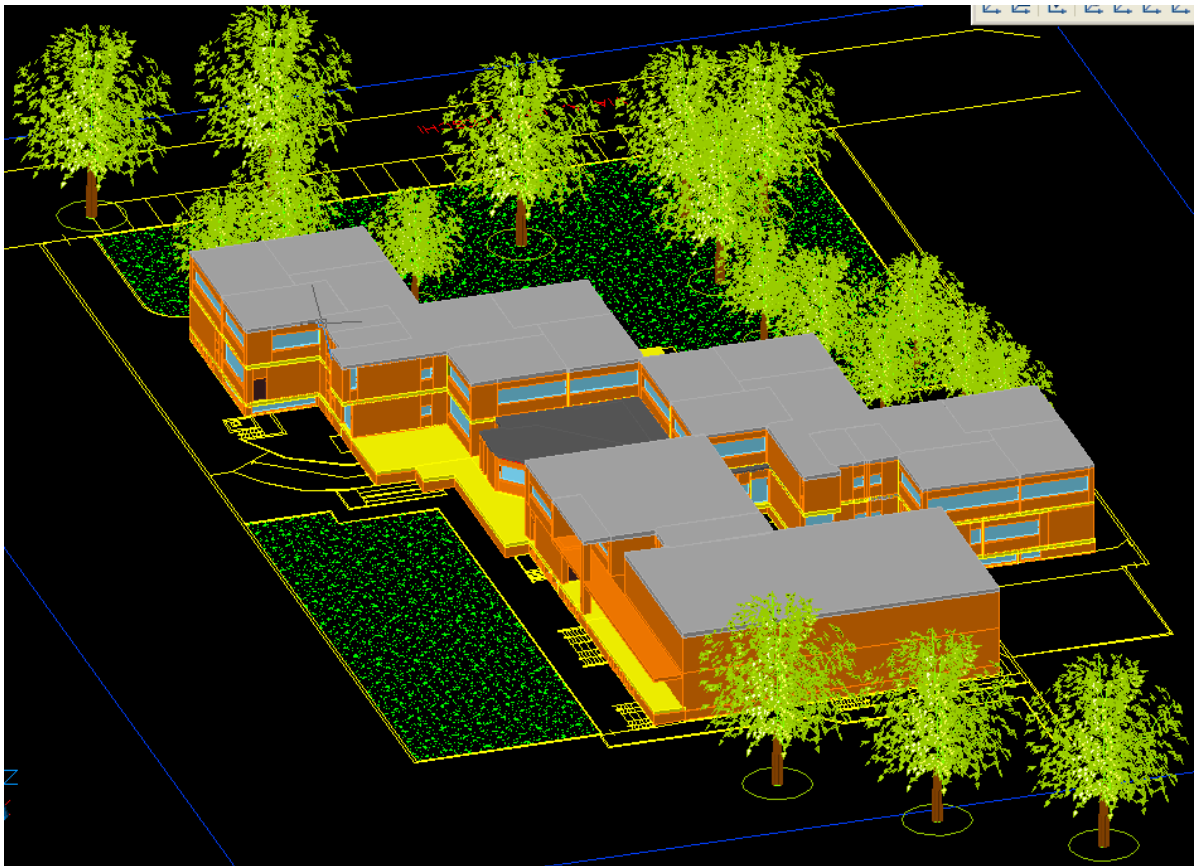


Fig. 28: vista solare 21 Giugno ore 17.00

Dalla rappresentazione grafica emerge come le superfici trasparenti orientate a Est e Sud-Est siano esposte sin dal primo mattino all'irraggiamento solare. Le superfici esposte a Sud – Ovest e Ovest sono invece esposte nelle ore più calde del pomeriggio.

Per ridurre gli apporti solari dalle superfici trasparenti nel periodo estivo, e contemporaneamente evitare fenomeni di abbagliamento luminoso, non sono sufficienti le schermature interne (tende) ora presenti.

Al fine del controllo del carico termico estivo, l'unica soluzione efficace deve prevedere la presenza di schermature solari esterne alle superfici trasparenti.

Il controllo della radiazione solare potrebbe allora essere assolto da una serie di provvedimenti che potranno comprendere:

- la piantumazione di ulteriori alberi caducifogli in prossimità delle superfici trasparenti orientate a Est, Sud – Est, al limite delle aree pedonabili;
- l'installazione di appositi frangisole esterni fissi in prossimità delle superfici trasparenti esposte a Sud – Ovest e a Ovest (fig. 29).



