



Accordo di Programma MiSE-ENEA 2012-2014



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto C.2 Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

*Riqualificazione energetica di un edificio scolastico:
L' Istituto Tecnico Commerciale A. Genovesi - Roma*

arch. Carlo Romeo - ENEA, UTEE

prof. Fabrizio Cumo - Università di Roma Sapienza, CITERA

Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Architettura

ENEA: Roma, 1 luglio 2015

Obiettivo



- Progettazione esecutiva degli interventi di efficientamento energetico di un edificio scolastico
- Rendere disponibile ai gestori dei plessi scolastici una metodologia di riferimento per progettazione, realizzazione e gestione di edifici → NZEB
- Soluzioni replicabili in grado di trovare applicazione in immobili appartenenti alla stessa realtà geografica e tipologica
- Valutazione performance energetiche (simulazioni dinamiche)
- Analisi dettagliata costi intervento (CME)/ tempi
- Valutazioni impatto ambientale (Protocollo ITACA – LCA componenti)

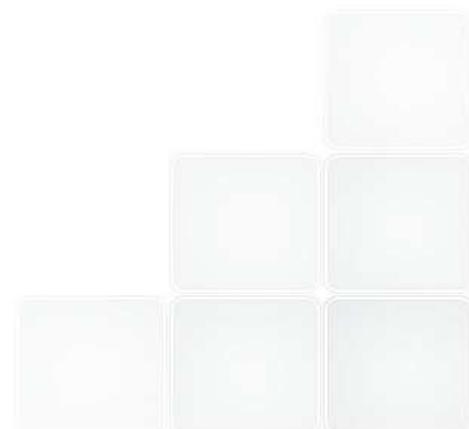
La scelta

- Analisi del patrimonio edilizio scolastico Nazionale, della Provincia e Comune di Roma (consistenza, periodo realizzazione, tipologie costruttive, impiantistiche...)

Istituto Tecnico Commerciale A. Genovesi
Via Venezuela, Roma: edificio pilota (1962)
rappresentativo patrimonio edilizio scolastico romano



- **Periodo di realizzazione:** Assenza di normativa contenimento costi/consumi energetici ed eco-compatibilità dei materiali
- Tecnologia costruttiva
- Materiali utilizzati
- Articolazione planivolumetrica
- Schema distributivo
- Classe energetica



