

Scuola Primaria "Pier delle Vigne"

Città di Caiazzo (CE)



Riqualficazione energetica (NZEB) dell'edificio con Partenariato Pubblico Privato (PPP)

Proponente	 RIESCO SPA Grosseto		
Oggetto	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO – ECONOMICA		Anno 2024
Documento	02_RELAZIONE TECNICA		

Data	Revisione N°	Descrizione	Approvato	Firma
	03			
	02			
31/10/24	01			

1 PREMESSA

Questo progetto di fattibilità tecnico-economica mira a riqualificare energeticamente la Scuola Primaria "Pier delle Vigne", con l'obiettivo di convertirla in NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ossia un edificio ad energia quasi zero.

I lavori necessari per poter raggiungere tale obiettivo sono i seguenti:

1. Coibentazione esterna delle superfici opache verticali (trasmissione limite:

$$U < U_{lim} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K};$$

2. Coibentazione esterna della copertura (trasmissione limite: $U < U_{lim} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$);

3. Coibentazione del pavimento (trasmissione limite: $U < U_{lim} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$);

4. Sostituzione delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi con serramenti a doppio/triplo vetro con intercapedine aria/gas e con telaio in PVC (trasmissione limite:

$$U < U_{lim} = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K};$$

5. Installazione di sistemi di schermatura mobile esterna sugli infissi;
6. Sostituzione della caldaia con un pompa di calore di potenza equivalente;
7. Relamping con LED (Light Emitting Diode) ad alta efficienza, per i sistemi di illuminazione interni e delle pertinenze esterne;
8. Installazione di impianto fotovoltaico da 44+27 kW per autoconsumo di energia elettrica.

Per rendere l'intervento a costo quasi zero per l'Amministrazione Comunale è possibile ricorrere a due strumenti:

1. **Conto Termico 2.0:** Incentivo concesso nella misura del 100% delle spese ammissibili in quanto interventi di riqualificazione su edifici scolastici. La misura dell'incentivo è pari a 575 €/m² fino ad un massimo di 1.750.000,00 € ottenibili
2. **Fondo Nazionale Efficienza Energetica:** con finanziamento a tasso agevolato dello 0,25% ottenibile dalle PA nella misura del 60% delle spese ammissibili e della durata massima di 15 anni.

I due strumenti presentano benefici cumulabili che andrebbero a coprire il 100% della spesa da sostenere da parte dell'Amministrazione Comunale, con impatto zero sul Bilancio della PA poiché la rata del finanziamento agevolato è autofinanziata dai risparmi ottenuti grazie alla riqualificazione dell'edificio.

2 INQUADRAMENTO DEI LUOGHI OGGETTO D'INTERVENTO

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare gli interventi, elencati in premessa, dal punto di vista tecnico-specialistico.

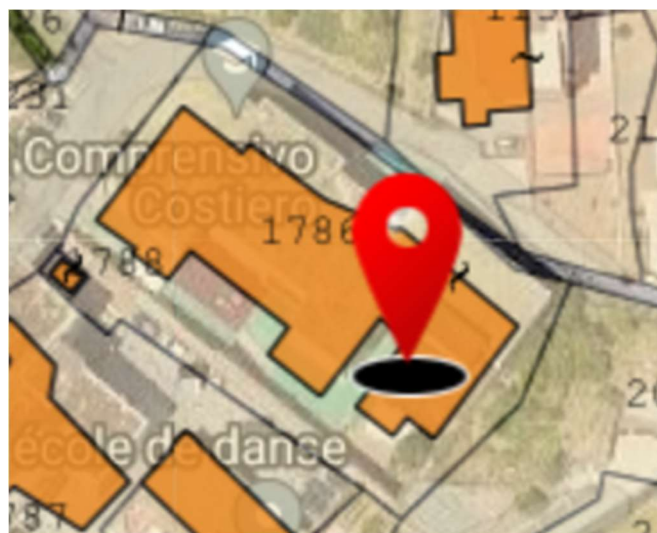
L'edificio in esame si trova nel Comune di Caiazzo (CE), in zona climatica D.

Si riporta di seguito l'inquadramento generale dei luoghi oggetto d'intervento.



Figura 1. Scuola Primaria "Pier delle Vigne", Caiazzo (CE). Inquadramento generale.

L'edificio, di proprietà del Comune di Caiazzo, è identificato catastalmente al foglio n.7, particella n.1786 con categoria catastale B/05



3 COIBENTAZIONE DELLE SUPERFICI OPACHE VERTICALI

Per rendere l'edificio NZEB è necessario operare la coibentazione delle superfici opache dell'edificio in modo tale da ridurre le dispersioni verso l'esterno così come il fabbisogno di energia termica dell'edificio.

Per le superfici opache verticali è necessario raggiungere una trasmittanza

$U < U_{lim} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ calcolata secondo la UNI EN ISO 6946.

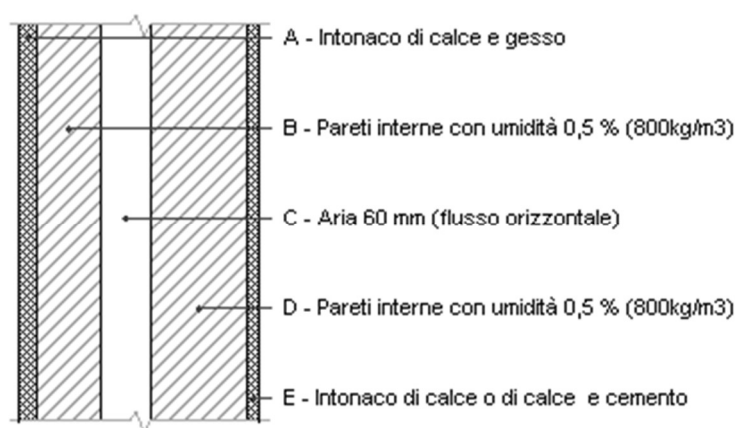
Si prevede la riduzione di **oltre il 65% delle dispersioni termiche** attraverso le superfici oggetto d'intervento garantendo migliore *comfort* degli occupanti e riduzione del fabbisogno energetico in regime estivo ed invernale.

Per eseguire i lavori è necessario preparare la superficie alla posa dello strato materiale isolante rasando l'intonaco e rimuovendo, dove presenti, i mattoncini di copertura della facciata. Dopo la posa del materiale isolante, si procederà con l'applicazione di un nuovo strato di intonaco.

L'isolante scelto per i calcoli di trasmittanza presenta una conducibilità $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$ ed uno spessore di 100 mm . L'isolante identificato in fase di realizzazione dovrà avere caratteristiche equivalenti a quelle individuate e dovrà rispettare i principi CAM (Criteri Ambientali Minimi). Inoltre, dalla stratigrafia post-intervento dovrà risultare una trasmittanza $U < U_{lim} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Di seguito si riportano le stratigrafie per lo stato *ex-ante* ed *ex-post*.

