



Dalla teoria alla pratica: esempio di riqualificazione energetica

Progetto di riqualificazione di una scuola

Giacomo Iannandrea- Ricercatore ENEA

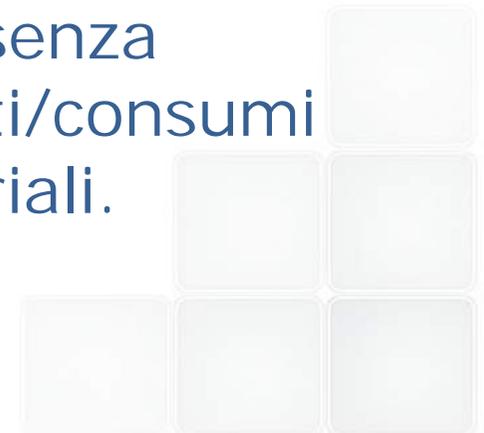
**Seminario sull'efficientamento energetico –
Campobasso 1 aprile 2016**



Nell'ambito dell'accordo di programma MISE – ENEA 2012 – 2014 **Ricerca Di Sistema Elettrico** è stato realizzato un progetto di riqualificazione energetica di una scuola rappresentativa del parco scolastico romano.

Lo studio è frutto di una collaborazione ENEA (arch. C. Romeo) - Università di Roma Sapienza, CITERA (prof. F. Cumo).

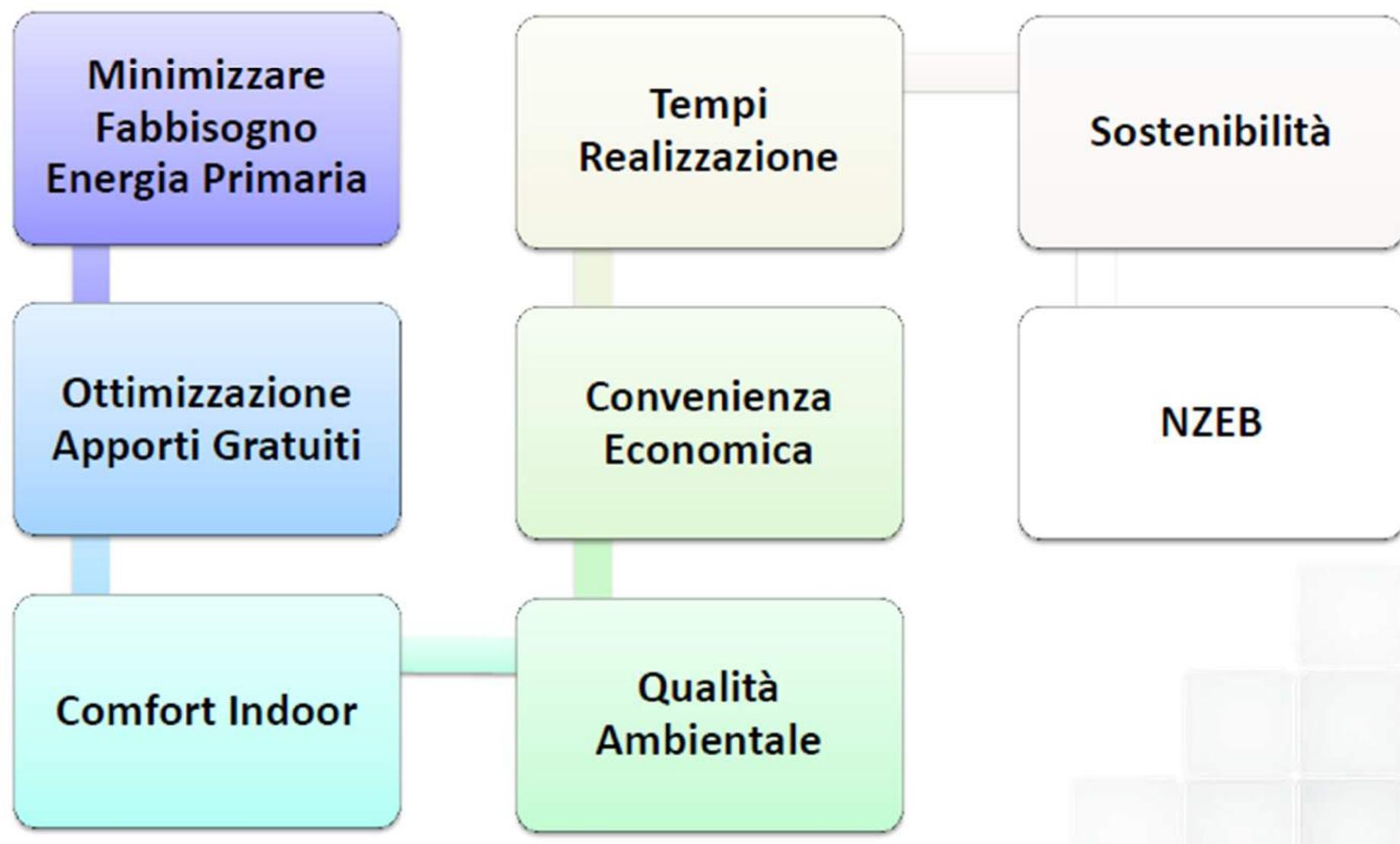
L'edificio esaminato risale al 1962, in assenza quindi di normativa di contenimento costi/consumi energetici ed eco-compatibilità dei materiali.