Il Processo

Analisi Contesto

**Caratterizzazione
Edificio/Impianti**

Modellizzazione

**Confronto
Performance
Soluzioni**

Simulazioni

**Proposte
Interventi**

**Scelte
Progettuali**



Obiettivi

**Minimizzare
Fabbisogno
Energia Primaria**

**Ottimizzazione
Apporti Gratuiti**

Comfort Indoor

**Tempi
Realizzazione**

**Convenienza
Economica**

**Qualità
Ambientale**

Sostenibilità

NZEB



Oggetto di intervento

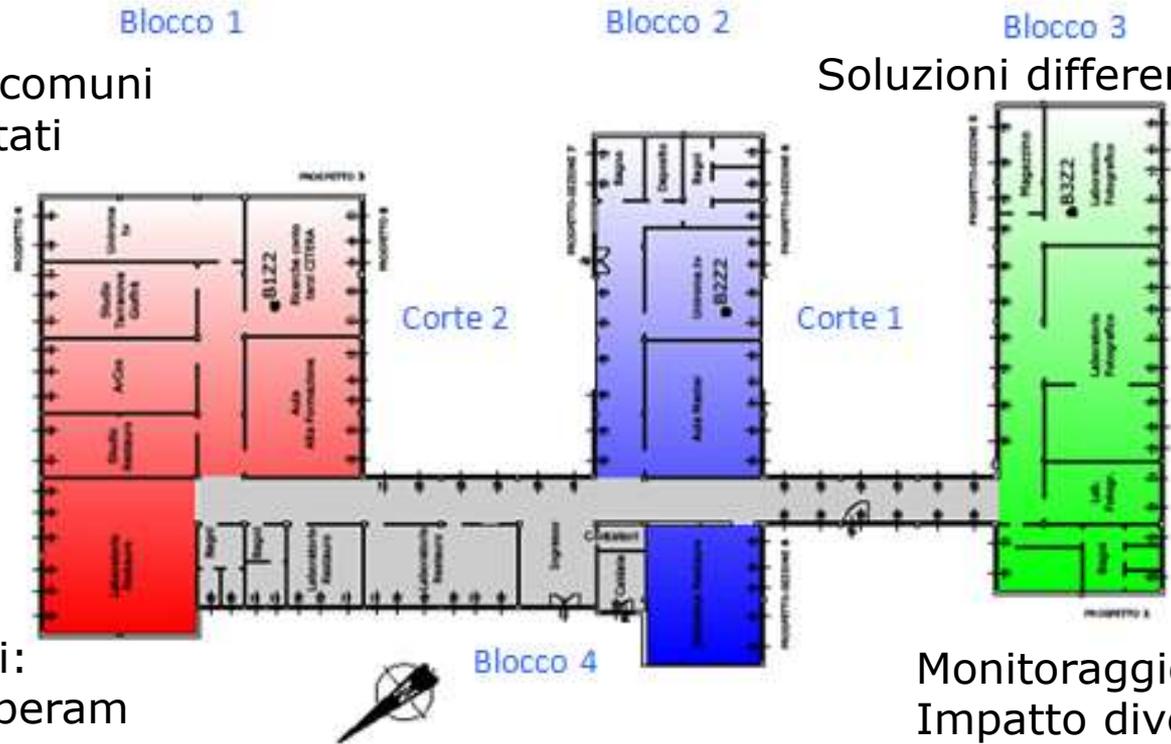


- Assenza isolamento termico-acustico involucro
- Discomfort termo-igrometrico invernale-estivo
- Assenza dispositivi di schermatura della radiazione solare diretta e indiretta
- Carenza criteri per riduzione carichi termici estivi
- Assenza criteri di progettazione illuminotecnica (discomfort visivo)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

Il progetto: criteri

Dati al contorno comuni
Blocchi iso-orientati
Volumi simili

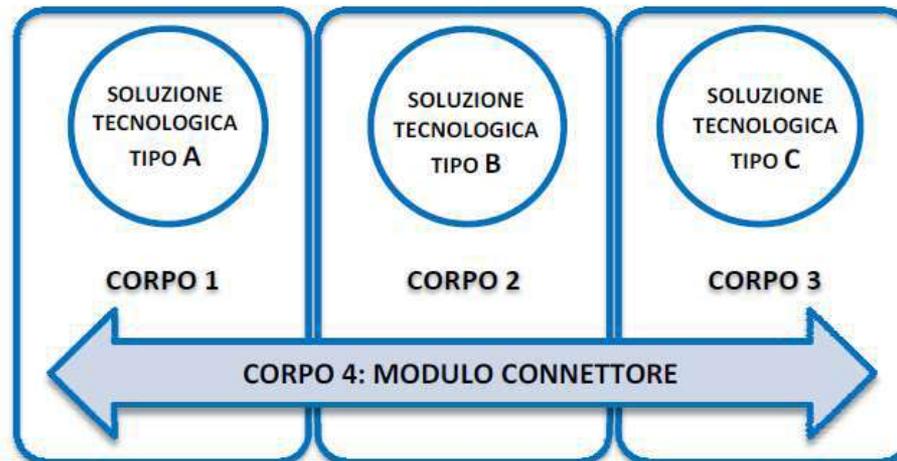
Soluzioni differenziate per Blocchi



Confronto bilanci:
• Ante e Post operam
• Blocchi

Monitoraggio contemporaneo
Impatto diverse soluzioni

Indicazioni soluzioni:
• Riduzione consumi
• Comfort 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