Superfici opache verticali ANTE



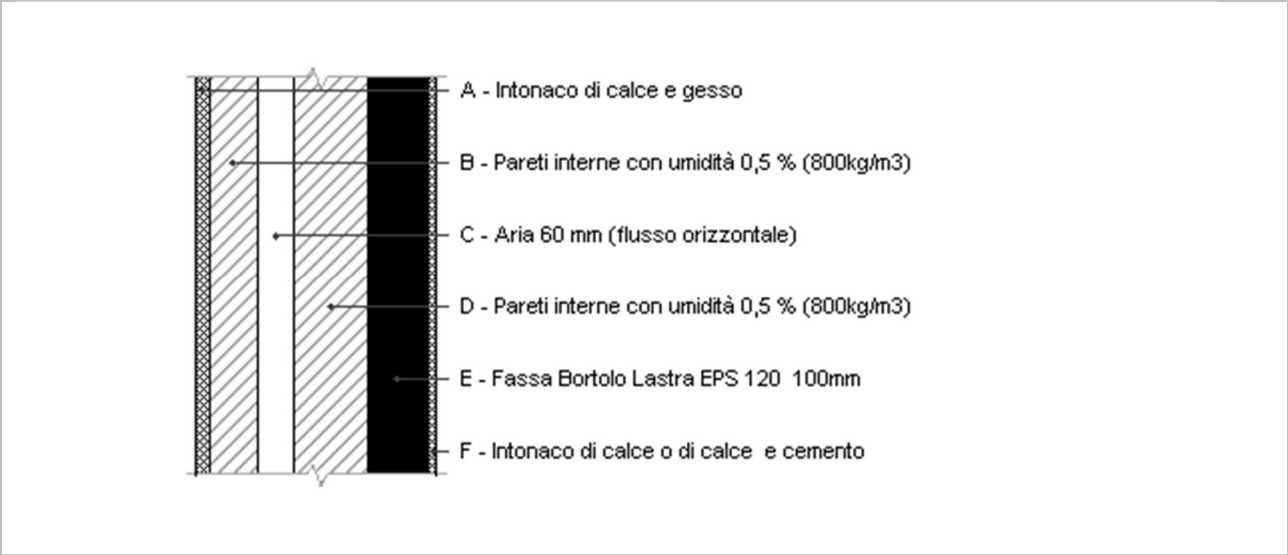
Spessore	295,0 mm	Trasmittanza	0,940 W/m ² K
Resistenza	1,064 m ² K/W	Massa superf.	160 kg/m ²
Tipologia	Parete		
Descrizione	Spessore variabile tra 30 e 36 cm in funzione dell'intercapedine		

* Copia conforme all'originale * COMUNE DI CAIAZZO n.0018057 del 13-11-2024 - arrivo

Stratigrafia

	Descrizione	Spess ore s	Condut tività λ	Resist enza R	Densità ρ	Capacit à C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Intonaco di calce e gesso	20,0	0,700	0,029	1.400	0,84	11,1
B	Pareti interne con umidità 0,5 % (800kg/m3)	80,0	0,300	0,267	800	0,84	5,6
C	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	60,0	0,330	0,182	1	1,00	1,0
D	Pareti interne con umidità 0,5 % (800kg/m3)	120,0	0,300	0,400	800	0,84	5,6
E	Intonaco di calce o di calce e cemento	15,0	0,900	0,017	1.800	0,84	16,7
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	295,0		1,064			

Superfici opache verticali POST



Spessore	395,0 mm	Trasmittanza	0,250 W/m²K
Resistenza	4,005 m²K/W	Massa superf.	162 kg/m²
Tipologia	Parete		
Descrizione	Spessore variabile tra 30 e 36 cm in funzione dell'intercapedine		

Stratigrafia

	Descrizione	Spess ore s	Condut tività λ	Resist enza R	Densità ρ	Capacità C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Intonaco di calce e gesso	20,0	0,700	0,029	1.400	0,84	11,1
B	Pareti interne con umidità 0,5 % (800kg/m³)	80,0	0,300	0,267	800	0,84	5,6
C	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	60,0	0,330	0,182	1	1,00	1,0
D	Pareti interne con umidità 0,5 % (800kg/m³)	120,0	0,300	0,400	800	0,84	5,6
E	Fassa Bortolo Lastra EPS 100mm	100,0	0,034	2,941	21	1,45	50,0
F	Intonaco di calce o di calce e cemento	15,0	0,900	0,017	1.800	0,84	16,7
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	395,0		4,005			

4 COIBENTAZIONE DELLA COPERTURA

Per rendere l'edificio NZEB è necessario operare la coibentazione delle superfici opache dell'edificio in modo tale da ridurre le dispersioni verso l'esterno così come il fabbisogno di energia termico dell'edificio.

Per la copertura è necessario raggiungere una trasmittanza termica: $U < U_{lim} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ calcolata secondo la UNI EN ISO 6946.

Si prevede la riduzione di **oltre il 75% delle dispersioni** attraverso le superfici oggetto d'intervento garantendo migliore *comfort* degli occupanti e riduzione del fabbisogno energetico in regime estivo ed invernale.

Per eseguire il lavoro si realizzerà una regolarizzazione del manto di copertura esistente con rimozione degli ostacoli e "livellamento" della guaina di copertura. Successivamente verrà posato il materiale isolante e ricoperto con un ulteriore strato di guaina impermeabilizzante.

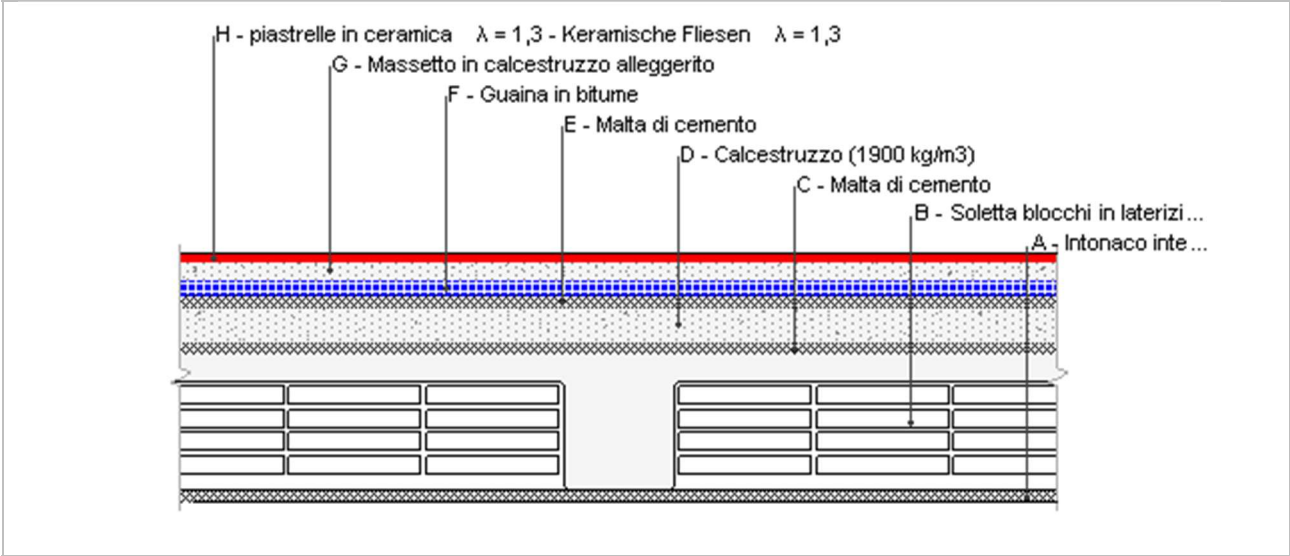
L'isolante scelto per i calcoli di trasmittanza ha una conducibilità $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ ed uno spessore di 120 mm. L'isolante identificato in fase di realizzazione dovrà avere caratteristiche equivalenti a quelle individuate e dovrà rispettare i principi CAM (Criteri Ambientali Minimi).