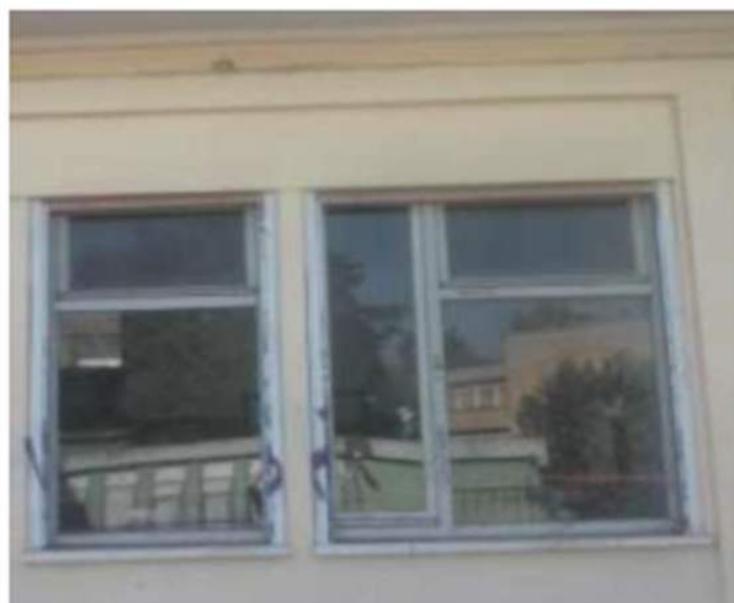
Il Processo



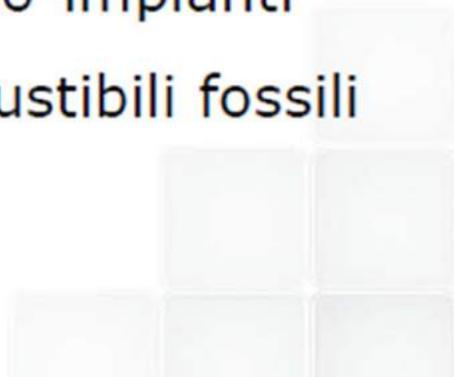
Obiettivi



Oggetto di intervento



- Assenza isolamento termico-acustico involucro
- Discomfort termo-igrometrico invernale-estivo
- Assenza dispositivi di schermatura della radiazione solare diretta e indiretta
- Carezza criteri per riduzione carichi termici estivi
- Assenza criteri di progettazione illuminotecnica (discomfort visivo) – carichi elettrici
- Assenza criteri per gestione sistema edificio-impianti
- Elevata domanda energia elettrica e combustibili fossili
- Insoddisfacente qualità dell'aria indoor