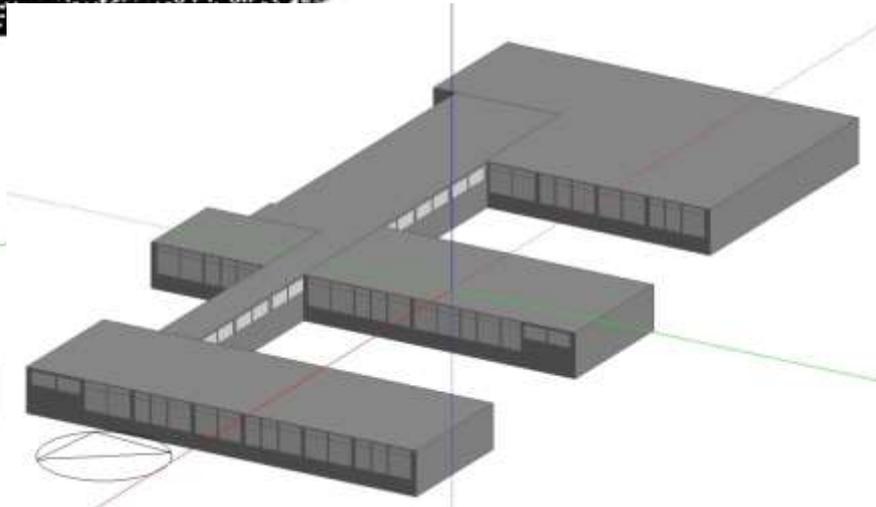
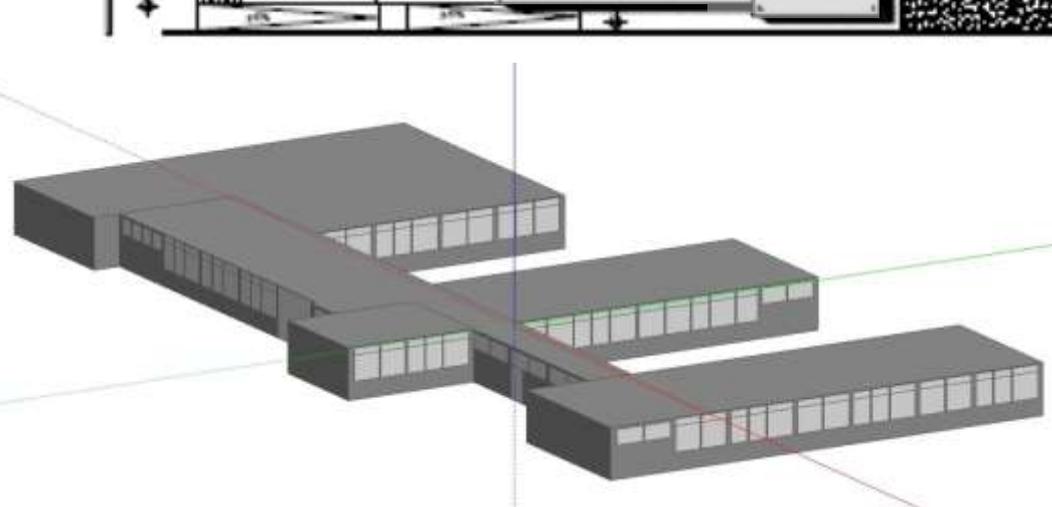
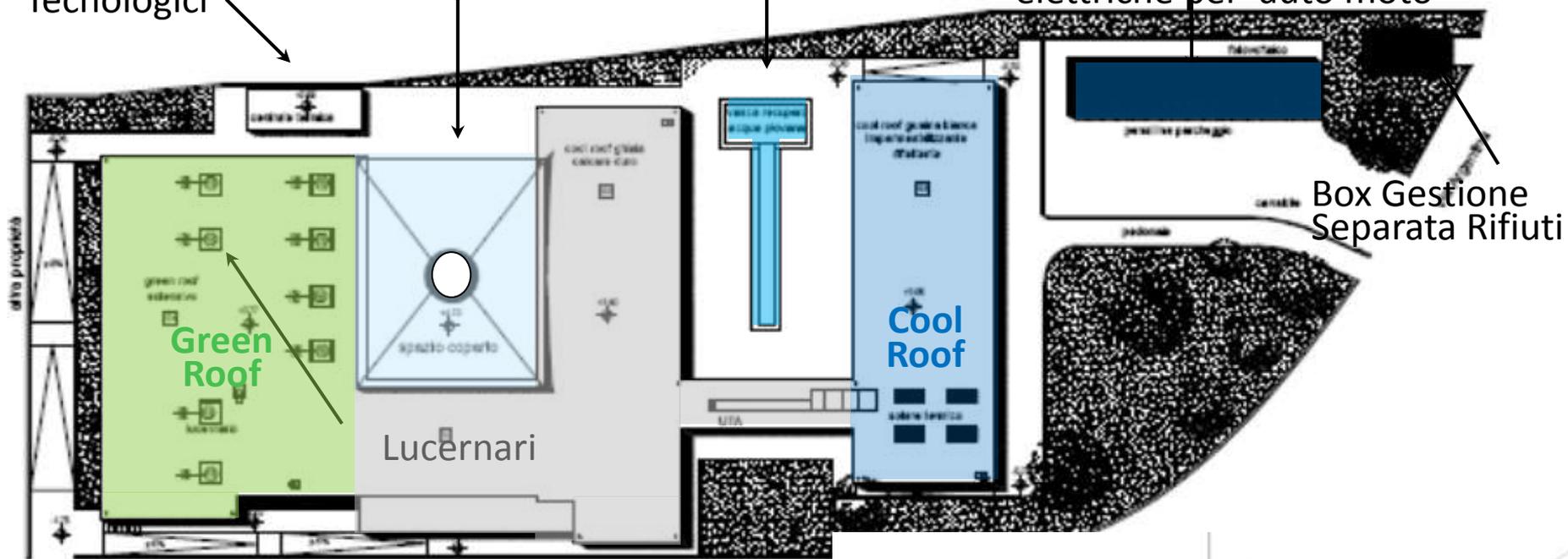
Il progetto