Fig. 29: esempi di frangisole fissi orizzontali e verticali

Ai fini del controllo dei carichi termici estivi, potrà inoltre essere implementata una adeguata strategia di ventilazione naturale degli ambienti, anche per mezzo dell'apertura di idonee aperture (come detto in precedenza per il layout dei nuovi infissi da installarsi).

Tale soluzione potrebbe, ad esempio, essere utilmente adottata per la ventilazione naturale della palestra. Per l'integrazione progettuale di tale soluzione è necessario prevedere i seguenti interventi:

- ripristino del sistema di aperture presenti nella copertura della palestra, con comando meccanico o servoassistito;
- realizzazione di idonee aperture nelle parti inferiori delle pareti verticali esposte a Est, Nord.

## 7. Verifica di possibili integrazioni di fonti energetiche rinnovabili

Per quanto concerne la possibile integrazione di impianti per l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia, il recente Dlgs. 192/05 obbliga, in questo caso, alla predisposizione delle opere per la futura installazione di impianti solari termici o fotovoltaici.

Tale predisposizione, che nel caso del presente progetto non dovrebbe risultare di difficile attuazione, prevede i seguenti parametri, contenuti nell'Allegato D del Dlgs. 192/05:

1. Al fine di assicurare l'integrazione degli impianti solari termici e fotovoltaici sulle coperture degli edifici si propongono i seguenti quattro gruppi di raccomandazioni:
2. Deve essere disponibile una superficie della copertura dell'edificio, o di pertinenza dell'edificio, con le seguenti caratteristiche:
  - a) orizzontale o esposta verso il quadrante Sud-Est Sud Ovest per le pareti inclinate;
  - b) dimensione pari al 25% della superficie in pianta dell'edificio;
  - c) non ombreggiata nei mesi più sfavoriti, gennaio – dicembre, da parti dell'edificio stesso per più del 10% della superficie disponibile.
3. E' opportuno includere un vano tecnico dove possano essere ospitati i componenti del circuito primario degli impianti solare termico e i dispositivi di condizionamento della potenza dell'impianto fotovoltaico e di connessione alla rete con le seguenti caratteristiche:
  - a) volume di dimensione pari a 50 litri per ogni m<sup>2</sup> di superficie correttamente orientata di cui al precedente punto 1 in modo tale da poter ospitare serbatoi di accumulo dell'acqua calda sanitaria e i componenti del circuito primario e secondario;
  - b) caratteristiche idonee ad ospitare un quadro elettrico, e i dispositivi di interfaccia con la rete;
  - c) accessibile per la manutenzione degli impianti.
4. E' necessario prevedere, per la realizzazione dei collegamenti dei collettori solari e dei moduli fotovoltaici al vano tecnico, un cavedio di sezione opportuna per poter alloggiare una conduttura di mandata e una di ritorno all'impianto solare termico, due canaline (corrugati) per alloggiare i collegamenti elettrici all'impianto fotovoltaico e il collegamento alla rete di terra.
5. E' necessario prevedere, per il collegamento dell'impianto solare alle singole utenze, opportuni cavedi o vani che possano contenere la linea di mandata dell'acqua calda sanitaria e un collegamento elettrico.

Per quanto concerne infine la possibile futura installazione di impianti per l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia, oltre ad eventuali impianti dimostrativi (solare termico ad acqua, solare fotovoltaico, biomassa, ecc.), facilmente integrabili in una struttura di questo tipo, potrebbe essere presa in considerazione l'integrazione di un sistema solare ad aria di tipo Solarwall da posizionarsi nel prospetto Sud del volume della palestra (fig.30 e 31).

Tale sistema consentirebbe di ottenere un sistema di ventilazione e di preriscaldamento della palestra nelle stagioni invernali ed intermedie, migliorando il confort della struttura e diminuendo le spese energetiche per riscaldamento.

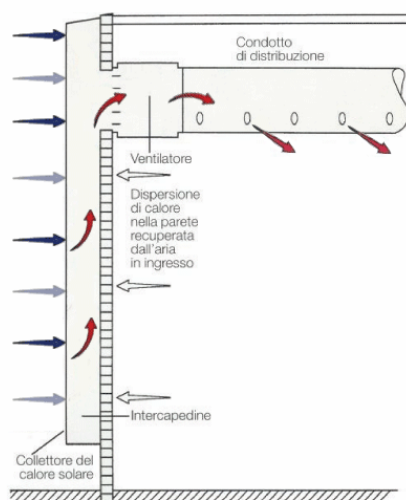


Fig. 30 e 31: schema di funzionamento del sistema Solarwall e esempio di applicazione su una palestra