Il progetto: criteri



- Controllo performance invernali ed estive:
Azioni su involucro opaco e trasparente
- Aumento del comfort indoor:
Ottimizzazione apporti solari gratuiti, ventilazione ibrida, qualità visiva → adozione di interventi e strategie di controllo integrate (BEMS)
- Integrazione di sistemi tecnologici attivi/passivi con assemblaggio a secco per facilità di posa in opera, manutenzione e facilità di dismissione
- Utilizzo di componenti edilizi derivanti da materie prime secondarie, riciclabili (up-cycling)
- FER / Micro-generazione di potenza termoelettrica

Involucro

B1 B2 B3



Parete verticale

Cappotto: Materassino in Aerogel nanoporoso (3 cm)

- $\lambda = 0,013 \text{ W/mK}$
- Elevata performance/ spessori/peso ridotti (150 kg/m^3)
- Applicazione a secco
- Temintonaco naturale ecocompatibile pura calce naturale ($\lambda = 0,075 \text{ W/mK}$) cert LEED



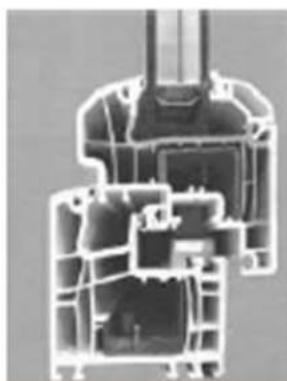
Solaio Basamento



Igloo: materiali riciclati posati a secco/incastrati

- Facilità/rapidità di posa
- Passaggio degli impianti
- Efficace ventilazione
- Autoportanti/leggeri
- Certificati LEED
- Aerogel 3 cm

Serramenti

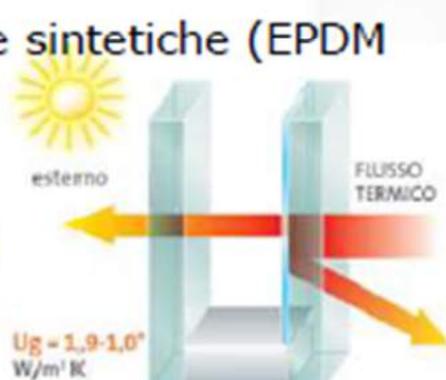


Telaio in PVC (6 camere) $U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Elevata performance/ triplici guarnizioni gomme sintetiche (EPDM)
- Scarsa manutenzione
- Isolamento acustico ($R_{w,p} = 47 \text{ dB}$)

Doppio vetro Low-e $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Vetro Low-e su vetrata isolante 4-16-4 (Argon)
- Elevata trasmissione luminosa ($T = 0,77$)
- Ridotto fattore solare $g = 0,60$

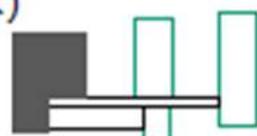
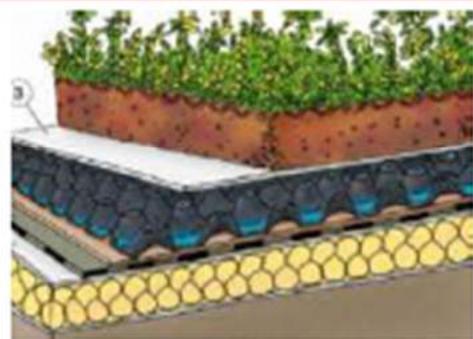


Green Roof estensivo

Blocco 1

Evapotraspirazione: verde estensivo (sedum sempreverde) sottrae calore agli ambienti interni e mantiene $T_{sup} \ll T_{ext}$
Evita elevate temperature radianti ed asimmetrie soffitto-pav.to

- Spessore (16 cm)/peso (115 kg/m²) contenuti
- Elevata performance invernale/estiva ($U=0,269\text{W/m}^2\text{K}$; $Y_{ie}=0,008\text{W/m}^2\text{K}$)
- Tipo piantumazione: autorigenerante: NO impianti irrigazione
- Ridotta manutenzione



Cool Roof Membrane impermeabilizzanti riflettenti

Blocco 3

- Membrana ricoperta da pellicola superficiale a 4 strati, e da vernice riflettente a straordinaria tenuta
- Elevata emissività 0,89 (dispersione calore per irraggiamento)
- Elevata riflettanza 0,78: superficie del tetto più fredda (< trasmissione)
- Riduzione temperatura superficiale: $T_{sup\ coolroof} < 40^\circ\text{C}$ $T_{sup\ trad}$
- Semplicità posa in opera - Ridotto stress termico
- Resistente UV - Durata
- Mitigazione UHI