Inoltre, la stratigrafia post-intervento dovrà presentare una trasmittanza di

$$U < U_{lim} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Di seguito si riportano le stratigrafie per lo stato *ex-ante* ed *ex-post*.

Superfici opache orizzontali ANTE

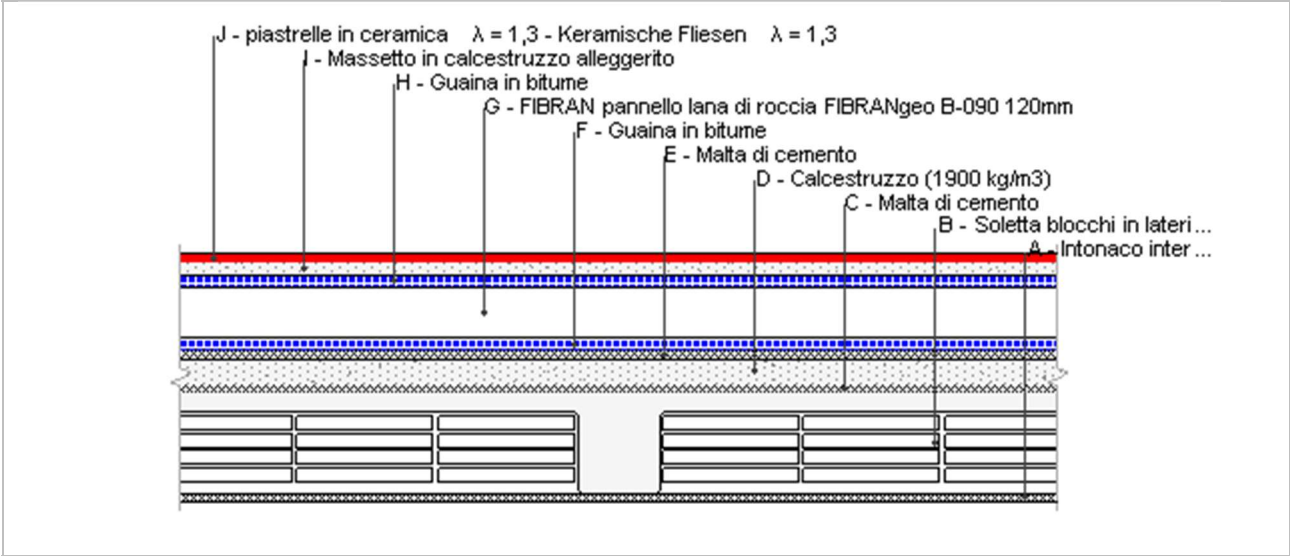


Spessore	435,0 mm	Trasmittanza	1,220 W/m ² K
Resistenza	0,820 m ² K/W	Massa superf.	529 kg/m ²
Tipologia	Copertura		

Stratigrafia

	Descrizione	Spess ore s	Condut tività λ	Resist enza R	Densità ρ	Capacit à C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m ² K/W	Kg/m ³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,100	-	-	-
A	Intonaco interno	20,0	0,700	0,029	1.400	1,00	11,1
B	Soletta blocchi in laterizio+travetti in cls (R=0,350m2K/W)	240,0	0,686	0,350	900	1,00	999.999,0
C	Malta di cemento	20,0	1,400	0,014	2.000	1,00	16,7
D	Calcestruzzo (1900 kg/m3)	60,0	1,060	0,057	1.900	0,88	3,3
E	Malta di cemento	20,0	1,400	0,014	2.000	0,84	16,7
F	Guaina in bitume	30,0	0,170	0,176	1.200	0,92	22.222,2
G	Massetto in calcestruzzo alleggerito	30,0	1,080	0,028	1.600	1,00	3,3
H	piastrelle in ceramica $\lambda = 1,3$ - Keramische Fliesen $\lambda = 1,3$	15,0	1,300	0,012	2.300	0,84	150,0
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	435,0		0,820			

Superfici opache orizzontali POST



Spessore	590,0 mm	Trasmittanza	0,216 W/m ² K
Resistenza	4,636 m ² K/W	Massa superf.	587 kg/m ²
Tipologia	Copertura		

Stratigrafia

	Descrizione	Spessore s mm	Conducibilità λ W/(mK)	Resistenza R m ² K/W	Densità ρ Kg/m ³	Capacità C kJ/(kgK)	Fattore μ
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,100	-	-	-
A	Intonaco interno	20,0	0,700	0,029	1.400	1,00	11,1
B	Soletta blocchi in laterizio+travetti in cls (R=0,350m2K/W)	240,0	0,686	0,350	900	1,00	999.999,0
C	Malta di cemento	20,0	1,400	0,014	2.000	1,00	16,7
D	Calcestruzzo (1900 kg/m3)	60,0	1,060	0,057	1.900	0,88	3,3
E	Malta di cemento	20,0	1,400	0,014	2.000	0,84	16,7
F	Guaina in bitume	30,0	0,170	0,176	1.200	0,92	22.222,2
G	FIBRAN pannello lana di roccia FIBRANgeo B-090 120mm	120,0	0,033	3,636	90	1,03	1,0
H	Guaina in bitume	30,0	0,170	0,176	1.200	0,92	22.222,2
I	Massetto in calcestruzzo alleggerito	30,0	1,080	0,028	1.600	1,00	3,3
J	piastrelle in ceramica λ = 1,3 - Keramische Fliesen λ = 1,3	20,0	1,300	0,015	2.300	0,84	150,0
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	590,0		4,636			

5 COIBENTAZIONE DEL PAVIMENTO

Per rendere l'edificio NZEB è necessario operare la coibentazione delle superfici opache dell'edificio in modo tale da ridurre le dispersioni verso l'esterno così come il fabbisogno di energia termica dell'edificio.

Per i pavimenti è necessario raggiungere una trasmittanza $U < U_{lim} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ calcolata secondo la UNI EN ISO 6946.

