



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Progettare la riqualificazione energetica degli edifici storici

Strategie di intervento in edifici storici vincolati

BARI 19 ottobre 2023

Giulia Centi / DUEE-SPS-ESU



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Strategie di intervento in edifici storici vincolati

Argomenti che tratteremo

- Una proposta di procedura per la riduzione dei consumi di energia degli edifici storici.
- Principi fondamentali legati alla conservazione e tutela del bene
- Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica
 - Potenziali interventi
 - Schede intervento
 - Strategie oltre l'efficienza energetica




Principali documenti di riferimento

- **Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale**” pubblicate dal MiBACT - Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo.
- **Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Parco Archeologico dell'Appia Antica** redatte da ENEA.
- **UNI EN 16883:2017** - Conservazione dei beni culturali - Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici.

UNI EN 16883:2017

Fornisce **linee guida** per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici storici e una **procedura** per la scelta degli interventi più appropriati volti a raggiungere *‘un bilancio sostenibile tra l’uso dell’edificio, la sua prestazione energetica e la sua conservazione’*

NORMA EUROPEA	Conservazione dei beni culturali - Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici	UNI EN 16883
		GIUGNO 2017
	Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings	Versione italiana dell'aprile 2018
	<p>La presente norma europea fornisce linee guida per il miglioramento sostenibile della prestazione energetica degli edifici storici, come edifici notevoli dal punto di vista storico, architettonico o culturale, nel rispetto del loro significato di bene culturale. L'uso della presente norma non è limitato agli edifici ufficialmente designati come bene culturale, ma si applica agli edifici storici di ogni tipo ed età.</p> <p>La presente norma europea presenta una procedura normativa di lavoro per la scelta degli interventi migliorativi della prestazione energetica, basata sulla investigazione, sull'analisi e sulla documentazione dell'edificio, compreso il suo significato di bene culturale. La procedura valuta l'impatto di questi interventi in relazione alla conservazione degli elementi caratterizzanti l'edificio.</p>	
	TESTO ITALIANO	
	La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 16883 (edizione maggio 2017).	
	ICS 97.195; 91.120.10	
 ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE	© UNI Riproduzione vietata. Legge 22 aprile 1941 n° 633 e successivi aggiornamenti. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopia, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.	
UNI EN 16883:2017		Pagina 1

Procedura UNI EN 16883:2017

Il diagramma di flusso illustra il processo iterativo di valutazione e scelta sostenibile delle misure. Si può raggruppare in:

- Attività propedeutiche - punti 6, 7 e 8
- Attività di valutazione e scelta delle misure - punto 10