Involucro



Sistemi schermanti

B1 B2 B3

- Tipo a veneziana con lamelle orizzontali orientabili (90°)
- Pale in alluminio estruso orientabili
- Riflettanza = 80%
- Controllo carichi termici estivi
- Livelli di illuminazione naturale (luce diffusa) ed artificiale
- Schermatura solare dinamica controllata dal sistema domotico
- Inseguimento solare
- Tint > 26 °C
- Cut-off orario antieffrazione



Lucernari

B1

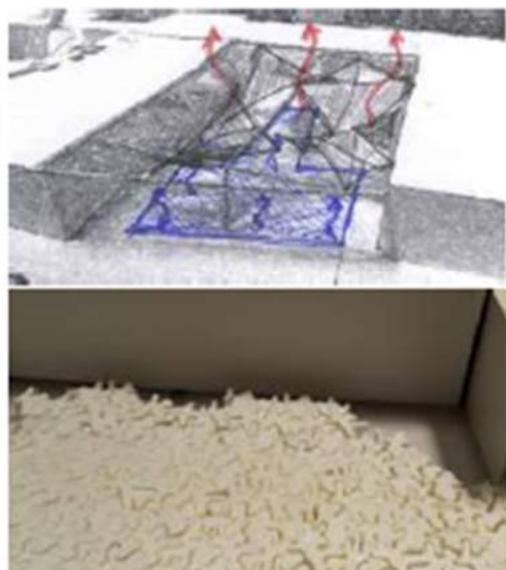
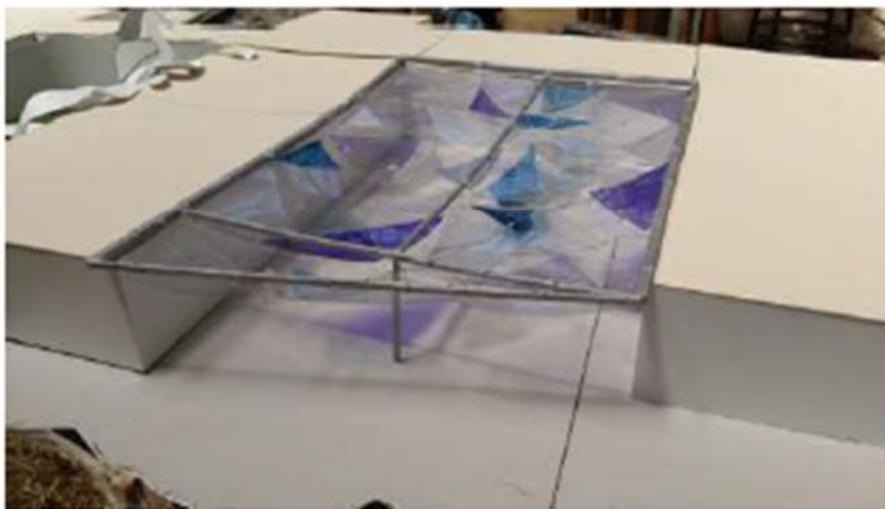
- Lucernari di tipo monolitico in metacrilato estruso (PMMA)
- Dispositivi di apertura manuali/elettrici (BEMS)
- Livelli di illuminazione naturale (luce diffusa)/artificiale
- Night Ventilation
- Caratteristiche energetiche:
 - $g = 62\%$,
 - $Tl = 53\%$,
 - $Ug = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$