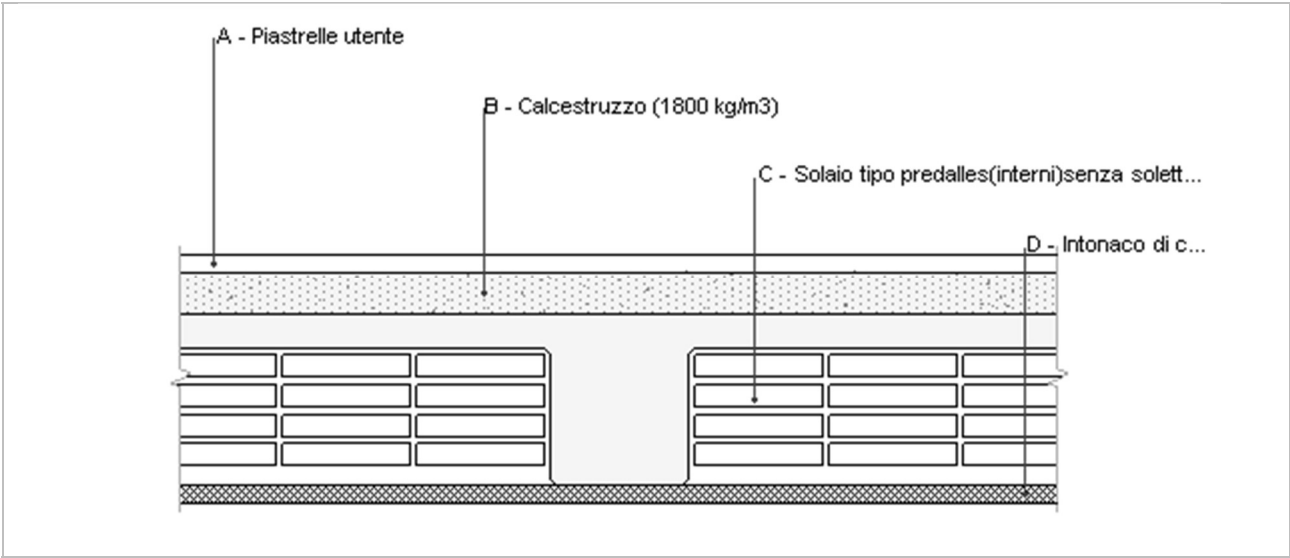
Si prevede la riduzione di **oltre il 75% delle dispersioni** attraverso le superfici oggetto d'intervento garantendo migliore confort degli occupanti e riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione.

Non è necessario eseguire la coibentazione di tutto il pavimento, vista anche la difficoltà di realizzazione sia a livello tecnico, che economico che di sicurezza. Si procede alla realizzazione di coibentazione solamente nella zona della palestra e dell'atrio in corrispondenza, quindi, delle zone controterra per il primo piano. Non si esegue alcuna coibentazione sul pavimento controterra del seminterrato per i motivi sopra citati.

L'isolante scelto per i calcoli di trasmittanza ha una conducibilità $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ ed uno spessore di 110 mm. L'isolante identificato in fase di realizzazione dovrà avere caratteristiche equivalenti a quelle individuate e dovrà rispettare i principi CAM. Inoltre, dalla stratigrafia post-intervento dovrà risultare una trasmittanza $U < U_{lim} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Di seguito si riportano le stratigrafie ANTE e POST intervento.

Solaio ANTE intervento



Spessore	290,0 mm	Trasmittanza	1,481 W/m²K
Resistenza	0,675 m²K/W	Massa superf.	486 kg/m²
Tipologia	Pavimento		

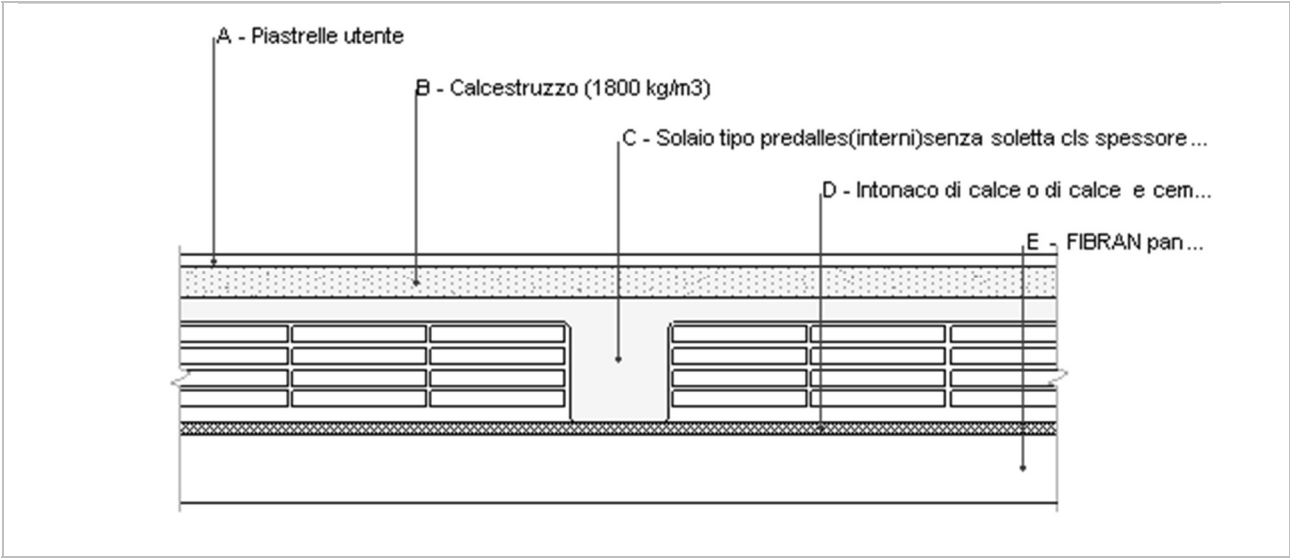
* Copia conforme all'originale * COMUNE DI CALIAZZO n.0018057 del 13-11-2024 - arrivo

Descrizione

Stratigrafia

	Descrizione	Spessore s	Conduc- tività λ	Resisten- za R	Densità ρ	Capacità C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
A	Piastrelle utente	20,0	0,580	0,034	1.800	0,85	3,2
B	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	50,0	0,940	0,053	1.800	0,88	3,3
C	Solaio tipo predalles(interni)senza soletta cls spessore 320 flusso ascendente	200,0	0,889	0,225	1.800	1,00	0,0
D	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,900	0,022	1.800	0,84	16,7
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
	TOTALE	290,0		0,675			

Solaio POST intervento



Spessore	400,0 mm	Trasmittanza	0,262 W/m²K
Resistenza	3,818 m²K/W	Massa superf.	489 kg/m²
Tipologia	Pavimento		
Descrizione			

Stratigrafia

* Copia conforme all'originale * COMUNE DI CAIAZZO n.0018057 del 13-11-2024 - arrivo

	Descrizione	Spess ore s	Condut tività λ	Resist enza R	Densità ρ	Capacit à C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
A	Piastrelle utente	20,0	0,580	0,034	1.800	0,85	3,2
B	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	50,0	0,940	0,053	1.800	0,88	3,3
C	Solaio tipo predalles(interni)senza soletta cls spessore 320 flusso ascendente	200,0	0,889	0,225	1.800	1,00	0,0
D	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,900	0,022	1.800	0,84	16,7
E	FIBRAN pannello polistirene estruso FIBRANxps-L 100mm	110,0	0,035	3,143	30	1,45	100,0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
	TOTALE	400,0		3,818			

6 SOSTITUZIONE DELLE CHIUSURE TRASPARENTI COMPRENSIVE DEGLI INFISSI

Sempre al fine di rendere l'edificio NZEB è necessario operare la sostituzione delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi.