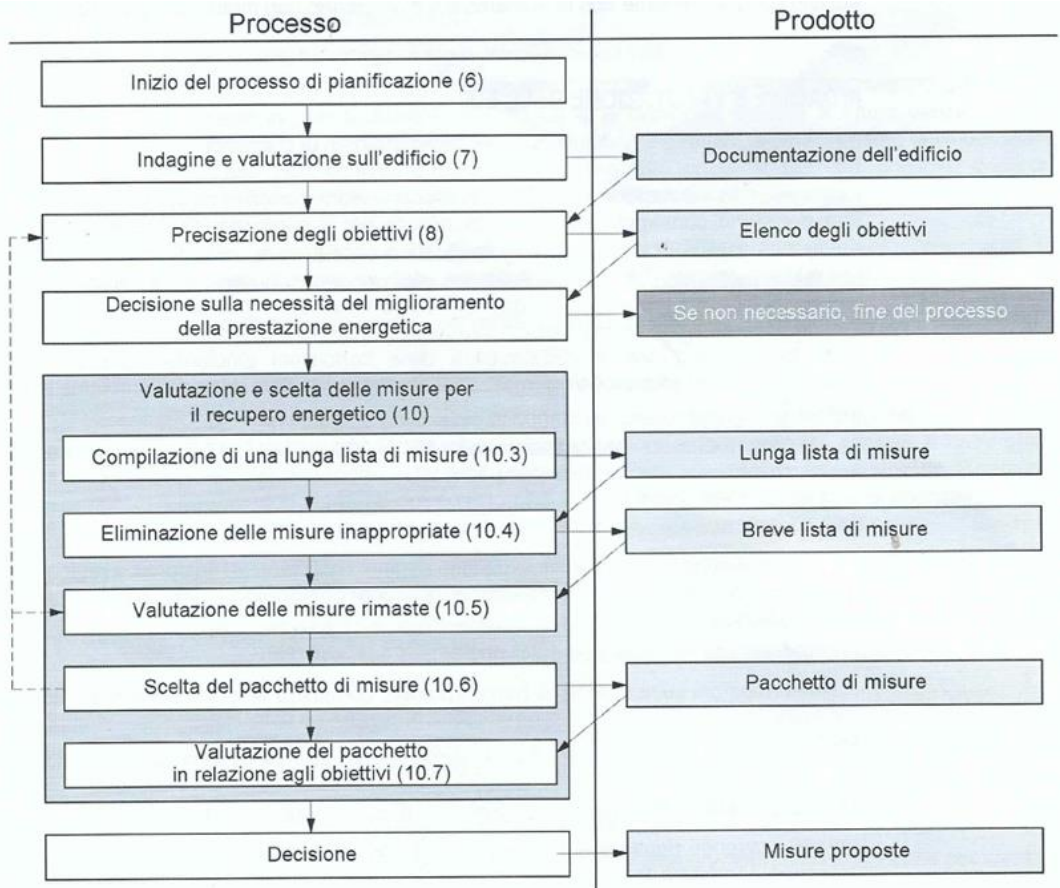
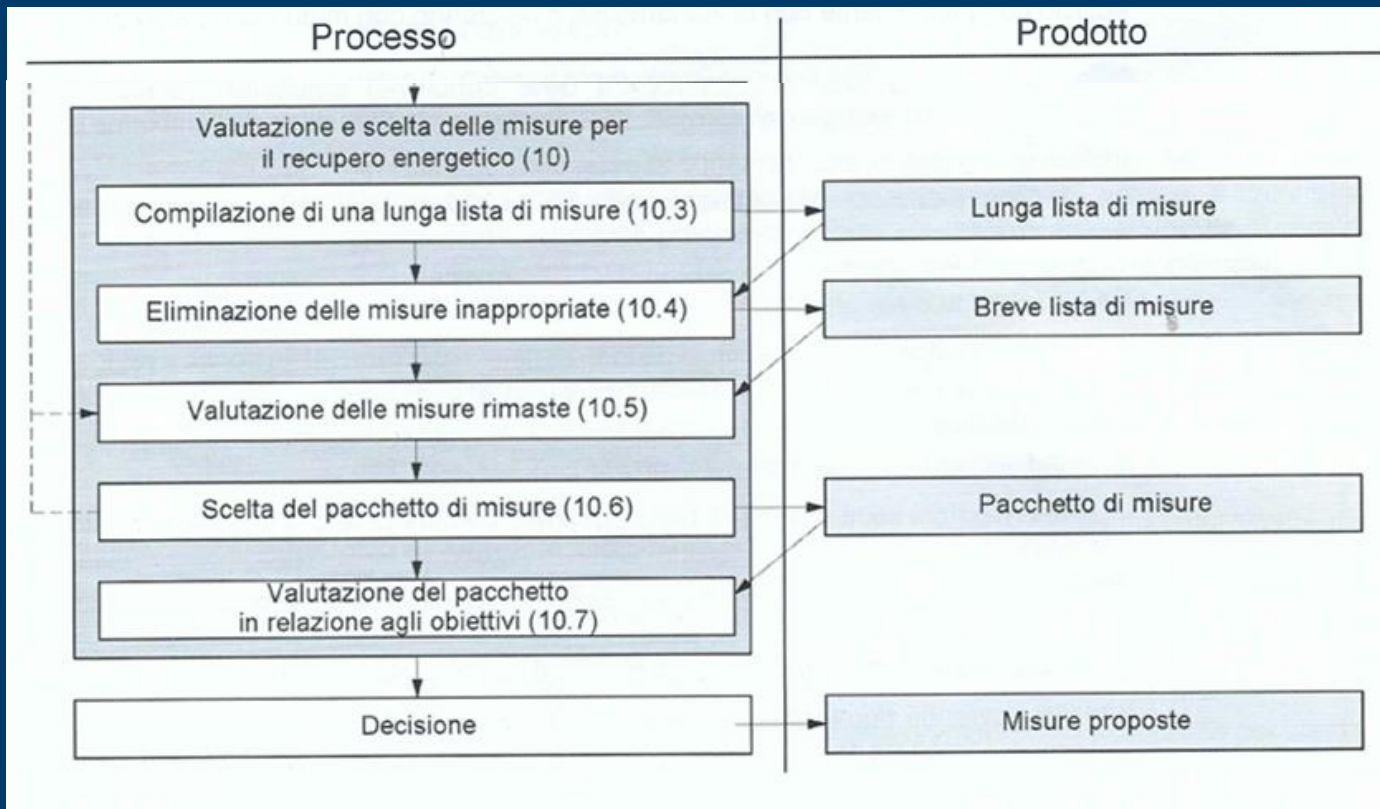