Centrale Impianti
Tecnologici

Corte Bioclimatica
Copertura Ventilata

Vasca Raccolta
Acque Meteoriche

Parcheggio con copertura
fotovoltaica con colonnine
elettriche per auto moto



Involucro

B1 B2 B3

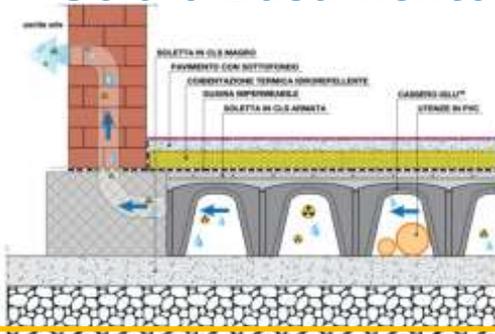
Parete verticale

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



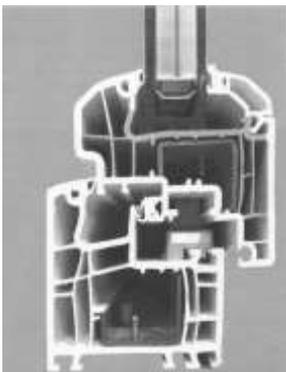
Solaio Basamento



Igloo: materiali riciclati posati a secco/incastrati

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

Serramenti

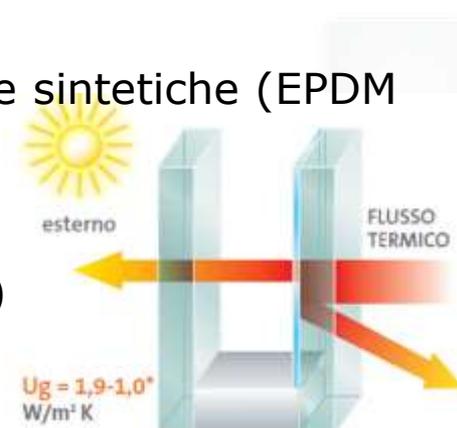


Telaio in PVC (6 camere) $U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- 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 $g = 0,60$

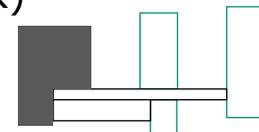
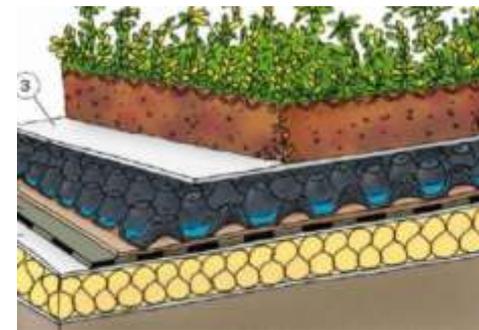


Green Roof estensivo

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

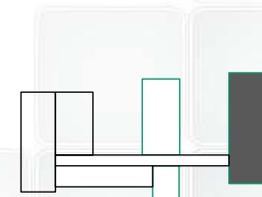
- Spessore (16 cm)/peso (115 kg/m²) contenuti
- Elevata performance invernale/estiva ($U=0,269\text{W/m}^2\text{K}$; $Y_{ie}=0,008\text{ W/m}^2\text{K}$)
- Tipo piantumazione: autorigenerante: NO impianti irrigazione
- Ridotta manutenzione



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



Sistemi schermanti

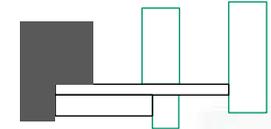
B1 B2 B3



- 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

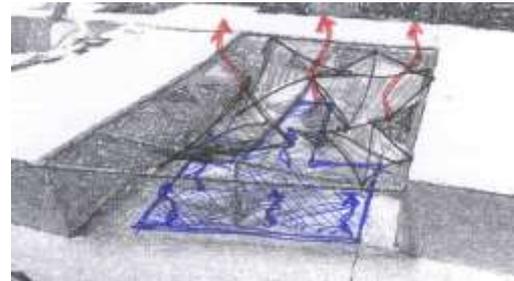
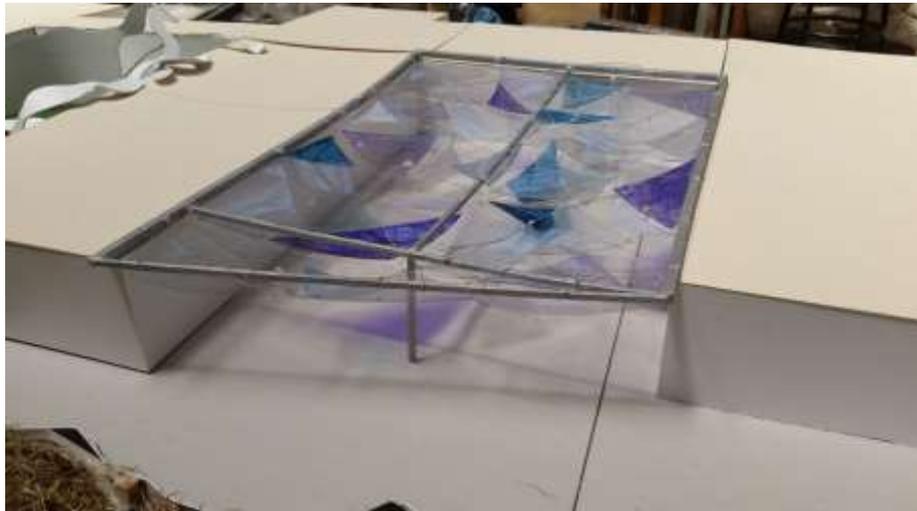
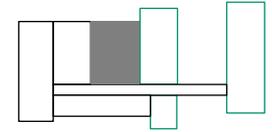