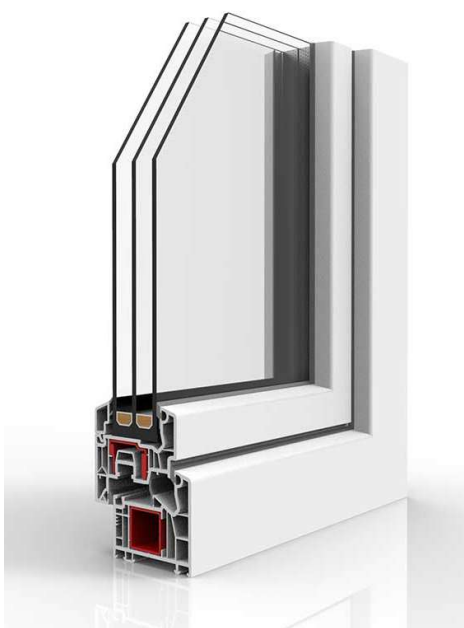
Gli infissi attuali hanno un telaio in legno con singolo vetro dallo spessore di 5 mm. Le caratteristiche tecniche degli infissi e serramenti non garantiscono un elevato coefficiente di isolamento termico ed aumentano le dispersioni verso l'esterno aumentando il fabbisogno di energia termica per garantire un corretto *comfort* per gli occupanti.

La sostituzione dei sistemi di chiusura con nuovi modelli con trasmittanza termica pari a $U < U_{lim} = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$, in conformità ai valori limite indicati dall'Allegato E del D.M. 06/08/2020 e dalle regole applicative del Conto Termico 2.0, calcolata secondo la norma UNI EN ISO 10077-1, consentirà una riduzione delle dispersioni termiche attraverso le superfici vetrate di oltre il 50% rispetto alla situazione attuale.

I nuovi elementi avranno un telaio in PVC con doppio o triplo vetro con intercapedine a gas argon in modo tale da garantire un elevato coefficiente di isolamento termico.

La tipologia di serramento può subire modifiche in fase di progettazione esecutiva a seconda della ditta individuata per la fornitura e per le specifiche presenti sul mercato al momento dell'acquisto. Il parametro fondamentale da rispettare è il valore della trasmittanza totale della superficie, inferiore a $U < U_{lim} = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Il suddetto valore sarà certificato dal produttore in fase di acquisto e verificato con la scheda tecnica del serramento *as-built*.



7 INSTALLAZIONE SCHERMATURE MOBILI

Per rispettare la verifica NZEB dell'edificio è necessario rispettare il limite sul fabbisogno di energia per la climatizzazione estiva riguardante l'involucro dell'edificio. Un altro fattore importante in questo calcolo è giocato dalla presenza di schermature agli infissi per ridurre il carico esogeno (solare) in ingresso all'edificio che costituisce un afflusso termico importante da abbattere per il raffrescamento estivo.



È prevista l'installazione di schermature solari mobili esterne, che potrebbero essere dotate anche di motorizzazione (e.g. "Tapparelle") su tutte le chiusure trasparenti oggetto di sostituzione. In questo modo la verifica risulta correttamente adempiuta dal punto di vista normativo.

8 INSTALLAZIONE DELLA POMPA DI CALORE

L'impianto di climatizzazione della scuola è formato da una caldaia con bruciatore Baltur dalla potenza di 280 kW termici. La distribuzione del fluido termovettore avviene mediante tubazioni coibentate insufficientemente, mentre il sistema di emissione del calore è composto prevalentemente da ventilconvettore con qualche radiatore.

Non è presente un sistema di raffrescamento estivo.

Si prevede la sostituzione della caldaia con una pompa di calore di potenza 135 kW esclusivamente per il riscaldamento in regime invernale della scuola.

Saranno sostituiti i ventilconvettori presenti con modelli più recenti ed efficienti.

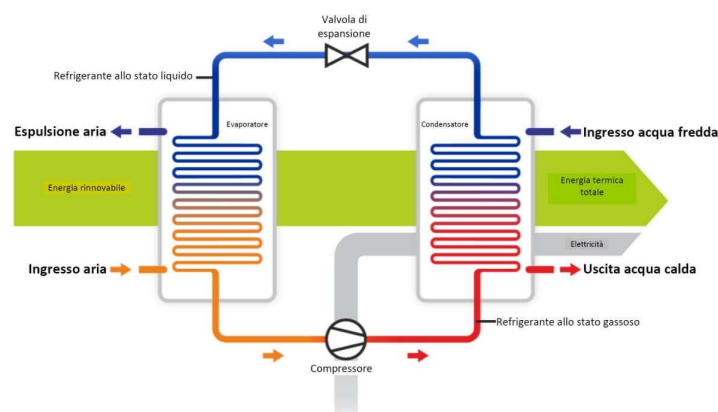
La pompa di calore avrà un rendimento COP (*Coefficient Of Performance*) non inferiore a 4,1 come richiesto da normativa Conto Termico 2.0 ed utilizzerà gas refrigerante R32. Esso garantisce alte prestazioni rispetto al gas R410A nonché un potenziale di riscaldamento globale inferiore (*Global Warming Potential GWP* = 675 contro il *GWP* = 2.087,5 del gas R410A) a

parità di potenziale d'impoverimento dell'ozono (*Ozone Depletion Potential ODP* = 0).



La PdC è caratterizzata da due circuiti separati con due compressori *scroll* ciascuno (4 in totale) per una gestione ottimizzata della produzione del calore allungando la vita dei compressori stessi e modulando il carico fino al 25% senza incidere in modo negativo sui coefficienti di prestazione.

Il refrigerante viene fatto evaporare prelevando calore dalla sorgente fredda, viene compresso fino alla pressione di condensazione utilizzando energia elettrica e rilascia calore al fluido termovettore condensando e garantendo un incremento di temperatura di 5°C (tipicamente, da 40°C a 45°C in funzionamento invernale). Una volta tornato allo stato liquido, una valvola di laminazione riporta il refrigerante alla pressione di evaporazione mediante una trasformazione isoentalpica.