Diagramma di flusso Procedura UNI EN 16883:2017

Valutazione e scelta delle misure



10.3 misure di retrofit possibili per gli edifici storici

10.4 elenco possibili interventi per gli edifici di interesse

10.5 misure potenzialmente più adatte.

10.6 definizione dei pacchetti di misure con analisi energetica

10.7 rispondenza dei pacchetti di misure agli obiettivi prefissati

Principi fondamentali

I principi fondamentali legati alla conservazione e tutela del bene, da seguire nella definizione delle azioni di retrofit, sono definiti nelle linee di indirizzo del Mibact e nella UNI EN 16883:2017

- ✓ Visione olistica
- ✓ Non invasività
- ✓ Compatibilità tecnica
- ✓ Reversibilità
- ✓ Effetti che l'intervento può avere sull'edificio
- ✓ Sostenibilità economica



Sostituzione vetrate edificio storico "Il Sedile" di Lecce. Fonte [architectureonweb](#)



Finte pareti per impianto VMC, sale espositive di Palazzo Grassi, Venezia. Fonte [Aicarr](#)

Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Complessi del PAAA interessati

Capo di Bove (CB)



Villa dei Quintili (VQ)

Santa Maria
Nova (SMN)



Villa di Sette
Bassi (VSB)

Per ogni edificio di questi complessi storici sono stati individuati potenziali interventi di riqualificazione dell'involucro e degli impianti per il raggiungimento del migliore livello di prestazione energetica possibile, compatibilmente con il carattere storico e i vincoli degli edifici e del sito in cui si collocano e nel rispetto dell'integrità del bene e dei principi fondamentali del restauro (attività relative ai punti 10.3 – 10.5 del diagramma di flusso).

Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie potenziali di efficientamento dell'involucro opaco

Tipologia intervento involucro opaco	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Coibentazione estradosso copertura a falda	INO1	CB, SMN, VQ, VSB
Coibentazione estradosso solai piani di copertura	INO2	CB
Coibentazione del solaio di copertura con rimozione pannelli sandwich.	INO3	CB
Coibentazione del solaio di terra	INO4	CB, SMN ^(*) , VSB
Isolamento a cappotto chiusure opache verticali.	INO5	CB, VQ,
Coibentazione interna delle pareti perimetrali	INO6	CB, VQ, VSB
Mitigazione dell'umidità di risalita.	INO7	CB, SMN



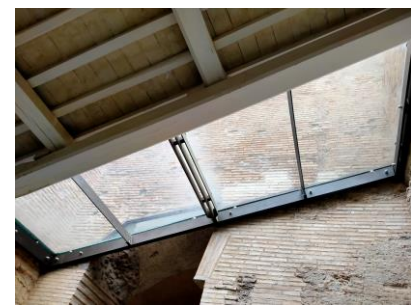
(*) Intervento ipotizzato anche per SMN pur se poco probabile.



Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie potenziali di efficientamento dell'involucro trasparente

Tipologia intervento involucro trasparente	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Sostituzione infissi.	INT1	CB, SMN, VQ, VSB
Inserimento vetri ad alte prestazioni (basso-emissivi/selettivi) su telaio esistente.	INT2	SMN
Installazione schermature solari o recupero schermature esistenti	INT3	CB, SMN, VQ, VSB



Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie potenziali di efficientamento dell'impianto meccanico

Tipologia intervento impianto meccanico	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Installazione pompa di calore aria-acqua (proposta alternativa)	MEC1	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione pompa di calore aria-aria	MEC2	VQ, VSB
Installazione sistema geotermico a pompa di calore	MEC3	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione scaldacqua a pompa di calore	MEC4	CB, SMN, VSB
Sistemi di ventilazione con recuperatore di calore	MEC5	CB
Impianto di climatizzazione a pannelli radianti a pavimento o a parete	MEC6	CB
Sostituzione pompe di circolazione	MEC7	VQ



Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie potenziali di efficientamento dell'impianto elettrico

Tipologia intervento impianto elettrico	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Installazione corpi illuminanti a led	ELE1	CB, SMN, VQ, VSB

Strategie ipotetiche di potenziamento dei sistemi di automazione e controllo

Tipologia intervento sistemi di automazione e controllo	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Installazione di sensori di presenza	BAC1	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione sistemi di termoregolazione per singolo ambiente	BAC2	CB, SMN, VQ, VSB
Suddivisione in zone termiche	BAC3	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione di sistema di supervisione e controllo	BAC4	CB, SMN, VQ, VSB

Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie ipotetiche di potenziamento degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile

Tipologia intervento impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Installazione di sistemi fotovoltaici integrati in copertura	FER1	CB, VQ, VSB
Installazione di fotovoltaico integrato su componenti trasparenti	FER2	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione di pensiline fotovoltaiche	FER3	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione di lampioni o altri sistemi di illuminazione fotovoltaici	FER4	CB, SMN, VQ, VSB
Installazione di fotovoltaico integrato su altri componenti	FER5	Parco archeologico



Impianto fotovoltaico integrato in copertura
Appiano Gentile (MI). Fonte Wolmann



Cattedrale di Saint Andrew- Sydney, Australia (AU). Installazione moduli in vetro fotovoltaico al silicio amorfo a basso grado di trasparenza. Fonte Bipv meets history



Copertura del Battistero di San Giovanni, Parco Archeologico di Castelseprio (VA). Fonte Unisi

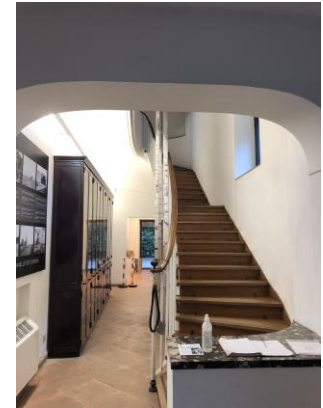
Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Strategie potenziali di efficientamento altri impianti

Tipologia intervento altri impianti	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Sistemi di compartimentazione dell'area di ingresso degli edifici	ALT1	CB, VQ
Installazione di un sistema di rifasamento elettrico	ALT2	CB

Strategie potenziali per la valorizzazione bene e del sito

Tipologia intervento per la valorizzazione del singolo bene e del sito	Codice scheda	Casi studio in cui è previsto
Installazione di sistemi di recupero dell'acqua piovana	VAL1	CB, VQ, VSB
Chiusura con vetrate di un atrio coperto.	VAL2	VQ, VSB
Percorso di connessione e valorizzazione sostenibile del parco archeologico	VAL3	Parco Archeologico



Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Schede intervento

Per ognuno degli interventi proposti è stata predisposta una scheda di sintesi descrittiva delle particolarità e delle caratteristiche tecniche e realizzative della misura, che contiene:

- Descrizione dell'intervento
- Stratigrafia / particolare costruttivo
- Indicazioni sui materiali/prodotti innovativi, ove possibile
- Esempi di realizzazione, ove possibile
- Vantaggi
- Svantaggi
- Descrizione delle principali criticità

TERS INSTALLAZIONE DI PENSILE FOTVOLTAICHE
Descrizione intervento L'intervento prevede la realizzazione di pensile fotovoltaico ubicato nell'area del parco archeologico comprendente complessi storici vincolati, per i più idonei e integrabili in esse. È possibile essere pensato per essere utilizzato per coprire e proteggere: <ul style="list-style-type: none">- i resti archeologici, in particolare quelli a carattere monumentale per la fruizione da parte dei visitatori;- la zona sottostante a parcheggio;- i nuclei storici di interesse di interesse per gli appuntamenti nell'area, da utilizzare anche per la loro ricerca installando le apposite coperture. È stata emessa la cartella dei materiali (area vincolata, ecc.) e da utilizzare a particolari usi (serre, laboratori didattici, ecc.). L'edificio ha permesso una buona integrazione del sistema fotovoltaico rispetto all'aspetto estetico e ha permesso di realizzare un sistema di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, da installare con i moduli (PV) della TERS, in particolare, il ricorso di una copertura in vetro fotovoltaico è utile la pensile meno invadente e permette l'ombreggio della sala, per ottimizzare la produzione di energia e il comfort degli utenti. L'installazione è stata realizzata in un'area di manutenzione, all'interno di un'area di parcheggio per essere omologata. L'installazione di pensile fotovoltaico rispetto all'aspetto estetico e ha permesso di realizzare un sistema di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, da installare con i moduli (PV) della TERS, in particolare, il ricorso di una copertura in vetro fotovoltaico è utile la pensile meno invadente e permette l'ombreggio della sala, per ottimizzare la produzione di energia e il comfort degli utenti. L'installazione è stata realizzata in un'area di manutenzione, all'interno di un'area di parcheggio per essere omologata. L'installazione di pensile fotovoltaico rispetto all'aspetto estetico e ha permesso di realizzare un sistema di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, da installare con i moduli (PV) della TERS, in particolare, il ricorso di una copertura in vetro fotovoltaico è utile la pensile meno invadente e permette l'ombreggio della sala, per ottimizzare la produzione di energia e il comfort degli utenti. L'installazione è stata realizzata in un'area di manutenzione, all'interno di un'area di parcheggio per essere omologata.
Esempi di realizzazione  Foto 10. Moduli fotovoltaici integrati. Area 101