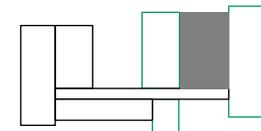
- Lucernari di tipo monolitico in metacrilato estruso (PMMA)
- Dispositivi di apertura manuali/elettrici (BEMS)
- Livelli di illuminazione naturale (luce diffusa)/artificiale
- Night Ventilation
- Caratteristiche energetiche:
- $g = 62\%$,
- $TI = 53\%$,
- $U_g = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$



Raffrescamento passivo + Schermature

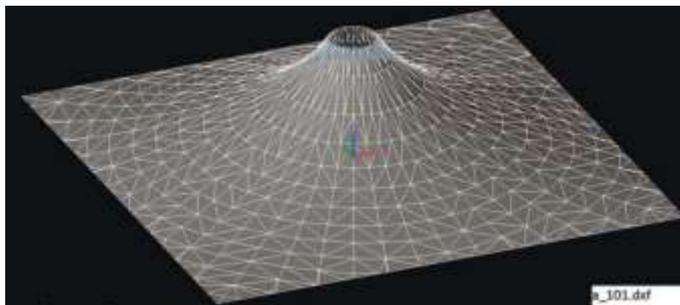
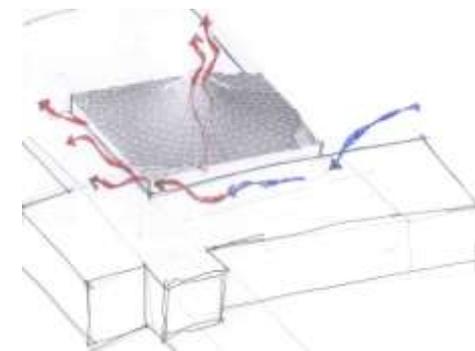
- Specchio d'acqua: raffrescamento per effetto evaporativo passivo
- Approvvigionamento idrico collegato con la raccolta dell'acqua piovana
- Circolazione tramite pompa dedicata alimentata dai pannelli fotovoltaici
- Copertura mobile con tessuto velico riusato tese su orditura metallica
- Recupero/Utilizzo 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

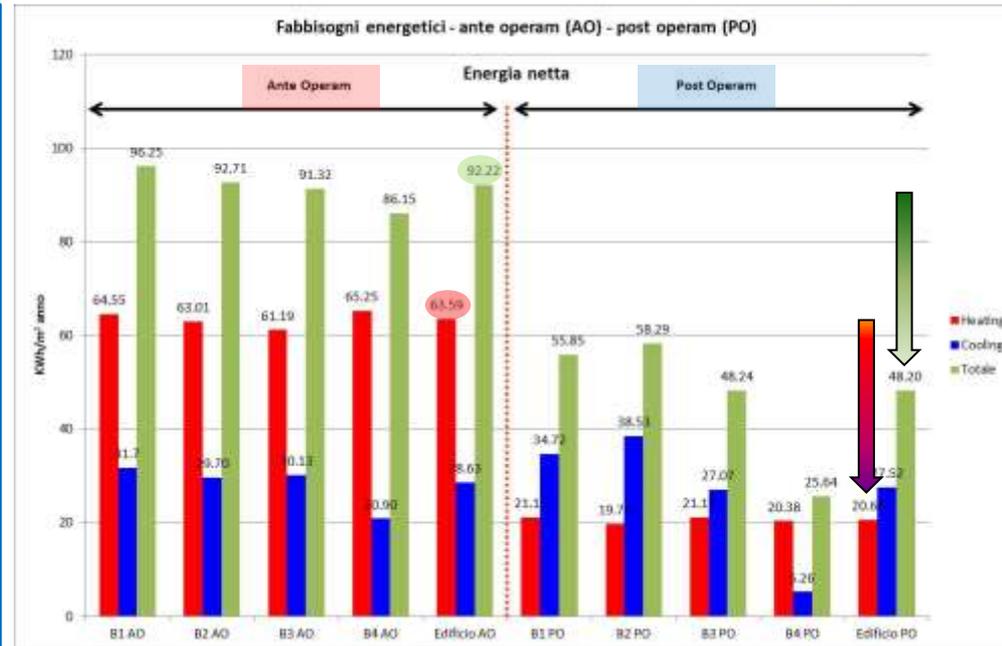
- Green Roof
- Isolamento pareti
- Serramenti - schermature
- Lucernari
- LED dimmerizabili
- Night ventilation
- BEMS (schermature-lucernari-LED)

BLOCCO 2 (riferimento)