Raffrescamento passivo + Schermature



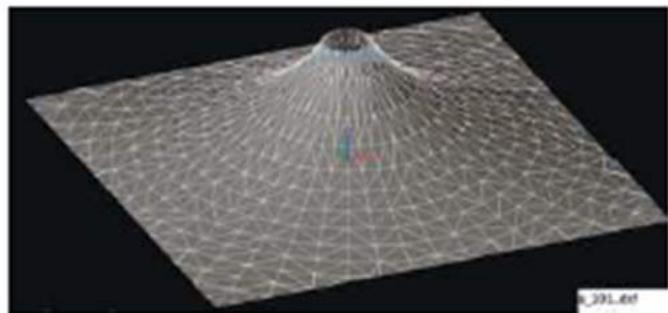
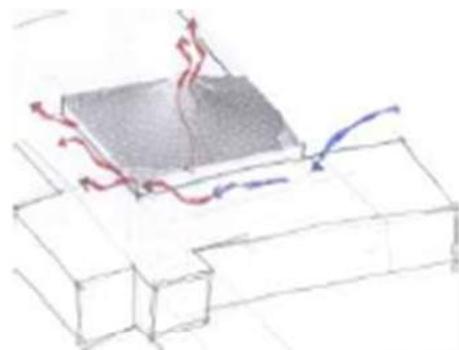
- Specchio d'acqua: raffrescamento per effetto evaporativo passivo
- Approvvigionamento idrico collegato con la raccolta dell'acqua piovana
- Circolazione tramite pompa dedicata alimentata dai pannelli fotovoltaici
- Copertura mobile con tessuto velico riusato tese su orditura metallica
- Recupero/Utilizzo degli spazi esterni anche per lezioni all'aperto
- Pavimentazione con materiale riciclato



Copertura ETFE (Etilene Tetra Fluoro Etilene) fluoropolimero termoplastico



- Membrana materiale sintetico: elevata trasparenza - isolamento termico/acustico
- Fascia di distacco tra copertura e pareti della corte: flussi d'aria in grado di ventilare la corte in modo naturale (gradiente termico)
- Resistenza stress termici
- Resistenza agenti chimici/atmosferici, autopulente, riciclabile al 100%
- Alta trasmissione della luce negli spettri del visibile (95%)
- Bassissima permeabilità
- $U = 1,18 - 2,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $g_{\text{value}} = 0,05-0,85$ (funzione della struttura e orientamento)
- L'ETFE materiale elastico: evita fenomeni di riverbero o eco



Simulazioni



BLOCCO 1

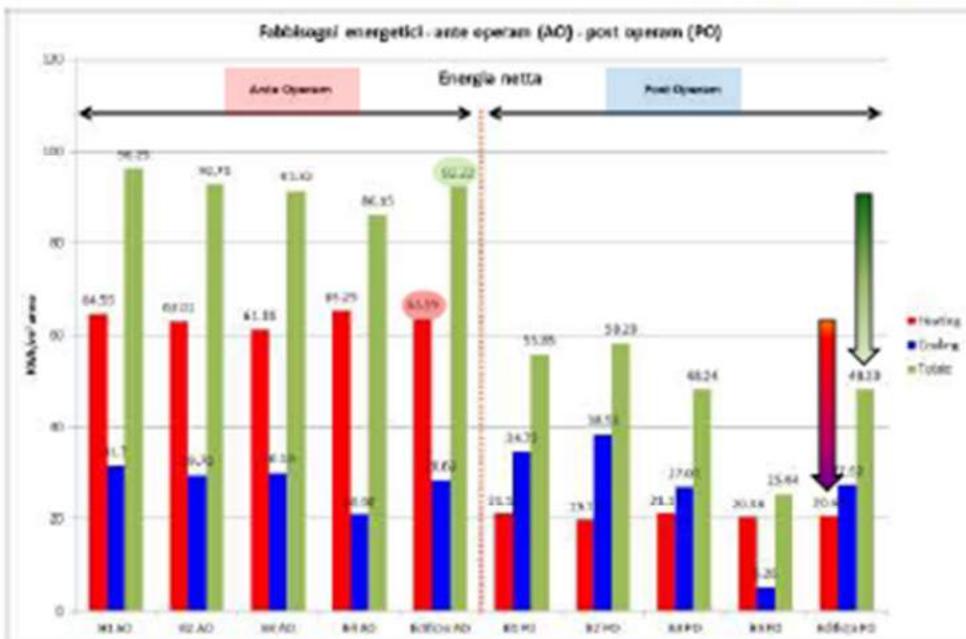
- Green Roof
- Isolamento pareti
- Serramenti - schermature
- Lucernari
- LED dimmerizzabili
- Night ventilation
- BEMS (schermature-lucernari-LED)