TERS INSTALLAZIONE DI PENSILE FOTVOLTAICHE
Descrizione intervento L'intervento prevede la realizzazione di pensile fotovoltaico ubicato nell'area del parco archeologico comprendente complessi storici vincolati, per i più idonei e integrabili in esse. È possibile essere pensato per essere utilizzato per coprire e proteggere: <ul style="list-style-type: none">- i resti archeologici, in particolare quelli a carattere monumentale per la fruizione da parte dei visitatori;- la zona sottostante a parcheggio;- i nuclei storici di interesse di interesse per gli appuntamenti nell'area, da utilizzare anche per la loro ricerca installando le apposite coperture. È stata emessa la cartella dei materiali (area vincolata, ecc.) e da utilizzare a particolari usi (serre, laboratori didattici, ecc.). L'edificio ha permesso una buona integrazione del sistema fotovoltaico rispetto all'aspetto estetico e ha permesso di realizzare un sistema di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, da installare con i moduli (PV) della TERS, in particolare, il ricorso di una copertura in vetro fotovoltaico è utile la pensile meno invadente e permette l'ombreggio della sala, per ottimizzare la produzione di energia e il comfort degli utenti. L'installazione è stata realizzata in un'area di manutenzione, all'interno di un'area di parcheggio per essere omologata. L'installazione di pensile fotovoltaico rispetto all'aspetto estetico e ha permesso di realizzare un sistema di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, da installare con i moduli (PV) della TERS, in particolare, il ricorso di una copertura in vetro fotovoltaico è utile la pensile meno invadente e permette l'ombreggio della sala, per ottimizzare la produzione di energia e il comfort degli utenti. L'installazione è stata realizzata in un'area di manutenzione, all'interno di un'area di parcheggio per essere omologata.
Esempi di realizzazione  Foto 11. Copertura per Belfegio di San Simeone, Parco Archeologico di Cerveteri (RM), Area 101
Vantaggi <ul style="list-style-type: none">- Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili- Copertura la fruizione di energia elettrica anche in aree con scarso livello di illuminazione all'occorrenza. L'opera è di semplice gestione e manutenzione e il luogo ripristinato.- Minore impatto ambientale e integrazione di strutture esistenti da coprire.
Svantaggi <ul style="list-style-type: none">- Impatto visuale del pensile; il sistema è pensato a soluzioni ad hoc per realizzare un rispetto visivo nullo o il più possibile conforme al sito.- La struttura di area fotovoltaica integrabile negli ambienti, hanno notevoli implicazioni in termini di pannelli tradizionali, parzialmente coprendo di una superficie di installazione maggiore.- Impatto in termini di superficie e esposizione sofficiente e posizionamento tale da garantire un'ottimo ingombro anche.
Criticità e criticità post-opera <ul style="list-style-type: none">- La progettazione della pensile deve essere accurata e collimata al fabbisogno elettrico del servizio (illuminazione esterna, ricerca visiva, ecc.).- Soluzioni fotovoltaiche integrabili negli ambienti e in film sottili, devono essere accuratamente progettate, tenendo conto dei loro minori rendimenti, rispetto ai pannelli tradizionali, e della conseguente necessità di maggiore superficie di installazione.- La manutenzione dell'impianto è un lavoro molto impegnativo che influisce sulle performance del sistema.

Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Esempio scheda involucro opaco

Intervento sulle coperture

INO1 COIBENTAZIONE ESTRADOSSO COPERTURA A FALDA

Involucro opaco – Intervento sulla copertura

Descrizione intervento

L'intervento prevede l'installazione del pacchetto isolante nell'estradosso della falda di copertura. Questo consente di mantenere inalterato l'intradosso ligneo a faccia vista e di per raggiungere una buona correzione dei ponti termici. La soluzione tecnologica individuata è quella a "tetto rovescio", perché consente una maggiore protezione della guaina d'impermeabilizzazione posta sotto l'isolante e una posa in opera anche con condizioni metereologiche di maggiore umidità. Nel pacchetto si prevede anche la realizzazione di un'intercapedine ventilata a ridosso dell'isolamento per evitare il ristagno di umidità e la formazione di condensa e per favorire, durante la stagione estiva, moti convettivi che, dissipino il calore in eccesso contribuendo al raffreddamento dei locali. Previa verifica dell'idoneità statica delle strutture portanti, l'intervento prevede la propedeutica rimozione e accantonamento degli elementi di finitura esistenti (coppi/tegole, pluviali, ...) che saranno, per quanto possibile, restaurati e reintegrati per mantenere inalterato l'aspetto originario della copertura. La messa a nudo della struttura consentirà l'eventuale manutenzione e/o consolidamento degli elementi portanti e la pulitura e l'eventuale risanamento degli elementi in laterizio (pianelle) dello strato di chiusura verso l'interno. Come si evince dalla stratigrafia che segue, a partire dal rivestimento interno, si procede con la posa della membrana con funzione di freno vapore e di tenuta all'aria, seguita con la posa del pannello isolante che deve essere repellente all'acqua, inattaccabile dall'umidità e deve avere una buona resistenza a compressione e durabilità (tipo il polistirene espanso estruso). Sopra l'isolante si stende la membrana traspirante con funzione di tenuta all'acqua e al vento. Il manto di copertura viene posato su sottostruttura ventilata realizzata, nell'esempio, da listelli di legno sovrapposti incrociati, avendo cura di mantenere visibili in superficie i coppi vecchi e nascosti nello strato sottostante quelli nuovi. Particolare attenzione deve essere posta anche nella scelta della membrana che, oltre ad essere impermeabile deve essere elastica, per seguire la dilatazione del legno, e traspirante, per consentire lo smaltimento del vapore acqueo ed evitare così la formazione di umidità e di muffe. Lo stesso pacchetto isolante si prevede anche per le coperture a falda realizzate in travetti e tavelloni in laterizio dei locali archivio di Capo di Bove. In Figura 1 sono riportati esempi di interventi realizzati in edifici storici: a sinistra il rifacimento del tetto del Teatro Regio di Torino, a destra l'arretramento della linea di gronda per ridurre/annullare l'impatto visivo dell'aumento delle altezze, soluzione fattibile ma da valutare caso per caso.

Possibile stratigrafia (nell'esempio su travicelli lignei e pianelle in laterizio)

1. Tavolato/laterizio intradosso solaio
2. Strato di freno vapore a tenuta all'aria
3. Isolante termico costituito da pannelli rigidi resistenti a compressione
4. Membrana traspirante con funzione di tenuta all'acqua e al vento
5. Controllistelli e intercapedine d'aria ventilata per smaltimento umidità
6. Listelli
7. Manto di copertura in coppi o in tegole

INO1 COIBENTAZIONE ESTRADOSSO COPERTURA A FALDA

Involucro opaco – Intervento sulla copertura

Materiali/prodotti innovativi

Tenendo presente il possibile aggravio economico, possono essere valutate le seguenti alternative:

- Per facilitare la posa in opera e alleggerire in parte, possono essere utilizzati sistemi isolanti pre-assemblati (es. pannello isolante rigido e corrente metallico integrato) che realizzano la camera di ventilazione sottotegola in modo veloce e più leggero.
- Per contenere l'aumento di spessore possono essere utilizzati materiali super isolanti (SIM) caratterizzati da una conducibilità termica λ molto bassa ($0,0015 \text{ W/mK} < \lambda < 0,0200 \text{ W/mK}$) quali, ad esempio, materiali nanoporosi (resine fenoliche, aerogel) e pannelli isolanti sottovuoto.