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

BLOCCO 3

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



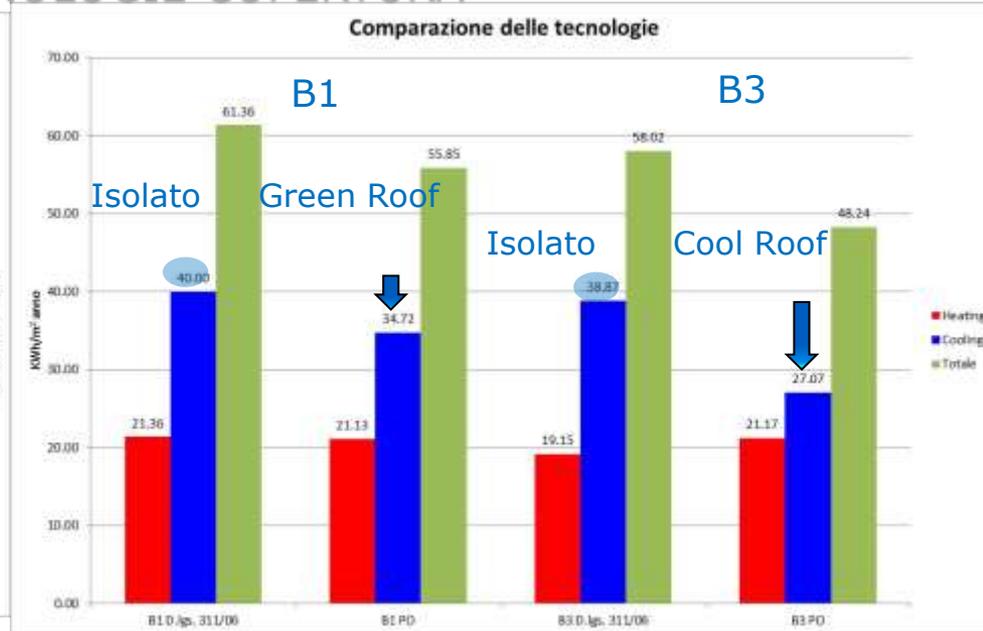
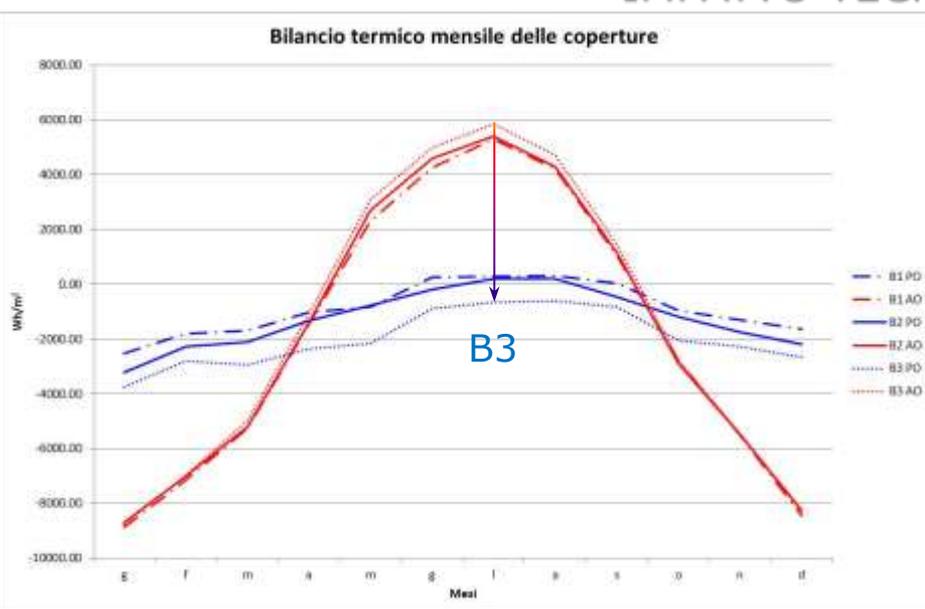
Risultati Climatizzazione INVERNALE

- Fabbisogno energetico riscaldamento ridotto di oltre 2/3:
(63,59→20,69 kWh/m²anno)

Riduzione energia totale > 48%
Epgl ante = 42,7 kWh/m³anno
Epgl post = 3,0 kWh/m³anno