La posa avverrà mediante opportuno mezzo e la PdC poggerà su 6/8 piedi antivibranti a molla per la riduzione delle vibrazioni generate dai compressori e dagli altri organi in movimento.

Le tubazioni di mandata e di ritorno da/alla PdC saranno collegate ad un accumulo inerziale dal volume di 1.500 L con isolamento esterno con lo scopo di ottimizzare il funzionamento della PdC evitando continui *start* e *stop* che ne compromettono il rendimento e la vita dei compressori.

La pompa di calore deve prevedere un'interfaccia *ModBus* montata a bordo macchina attraverso

la quale poter acquisire i registri e comunicare con i circuiti sia in scrittura che in lettura dei dati d'interesse.

Si prevede, inoltre, il rifacimento della centrale termica in modo tale da adattare il sistema di distribuzione al nuovo generatore ottimizzando la funzionalità del sistema e razionalizzando l'impianto dove necessario.

Saranno sostituiti gli accessori facenti parte del sistema impiantistico che sono ormai obsoleti dal punto di vista tecnologico e/o non permettono l'integrazione con il sistema gestionale che sarà installato.

In particolare, si prevede:

1. Rimozione, trasporto e smaltimento: di tutte le tubazioni presenti in centrale termica compreso isolamento termico e collettori di distribuzione; delle pompe di circolazione per la distribuzione di energia alle utenze;
2. Installazione (ove necessario) di: tubazioni di diametro opportuno secondo il progetto dell'impianto; nuove pompe di circolazione; nuovi collettori di distribuzione; nuovo accumulo per la PdC;
3. Isolamento con guaina in elastomero delle tubazioni e rivestimento con lamierino d'alluminio per le tubazioni esterne e con PVC per le tubazioni interne.

9 IMPIANTO SOLARE TERMICO

Si prevede l'installazione di un impianto solare termico composta da n.2 collettori solari a tubi sottovuoto formati da 21 tubi. (Es. Marca SUNWOOD modello HP CPC 21)

L'utilizzo di questa tecnologia permette di avere un rendimento ottimale durante tutto l'arco dell'anno, garantendo una produzione di calore costante e meno influenzata dalla temperatura esterna, come nel caso dei pannelli solari piani vetrati.



L'impianto sarà dotato di un accumulo dal volume di 800 litri e di una stazione solare composta da una pompa di circolazione ed una centralina di gestione che ottimizza il funzionamento del sistema.

Ciascun collettore è dotato di telaio per un'ideale installazione su superficie piana. I pannelli saranno installati sulla copertura, a idonea distanza dai pannelli fotovoltaici.

Le tubazioni del circuito solare termico saranno fatte in rame ed opportunamente coibentate; il circuito sarà caricato con acqua e glicole, in frazione pari al 25% del volume totale, in modo tale da garantire un abbassamento del punto di congelamento sotto i -15°C ed alzare la temperatura di ebollizione del fluido nel caso estivo prevenendo la formazione di ghiaccio e vapore. A valle della stazione solare le tubazioni saranno in acciaio.

Il serbatoio di accumulo sarà composto di due serpentine, una a cui sarà collegato il solare termico, l'altra alla quale sarà collegata la nuova pompa di calore. L'azione di riscaldamento dei pannelli solari termici contribuirà a ridurre notevolmente il tempo di funzionamento della pompa di calore per il servizio di acqua calda sanitaria.

Il calore prodotto dall'impianto solare sarà in priorità rispetto a quello prodotto dagli altri

generatori ed il tutto sarà domandato dal sistema gestionale installato.

10 RELAMPING CON LED


Si andrà ad effettuare la sostituzione, generalmente con rapporto uno ad uno, della quasi totalità dei corpi illuminanti dei locali interni della struttura con nuove lampade a tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) ad alta efficienza e con ottiche che permettono la più adatta distribuzione della luce emessa in base alla geometria dei locali.

Si riportano nei paragrafi successivi i criteri illuminotecnici utilizzati per valutare le sostituzioni dei corpi illuminanti secondo le normative:

- UNI 12464-1 per le zone di lavoro interne;

È possibile prevedere anche un sistema di monitoraggio, mediante contatori elettronici, grazie al quale è possibile tenere sotto controllo i dati sui consumi energetici generali di tutta la linea dell'illuminazione.

Il sistema si occupa anche del trasferimento dei dati sui consumi raccolti mediante la rete dati. L'illuminazione dello stato di fatto è effettuato mediante lampade fluorescenti prevalentemente della tipologia 1x58 W e 2x58 W. Si prevede una sostituzione puntuale con lampade LED ad alta efficienza simili a quella riportata nella tabella seguente.

Tipologia	Efficienza	Immagine
Plafoniera Stagna	34W – 188 lm/W	

Si ottiene quindi il risparmio di almeno il 40% rispetto alla tecnologia attuale.

11 IMPIANTO GESTIONALE (BACS)

Si prevede la messa in opera di un sistema di misura, monitoraggio, controllo e gestione dell'impianto installato in modo tale da ottimizzare il funzionamento di tutti i componenti e garantire un utilizzo efficiente dell'energia unitamente ad una riduzione dei consumi energetici. Per garantire i risparmi conseguiti, saranno installati una serie di strumenti di monitoraggio.

- Misura diretta di Energia elettrica assorbita dalla pompa di calore
- Misura diretta di energia termica erogata in caldo ed in freddo dalla Pompa di Calore;
- Misura diretta di energia termica erogata dal solare termico;
- Misura diretta di Energia elettrica assorbita dall'impianto di illuminazione (la misura potrà essere fatta a campione su un sottoinsieme rappresentativo del totale dei corpi oggetto di intervento).

L'energia risparmiata grazie all'isolamento delle strutture opache e trasparenti dell'edificio direzionale sarà quantificata tramite diagnosi energetica e sarà verificabile indirettamente mediante la riduzione dell'energia termica richiesta dell'edificio a parità di utilizzo e condizioni esterne.

In accordo con la normativa UNI EN 15232, i sistemi di building automation control system (BACS) garantiscono un risparmio di energia del 15% - 20%.

L'impianto di gestione è formato da un quadro di automazione dove è presente il controllore che acquisisce gli input ed elabora gli output grazie ad una logica di gestione predeterminata e costruita ad hoc.

I punti da cui è composto sono eventualmente i seguenti:

- Termometri a sonda, posati in opportuni pozzetti, per la misurazione della temperatura in vari punti del sistema;
- Pompe di circolazione da cui è necessario acquisire il segnale di allarme e comandare gli on/off programmati sulla base degli input acquisiti ed orari impostati. Gli allarmi sono ingressi digitali.
- Sonde radio per la misurazione della temperatura ambiente per effettuare un controllo termostatico di zona.
- Contatori volumetrici di energia termica completi di una coppia di sonde a pozzetto. Ciascun contatore sarà collegato ad un integratore M-Bus e collegati, in serie, al quadro di automazione.
- Contatori di energia elettrica per la contabilizzazione dell'energia assorbita dalle linee dell'illuminazione, dalla pompa di calore, dagli ausiliari e dell'energia prodotta dal fotovoltaico. I contatori hanno protocollo di comunicazione ModBus RTU.
- Uscite digitali provenienti dalla pompa di calore: il comando On/Off e la commutazione estate inverno.