BLOCCO 2 (riferimento)

- Copertura ghiaia
- Isolamento pareti
- Serramenti - schermature
- BEMS (schermature; LED)

BLOCCO 3

- Cool Roof
- Isolamento pareti
- Serramenti - schermature
- LED dimmerizzabili
- Night ventilation
- BEMS (schermature; LED)



Risultati Climatizzazione INVERNALE

- Fabbisogno energetico riscaldamento ridotto di oltre 2/3:
(63,59 → 20,69 kWh/m²/anno)

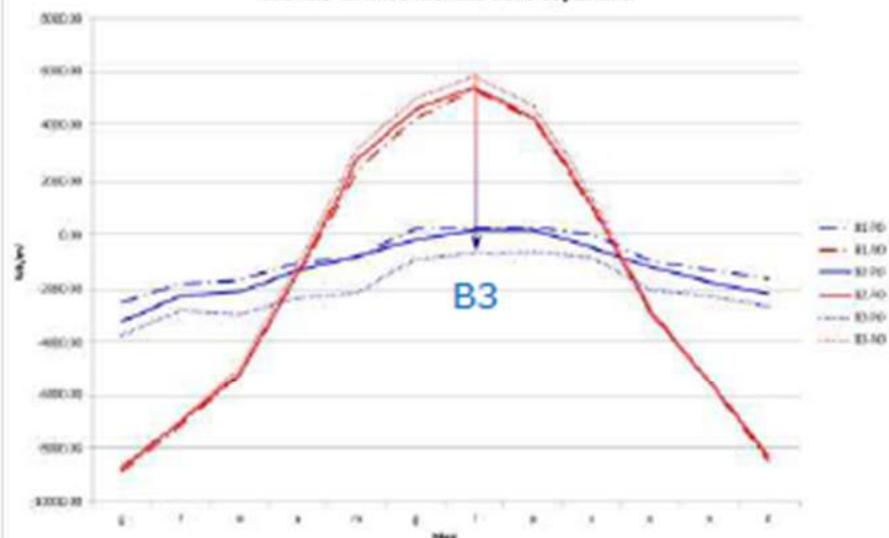
Riduzione energia totale > 48%
Epgl ante = 42,7 kWh/m³/anno
Epgl post = 3,0 kWh/m³/anno

Simulazioni

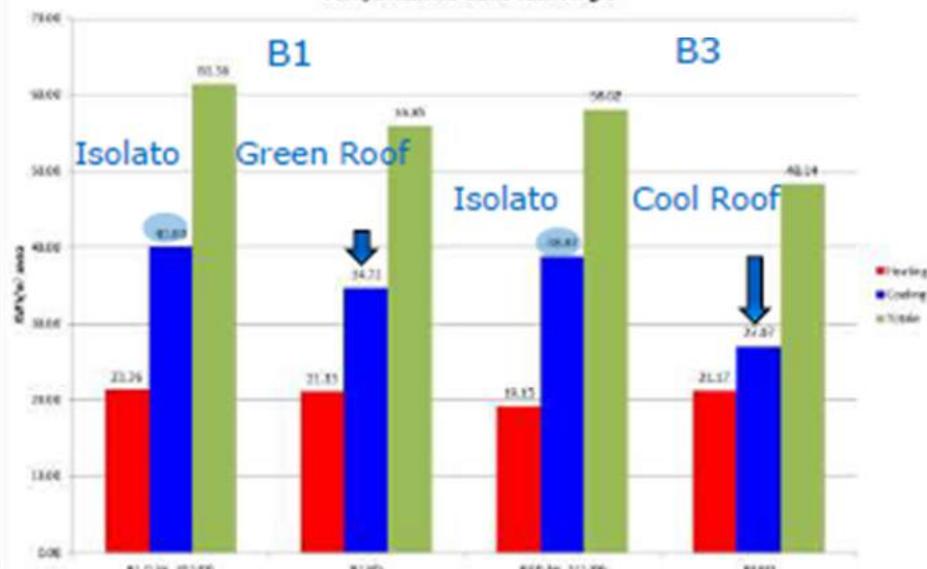


CONFRONTO RISPETTO CONFIGURAZIONE NORMATIVA IMPATTO TECNOLOGIE COPERTURA

Bilancio termico mensile delle coperture



Comparazione delle tecnologie



Trasmissione attraverso copertura

B3 Cool Roof

→ maggior abbattimento apporti solari

Risultati Climatizzazione ESTIVA

- B1 → - 13%
Lucernari (> apporti solari)
Green Roof: effetto ridotto
- B3 → - 30%
Cool Roof: abbatte apporti solari