Simulazioni

CONFRONTO RISPETTO CONFIGURAZIONE NORMATIVA IMPATTO TECNOLOGIE COPERTURA



Trasmissione attraverso copertura

B3 Cool Roof
→ maggior abbattimento apporti solari

Risultati Climatizzazione ESTIVA

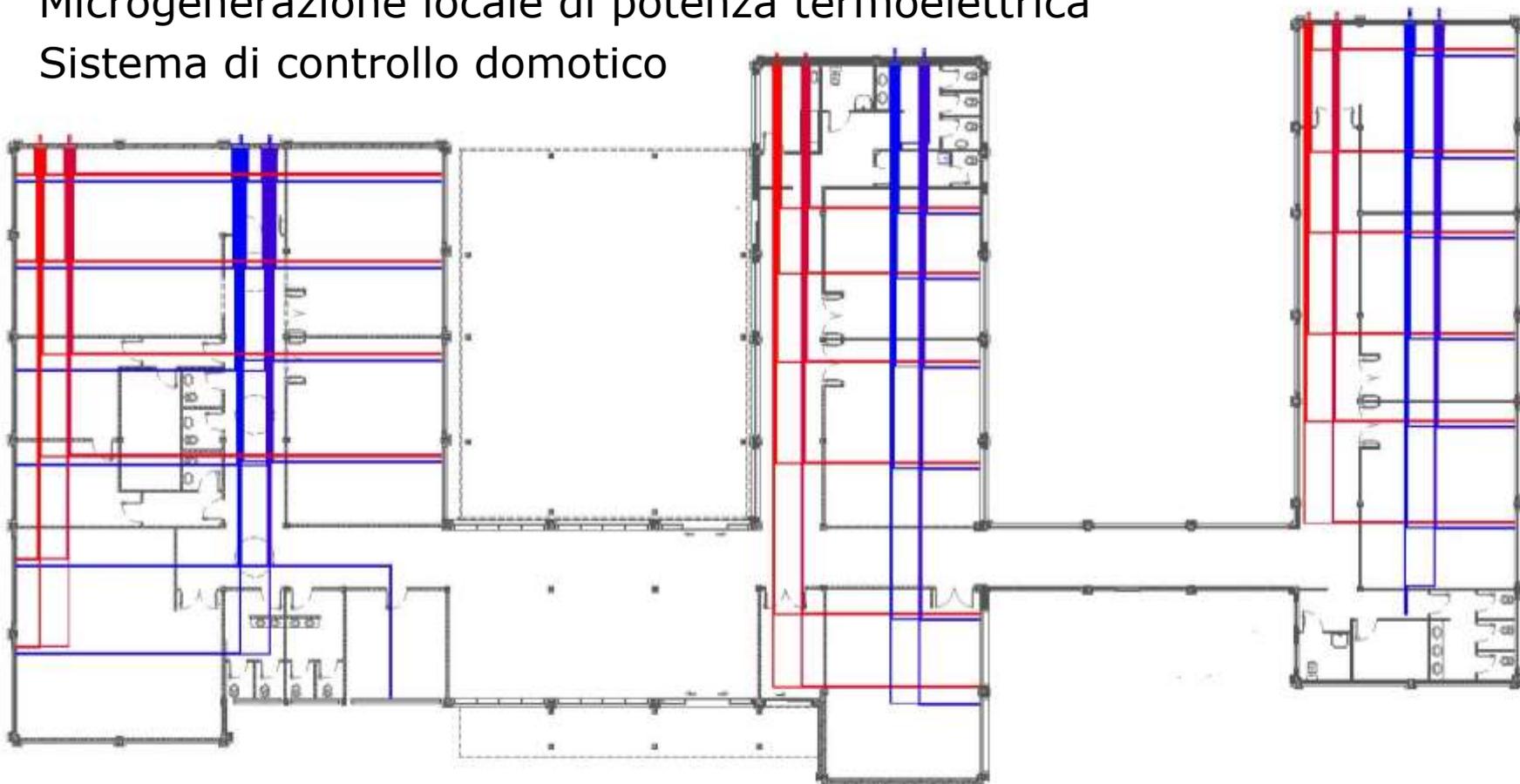
- B1 → - 13%
Lucernari (> apporti solari)
Green Roof: effetto ridotto
- B3 → - 30%
Cool Roof: abbatte apporti solari

Risultati Climatizzazione INVERNALE

B1 invariato
(B3 → + 10%)