- Punto di collegamento ModBus RTU per l'acquisizione del registro ModBus della pompa di calore e la visualizzazione e la gestione dei parametri di tale registro.

12 IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 71,28 kWp

Attualmente sulla copertura piana dell'edificio è presente un impianto fotovoltaico costituito da 20 file da 6 moduli cadauna con disposizione verticale, per un totale di 120.

Al fine di massimizzare la produzione di energia elettrica, è stato deciso di sostituire i suddetti elementi con nuovi moduli fotovoltaici caratterizzati ciascuno da una potenza di picco più elevata, del tipo *LONGi Solar Hi-Mo 6 LR5-54HTH* da 440 *Wp* (o equivalenti). Inoltre, per ottimizzare lo spazio a disposizione sul tetto, è stato valutato un ampliamento dell'impianto a fonte rinnovabile: sono stati aggiunti 32 ulteriori moduli fotovoltaici. La disposizione scelta è quella orizzontale.

Si ottiene così un campo fotovoltaico di potenza elettrica di picco pari a 71,28 *kWp*, composto da due sezioni, ciascuna gestita da un *inverter* differente: la prima, formata da un totale di 62 moduli, avrà una potenza elettrica di picco pari circa a 27,6 *kWp*, equipaggiata con un *inverter* della *Sungrow* da 30 *kW*, mantenendo la capacità dell'attuale impianto; la seconda, costituita da 100 moduli, incrementerà la capacità di ulteriori 44 *kWp* e sarà controllata da un *inverter* della *Sungrow* da 50 *kW*.

Il sistema sarà collegato all'unico POD a bassa tensione della scuola. Sarà necessario aumentare la capacità del POD per garantire una disponibilità di potenza almeno pari alla potenza nominale del fotovoltaico.

Sebbene l'impianto sarà realizzato su un edificio non soggetto a prevenzione incendi, saranno comunque adottate tutte le precauzioni necessarie, conformemente alle direttive dei Vigili del Fuoco.

1. Moduli fotovoltaici con classe di reazione al fuoco 1 (UNI 9177);
2. Mantenimento della distanza di sicurezza di 1 m tra moduli fotovoltaici e lucernari, evacuatori di fumo ed elementi di compartimentazione;
3. Protezione contro gli archi fotovoltaici interna agli Inverter;
4. Installazione degli inverter all'esterno della compartimentazione (sulla copertura);
5. Linee di alimentazione AC e cavi CC esterni alla compartimentazione;

6. I generatori saranno segnalati con apposita cartellonistica conforme al D. Lgs. 81/2008. La predetta cartellonistica dovrà riportare la seguente dicitura: "ATTENZIONE: IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN TENSIONE DURANTE LE ORE DIURNE (..... Volt)". La predetta segnaletica, resistente ai raggi ultravioletti, dovrà essere installata ogni 10 m per i tratti di condotta.
7. Il dispositivo di sezionamento di emergenza del fotovoltaico esistente agirà anche sul nuovo impianto fotovoltaico. I dispositivi di sezionamento di emergenza dovranno essere individuati con la segnaletica di sicurezza di cui al titolo V del D.Lgs.81/08.



12.1 Protezione contro sovracorrenti e sovraccarichi

Il progetto delle misure di protezione contro le sovracorrenti è stato eseguito considerando le possibili condizioni di sovraccarico e cortocircuito.

La protezione contro le correnti di sovraccarico è assicurata dal fatto che le correnti nominali degli interruttori automatici, riportate sugli schemi dei quadri elettrici, sono inferiori alle portate dei conduttori ad essi sottesi, ricavate dalla tabella IEC 364-5-523 per le varie condizioni di posa e per i vari tipi di isolamento (anch'essi indicati sugli schemi). In particolare, sono soddisfatte le relazioni definite nelle Norme CEI 64-8 art. 433.2:

$$\diamond I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$\diamond I_f \leq 1,45 I_z$$

Dove:

- I_b [A]: Corrente d'impiego del circuito;

- $I_n [A]$: Corrente nominale del dispositivo di protezione;
- $I_z[A]$: Portata massima in regime permanente della condotta (Sezione 523 della Norma 64-8);
- 1,45: sovraccarico del 45% ammesso per il tempo $t_c [s]$ (tempo convenzionale d'intervento delle protezioni)
- $I_f [A]$: Corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzione in condizioni definite.

12.2 Protezione contro corto circuito

La protezione contro le correnti di corto circuito è assicurata quando:

art. 434.3.1 Norme CEI 64-8: i dispositivi possiedono un potere di interruzione non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione. È tuttavia ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di installazione. In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle e dalle condutture protette da questi dispositivi (principio di filiazione).

Tutti i dispositivi di protezione in Bassa Tensione dovranno avere potere di interruzione o corrente di breve durata minimo superiore al valore della corrente di cortocircuito previsto nel punto di inserzione del quadro elettrico (si rimanda agli elaborati grafici allegati).

Art. 434.3.2 Norme CEI 64-8: *"tutte le correnti provocate da un corto circuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito devono essere interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura limite ammissibile"*.

Per il corto circuito di durata non superiore a 5 secondi, il tempo necessario affinché una data corrente di corto circuito porti i conduttori dalla temperatura massima ammissibile in servizio ordinario alla temperatura limite può essere calcolato, in prima approssimazione, con la formula:

$$\diamond I^2 t \leq k^2 S^2$$

Dove:

- t: durata [s];
- S: sezione del conduttore [mm²];
- K corrisponde al coefficiente relativo al tipo di cavo:
 - 115 per i conduttori in rame isolati con PVC/Termoplastici;

- 143 per i conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato;
- 74 per i conduttori in alluminio isolati con PVC;
- 87 per i conduttori in alluminio isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato;
- 115 corrispondente ad una temperatura di 160°C, per le giunzioni saldate a stagno tra conduttori in rame.

12.3 Verifica della caduta di tensione

La formula considerata per il calcolo della caduta di tensione è la seguente:

$$\diamond \Delta V = (L \times I_b \times \Delta U \times 100) / (400 \times 1000) \text{ [%]}$$

Si è considerato 400 V per i circuiti quadripolari e 230 V in luogo dei 400 V della formula per quelli bipolari;

- $L \text{ [m]}$ è la lunghezza del tratto di conduttura;
- $\Delta U \left[\frac{mV}{m}\right]$ è la caduta di tensione unitaria rintracciabile nella Tabella CEI-UNEL 35023-70;
- $I_b \text{ [A]}$ è la corrente di impiego espressa in Ampère.

Il calcolo, a favore della sicurezza, è stato condotto considerando tutto il carico in fondo alla linea quindi in realtà la caduta di tensione è minore rispetto a quella segnata negli schemi e nei fogli di verifica.