Risultati Climatizzazione INVERNALE

- B1 invariato
(B3 → + 10%)

POMPE DI CALORE

- HP: 75 kW: 4 sonde verticali: alimentazione elementi radianti e Unità di Trattamento aria posta in copertura (3000 m³/h)
- Microgenerazione locale di potenza termoelettrica
- Sistema di controllo domotico



ARIA PRIMARIA E VENTILCONVETTORI

- Sistema di ventilconvettori a 4 tubi per fornire contemporaneamente calore in un corpo dell'edificio e raffrescamento in un altro corpo
- Applicazione di rilevatori, sensori, attuatori per controllo automatico e smart metering energetico



Impianti



SOLARE TERMICO

- 4 Collettori solari piani vetrati (32 m²) → 2000 l/g (copertura Sud-Est; tilt 40°)
- Assorbitore altamente selettivo: alto assorbimento-basso-emissivo
- Circolazione forzata con pompa circolazione
- Serbatoio accumulo → 800 l (locale tecnico)
- 2 sonde Temp (T_{coll}; T_{acc}) → centralina elettronica attiva/disattiva pompa circolazione
- Misuratore energia termica, misuratore di portata, per monitorare produttività dell'impianto solare termico durante il suo periodo di esercizio



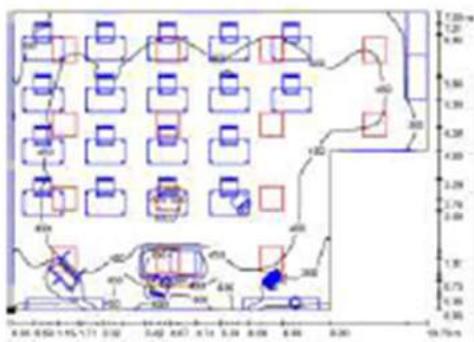
SOLARE FOTOVOLTAICO

- 60 pannelli in Silicio Monocristallino (rendimenti fino al 18%) ancorati sopra lo strato di guaina.
- Pannelli orientati in direzione Sud-Ovest
- Ciascun pannello fornisce mediamente una potenza elettrica di 200 Wp per una potenza complessiva di circa 12 kWp
- Produzione energetica annua paria a 16.897 kWh
- Unico inverter (12 kW dc/ac) locale adiacente alla cabina elettrica



BEMS

- Building Automation finalizzato ad una gestione di ottimizzazione energetica
- Sistema perfettamente scalabile e modulare
- Sensoristica ed apparecchiature di contatto in campo
- Impianti termoidraulici: on/off fan-coil (T_{setpoint} ; presenza), termoregolazione impianto risc/raffr, UTA (valvole regolazione fluidi/serrande transito), Boiler accumulo ACS, Pompa Calore (parzializzazione)
- Impianto illuminazione: controllo fascia oraria, giornata lavorativa, livello illuminamento \rightarrow daylighting, presenza;
 - Regolazione del flusso luminoso emesso e relativo controllo dei consumi
 - Gestione illuminazione naturale mediante controllo dei frangisole motorizzati e dei lucernari presenti in copertura sul Blocco 1



BEMS: software gestione e telecontrollo SCADA

- Visualizzazione grafica condizioni real time di impianto → immediata conoscenza situazioni di guasto/anomalia.
- Programmazione scenari complessi
- Statistiche funzionamento/rilievo parametri ambiente e di presenza attiva nelle stanze
- Storizzazione stati ON/OFF con previsione consumi
- Proiezioni ottimizzazione ed efficientamento energetico
- Integrazione completa di una vastissima tipologia di apparecchiature, per garantire una estrema scalabilità e riadattabilità del sistema