Esempi di interventi realizzati

Figura 1. Interventi realizzati: A sinistra il rifacimento del tetto del Teatro Regio di Torino. Fonte [5] Mentre a destra particolare sporto di gronda, villa settecentesca in provincia di Padova. Fonte [6]

Vantaggi

- Mantiene inalterato l'intradosso a faccia vista della copertura lignea, requisito importante per gli edifici vincolati.
- Consente una buona mitigazione dei ponti termici.
- Contestualmente si attua la manutenzione ordinaria /straordinaria della copertura.

Svantaggi

- Aumento dello spessore del pacchetto copertura con conseguente alterazione delle altezze.
- Necessità di rifacimento dell'intera copertura.
- Gli elementi del manto di copertura possono danneggiarsi durante la rimozione e la successiva posa in opera: attenzione a mantenere l'originario aspetto estetico.


Criticità e corretta posa in opera


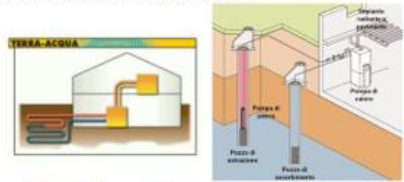

- È necessario verificare/risanare l'idoneità statica del supporto (resistenza statica, planarità, assenza di umidità, muffe, ecc.).
- Garantire il flusso della ventilazione: non sigillare il colmo, inserire tegole traspiranti in corrispondenza di ostacoli quali lucernari, canne fumarie, ecc.
- La guaina deve essere a tenuta di acqua ma anche traspirante per favorire lo smaltimento dell'umidità.
- Bisogna escludere la formazione di condensa interstiziale attraverso il controllo termo igrometrico.
- La progettazione e la posa in opera a regola d'arte seguono quanto previsto dalle norme (UNI 9460:2008 [7] e dalle schede tecniche dei prodotti utilizzati).

Possibili strategie di intervento per i complessi del Parco Archeologico dell'Appia Antica

Esempio scheda impianti meccanici:

Installazione sistema geotermico a pompa di calore

MEC3 INSTALLAZIONE SISTEMA GEOTERMICO A POMPA DI CALORE 
Impianti meccanici – Sistema di generazione di calore
<p>Descrizione intervento</p> <p>L'intervento prevede la sostituzione degli impianti di climatizzazione esistenti con i più efficienti sistemi geotermici reversibili a pompa di calore. La soluzione viene proposta, in via ipotetica, per tutti e quattro i complessi storici. In particolare, vista la presenza di pozzi freatici utilizzati per l'irrigazione del parco archeologico in tre dei quattro siti (essattamente CB, SMN e VQ), si ipotizza l'installazione del sistema a pompa di calore acqua-acqua che utilizza l'acqua di falda prelevata dai pozzi come sorgente calda in estate e fredda in inverno. Per VSB, non esistendo alcun pozzo, si lasciano aperte, in questa fase preliminare, entrambe le soluzioni per la macchina frigorifera/pompa di calore geotermica, ovvero quella che, nel circuito esterno, utilizza il terreno (come sorgente calda in estate e fredda in inverno) e quella che utilizza l'acqua di (nuovi) pozzi freatici. Pertanto, nella presente scheda sono trattati entrambi (Figura 16). I sistemi geotermici reversibili a pompa di calore sono in grado di trasferire calore da una sorgente fredda (terreno o acqua di falda) a un'altra a temperatura più alta (ambiente riscaldato). Ovvero, invertendo il ciclo, funzionano da macchina frigorifera sottraendo calore dall'interno e cedendolo all'esterno. Entrambi gli impianti hanno rendimenti più elevati delle altre pompe di calore grazie alla stabilità della temperatura del terreno o dell'acqua di falda: l'acqua di falda, mantiene una temperatura costante per tutto l'anno di circa 10-15°C. Per il terreno, maggiore sarà la profondità della sonda utilizzata per lo scambio termico, più alta e stabile sarà la temperatura (fattori che favoriscono il rendimento dell'impianto); a titolo indicativo, si tratta di circa 10 °C a 10-15 m e di circa 13 °C intorno ai 100 metri. L'impianto a PdC terra-acqua si compone di due parti: il serbatoio geotermico, caratterizzato da sonde, connessioni superficiali, collettori e la centrale geotermica, formata dalla pompa di calore ad alimentazione elettrica, dall'accumulo inerziale, dall'eventuale accumulo per ACS. Le sonde geotermiche sono realizzate in rame o in materiale plastico per scongiurare la corrosione e possono essere disposte in verticale, fino alla profondità di 80-100 metri, o in orizzontale ad una altezza decisamente inferiore (intorno ai 1-1,5 metri, quindi a temperatura meno stabile) e occupando una ampia superficie di terreno, fino a 2 o 3 volte maggiore di quella dei locali da riscaldare. In Figura 17 un esempio di intervento realizzato in un edificio storico. Le pompe acqua-acqua possono essere a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pozzo ad anello aperto, dotato di 2 pozzi distinti, uno di captazione o di estrazione –di profondità compresa tra i 10 e i 30 metri dal quale, mediante una pompa, si preleva l'acqua di falda, dotato di filtri per la salvaguardia dell'integrità dell'impianto- e un pozzo perdente dove viene riversata in falda l'acqua a conclusione del ciclo (profondità tra 8 e 15 m). - Pozzo ad anello chiuso quando l'acqua viene prelevata e reimmissa nello stesso pozzo o falda. Questo caso è possibile se l'acqua di falda, in qualche modo, scorre, altrimenti si rischia di alterare significativamente le condizioni dell'acqua di falda, diminuendo l'efficienza della pompa. <p>Per la corretta progettazione di entrambi i sistemi di geo-scambio sono fondamentali i risultati della relazione idrogeologica e dei test di risposta termica del sottosuolo (oltre alle emergenze delle indagini archeologiche). L'installazione è più complessa e più onerosa delle altre PdC ma, di contro, richiedono manutenzione solo per il loro corpo macchina, mentre il campo geotermico, se viene ben dimensionato e installato, ha una lunga vita utile e ridotti costi di manutenzione.</p> <p>Entrambi i sistemi geotermici a pompa di calore sono una scelta possibile anche quando si debba sostituire un impianto di riscaldamento tradizionale a gas mantenendo la distribuzione idronica. In questo caso va considerato che, per garantire l'efficienza del sistema, i terminali di emissione ad acqua devono lavorare a bassa temperatura, preferibilmente ventilconvettori, pannelli radianti (es. pannelli radianti a pavimento descritti nella scheda MEC5).</p> <p>Inoltre, nel caso in cui l'impianto venga utilizzato anche per la climatizzazione estiva, i terminali dovranno essere in grado di funzionare anche con l'acqua fredda (come i ventilconvettori) e dovrà essere realizzata una linea di scarico per le condense.</p>