Secondo l'Art. 525 della Norma CEI 64-8/5, la caduta di tensione rispetto al punto di consegna dell'energia deve essere mantenuta **entro il 4%**. Questo valore, tuttavia, è limitato al **2%** per gli impianti fotovoltaici. Di conseguenza, i valori menzionati negli schemi unifilari e nei fogli di verifica rispettano tali limiti.

12.4 Cavi elettrici e cablaggi

Il cablaggio elettrico avverrà per mezzo di cavi con conduttori isolati in rame con le seguenti prescrizioni:

- Cavo solare di tipo *H1Z2Z2-K* per il collegamento dei moduli fotovoltaici;
- Cavo per energia isolato in PVC di tipo *FS17*, destinato all'installazione all'interno dei cavidotti di edifici;
- Tipo *FG16(O)R16* per i cavi in corrente alternata CA interrati o posati all'aperto.

Inoltre, i cavi saranno a norma CEI 20-13, CEI 20-22/II e CEI 20-37/I, marchiatura *I.M.Q.*, colorazione delle anime secondo norme UNEL.

Per non compromettere la sicurezza di chi opera sull'impianto durante la verifica o l'adeguamento o la manutenzione, i conduttori avranno la seguente colorazione:

- Conduttori di protezione: giallo-verde (obbligatorio)
- Conduttore di neutro: blu chiaro (obbligatorio)
- Conduttore di fase: nero/grigio/marrone
- Conduttore per circuiti in corrente continua C.C.: cavo positivo "+" in rosso, cavo negativo "-" in nero.

La sezione dei cavi per il collegamento dei moduli fotovoltaici sarà pari a 6 mm^2 . Con tali sezioni la caduta di potenziale viene contenuta entro il 2% del valore misurato da qualsiasi modulo posato al gruppo di conversione.

12.5 Protezione contro i contatti indiretti

Interruzione automatica dell'alimentazione

La protezione contro i contatti indiretti dovrà essere assicurata tramite interruzione automatica dell'alimentazione per mezzo di interruttori differenziali installati sui quadri di distribuzione opportunamente coordinati all'impianto di terra. Tutta la parte d'impianto, a monte dei primi interruttori differenziali, dovrà essere realizzata impiegando il doppio isolamento. Le caratteristiche del collegamento a terra del sistema sono specificate nel capitolo relativo all'impianto di terra.

Componenti di Classe II

In alternativa al coordinamento fra impianto di messa a terra e dispositivi di protezione attiva, la protezione contro i contatti indiretti può essere realizzata adottando macchine e apparecchi con isolamento doppio o rinforzato per costruzione o installazione: apparecchi di Classe II. In uno stesso impianto questo tipo di protezione può coesistere con la protezione mediante messa a terra. È vietato collegare intenzionalmente a terra le parti metalliche accessibili delle macchine, degli apparecchi e delle altre parti dell'impianto di Classe II. Nei vari punti dell'impianto le condizioni di protezione contro i contatti indiretti sono state verificate secondo quanto prescritto dalla Norma CEI 64-8 Art. 413.1.4.2

Riferimenti normativi

- Norma CEI 64-8 – Art. 413.1.4.2

La protezione contro i contatti indiretti è verificata positivamente quando è soddisfatta la condizione:

$$\diamond R_E \times I_{dn} \leq U_L$$

Dove:

- R_E [ohm] è la resistenza di terra del dispersore;
- I_{dn} [A] è la corrente differenziale nominale d'intervento;
- U_L = tensione di contatto limite convenzionale (50 V per ambienti ordinari; 25 V per ambienti particolari).

Per ottenere selettività con i dispositivi di protezione a corrente differenziale nei circuiti di distribuzione è ammesso un tempo di interruzione **non superiore a 1 s.**

12.6 Protezione contro i contatti diretti

Isolamento delle parti attive; tutte le parti che sono normalmente in tensione devono essere completamente ricoperte da un isolamento non rimovibile, se non per distruzione dello stesso, rispondente ai requisiti richiesti dalle norme di fabbricazione del relativo componente. L'isolamento deve resistere agli sforzi meccanici, elettrici e termici che possono manifestarsi durante il funzionamento. A tal proposito i componenti devono essere scelti solo se riportanti il marchio di qualità "IMQ", garanzia che assicura la corrispondenza dell'isolamento alle relative norme.

Protezione con involucri e barriere; gli involucri o le barriere delle parti attive devono assicurare un grado di protezione minimo maggiore di IP2X. Per le superfici superiori di involucri orizzontali a portata di mano è richiesto il grado di protezione minimo IP4X. L'apertura degli involucri esterni e la rimozione delle barriere sono soggette a determinate limitazioni, come l'uso di chiave o apposito attrezzo da parte di personale addestrato.

Interruttore differenziale; la norma CEI 64 - 8 consente l'uso dell'interruttore differenziale ad alta sensibilità come mezzo di protezione dai contatti diretti.

13 VERIFICA NZEB (NEARLY ZERO ENERGY BUILDING)








I requisiti da rispettare al fine di certificare un edificio come NZEB sono definiti dal D.M. 26/06/2015.

In particolare:

1. Tutti gli indici riportati di seguito, valutati in base ai valori dei requisiti minimi vigenti al 2021, devono risultare **inferiori** ai corrispondenti parametri calcolati per l'edificio di riferimento. Precisamente essi sono:
 - a. Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente: $H'_T \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$;
 - b. Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile: $\frac{A_{sol,est}}{A_{sup,utile}} [-]$;
 - c. L'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento: $EP_{H,nd} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
 - d. L'indice di prestazione termica utile per il raffrescamento: $EP_{C,nd} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$;
 - e. L'indice di prestazione energetica globale dell'edificio: $EP_{gl,tot} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
 - f. stagionali dell'impianto di climatizzazione invernale $\eta_H [-]$, dell'impianto di climatizzazione estiva $\eta_C [-]$ (compreso l'eventuale controllo dell'umidità) e dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria $\eta_W [-]$;
2. L'edificio deve garantire, tramite il ricorso ad impianti a fonti rinnovabili, il contemporaneo rispetto della copertura del 60% dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria e del 60% della somma dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili (Art. 26 del D.lgs. n. 199 dell'8 novembre 2021).

Attraverso la modellazione dello stato ex-post, includendo gli interventi descritti nella presente relazione, è stato possibile verificare la conformità ai parametri sopra menzionati.

Si riporta un estratto della verifica e, per ulteriori dettagli, si rimanda alla diagnosi energetica.

-  **Verifiche igrotermiche**
Verifica superata
-  **Coefficiente medio globale H'T**
Verifica superata
-  **Area solare estiva equivalente**
Verifica superata
-  **Formazione muffa ponti termici**
Verifica superata
-  **Indice di prestazione**
Verifica superata
-  **Efficienza media stagionale**
Verifica superata
-  **Dlgs 199/2021 rinnovabili**
Verifica superata