Costi



Insieme interventi proposti (edificio da classe G a A)
costo parametrico complessivo = 1000 €/m²
equamente suddiviso tra interventi edili e impiantistici

Tabella riassuntiva per categorie di intervento –INTERO EDIFICIO

LAVORAZIONE	IMPORTO GENERALE	ONERI SICUREZZA	TOTALE
IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO	€ 66 962,51	€ 1 900,00	€ 68 862,51
IMPIANTO ELETTRICO E ILLUMINAZIONE	€ 105 029,67	€ 1 050,30	€ 106 079,97
IMPIANTO ANTINCENDIO	€ 46 303,70	€ 5 556,44	€ 51 860,14
IMPIANTO ACS	€ 6 851,95	€ 316,22	€ 7 168,17
IMPIANTO RECUPERO DELLE ACQUE	€ 13 082,14	€ 1 962,32	€ 15 044,46
IMPIANTO GEOTERMICO	€ 161 641,59	€ 2 424,62	€ 164 066,21
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	€ 40 859,01	€ 612,89	€ 41 471,90
SISTEMA DI REGOLAZIONE BEMS	€ 45 472,30		€ 45 472,30
EDILE	€ 483 318,82	€ 9 666,38	€ 492 985,20
TOTALE	€ 969 521,69	€ 23 489,17	€ 993 010,86

Costi



Tabella riassuntiva per categorie di intervento –BLOCCO 3

LAVORAZIONE	IMPORTO GENERALE	ONERI SICUREZZA	TOTALE
IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO	€ 26 379,39	€ 1 900,00	€ 28 279,39
IMPIANTO ELETTRICO E ILLUMINAZIONE	€ 36 963,12	€ 369,63	€ 37 332,75
IMPIANTO ANTINCENDIO	€ 25 067,00	€ 3 008,04	€ 28 075,04
IMPIANTO ACS	€ 16 867,00	€ 316,22	€ 17 183,22
IMPIANTO RECUPERO DELLE ACQUE	€ 5 014,82	€ 752,22	€ 5 767,04
IMPIANTO GEOTERMICO	€ 72 157,00	€ 1082,36	€ 73,239,36
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	€ 21 951,00	€ 329,27	€ 22 280,27
SISTEMA DI REGOLAZIONE BEMS	€ 22 348,00		€ 22 348,00
EDILE	€ 104 208,06	€ 2 084,16	€ 106 292,22
TOTALE	€ 330 955,39	€ 9 841,90	€ 340 797,29

informazione può essere particolarmente rilevante qualora si decida di intervenire secondo step successivi

Impatto Ambientale



Certificazione ambientale: redazione schede inserite nel Protocollo Itaca Nazionale relativo agli Edifici Scolastici recepito dalla Regione Lazio. Il valore finale ottenuto è 3,5948

LIVELLI DI PRESTAZIONE DELLA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEGLI EDIFICI

DESCRIZIONE	PUNTEGGIO
Rappresenta una prestazione inferiore allo standard e alla pratica corrente.	-1
Rappresenta una prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti, o, in caso non vi siano regolamenti di riferimento, rappresenta la pratica corrente.	0
Rappresenta un lieve miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente.	1
Rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente.	2
Rappresenta un notevole miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente. È da considerarsi come la migliore pratica (best practice)	3
Rappresenta un significativo incremento della migliore pratica.	4
Rappresenta una prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica, di carattere sperimentale.	5

Conclusioni



- Elevate potenzialità di risparmio energetico
- Positive ricadute ambientali
- Ripetitività delle tecnologie impiegate nella maggior parte degli edifici scolastici non solo della provincia di Roma ma dell'intera fascia climatica D
- **Suddivisione analisi in Blocchi consente:**
 - confronto tra diverse soluzioni di efficientamento
 - eventuale frazionamento dell'intervento in step successivi
- Possibile effettuazione di un bando che adotti il capitolato speciale tecnico tipo messo a punto
- **Amministrazioni: possibilità di gestire in maniera efficace bandi di gara relativi all'efficientamento degli edifici**

Grazie dell'attenzione

giacomo.iannandrea@enea.it