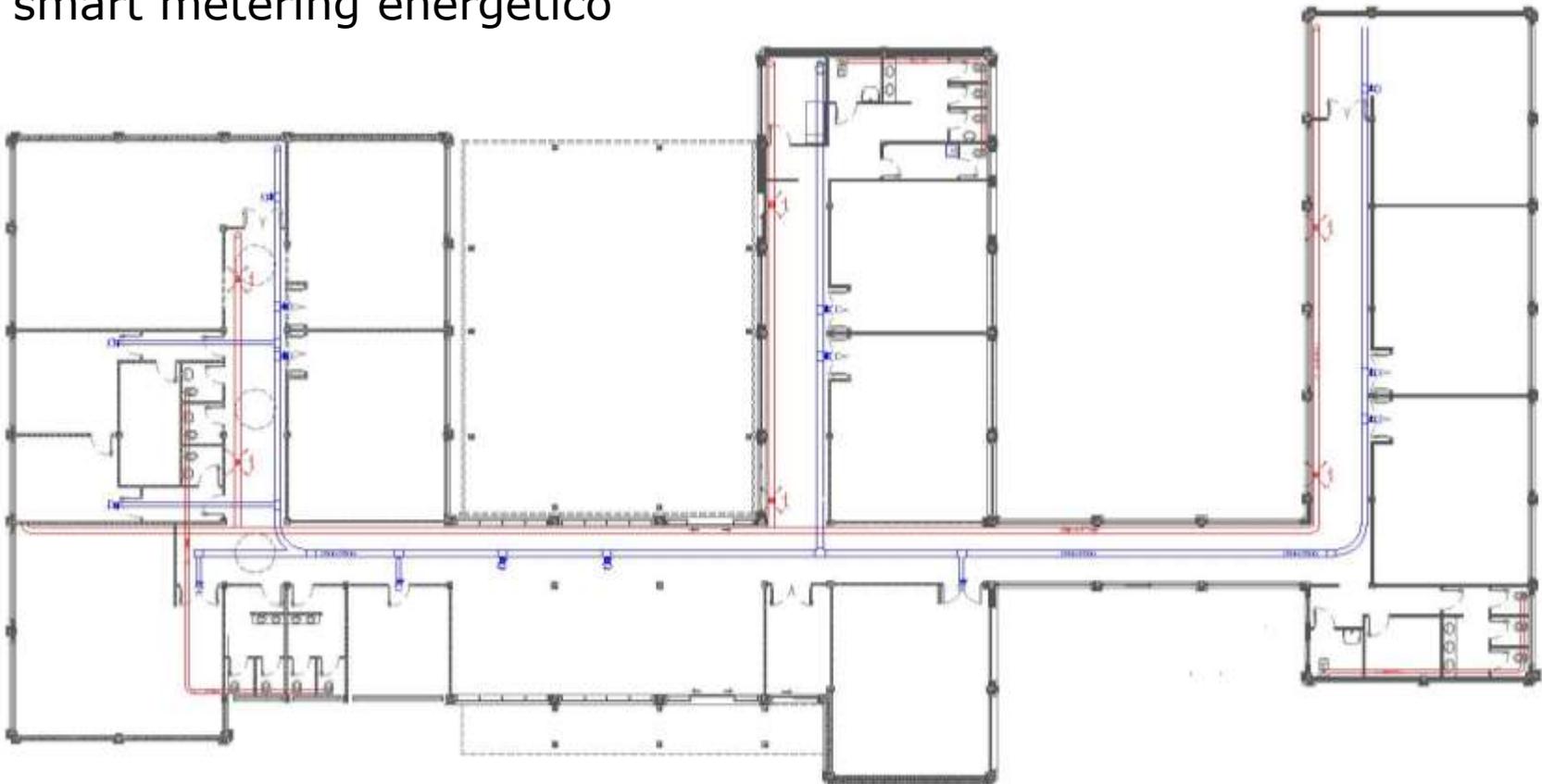
POMPE DI CALORE

- 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 raffreddamento in un altro corpo
- Applicazione di rilevatori, sensori, attuatori per controllo automatico e smart metering energetico



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

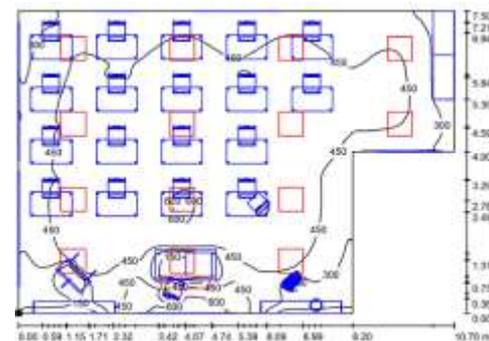


SOLARE FOTOVOLTAICO

- 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 kWp per una potenza complessiva di circa 12 kWp
- Produzione energetica annua paria a 16.897 kW/h
- Unico inverter (12 kW dc/ac) locale adiacente alla cabina elettrica

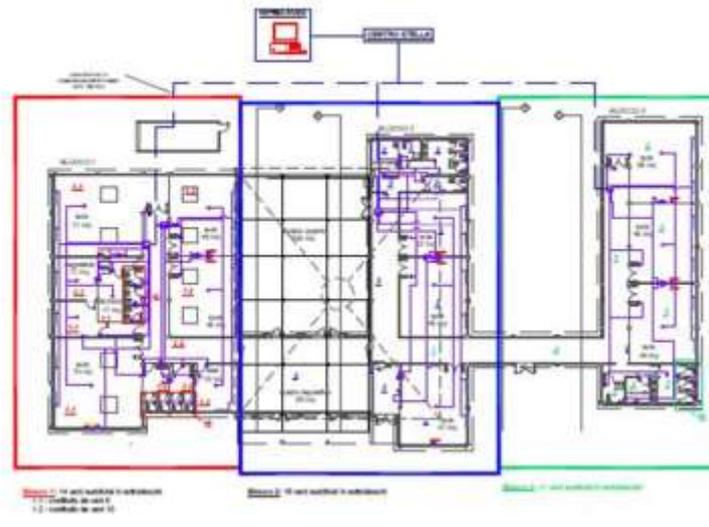
BEMS

- 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 → 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**

The ENEA logo features the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font. To the left of the text is a stylized graphic of a sun or starburst with a bright yellow center and a red and orange glow, set against a dark blue background with a grid pattern.

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Accordo di Programma MiSE-ENEA 2012-2014



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Grazie per l'attenzione

arch. Carlo Romeo - ENEA, UTEE

prof. Fabrizio Cumo - Università di Roma Sapienza, CITERA

Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Architettura

A decorative graphic in the bottom right corner consisting of a grid of light blue squares of varying sizes, arranged in a pattern that tapers to the right.