MEC3 INSTALLAZIONE SISTEMA GEOTERMICO A POMPA DI CALORE 
Impianti meccanici – Sistema di generazione di calore
<p>Schemi di funzionamento pompe di calore geotermiche</p>  <p>Figure 16. Schemi di funzionamento PdC geotermiche: a sinistra PdC terra-acqua. Fonte [20] A destra PdC acqua-acqua a circuito aperto. Fonte [24]</p>
<p>Esempio di intervento realizzato</p>  <p>Figure 17. Riquilibrata impiantistica del museo di Palazzo Zabarella, Padova. Fonte [25]</p>
<p>Vantaggi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sono molto efficienti anche in climi rigidi perché le temperature del terreno o dell'acqua di falda subiscono variazioni minime rispetto ai loro valori medi di 12°. - L'efficienza e la sostenibilità della pompa di calore geotermica aumenta notevolmente quando l'energia elettrica è prodotta, come previsto nei casi studio di interesse, da fonti rinnovabili. - Può essere utilizzata anche per produrre ACS, se si inerisce un serbatoio di accumulo nel circuito.
<p>Svantaggi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costi iniziali più elevati rispetto ad altri sistemi a pompa di calore (indagini idrogeologiche, acquisto e installazione delle sonde, ecc.). - Può essere installato solo quando le indagini archeologiche, idrogeologiche e i test di risposta termica del sottosuolo, dimostrino la fattibilità dell'intervento.
<p>Criticità e corretta posa in opera</p> <ul style="list-style-type: none"> - La progettazione e la realizzazione a regola d'arte devono seguire quanto previsto dalle norme (in particolare il Decreto del MITE del 30 settembre 2022, [26]) e dalle schede tecniche di prodotto. - Per la PdC acqua-acqua, l'utilizzo dell'acqua del pozzo necessita di verifiche sulla qualità dell'acqua per evitare danni all'impianto (corrosione, incrostazioni, ecc.). - Necessarie autorizzazioni per la trivellazione e l'installazione della PdC che utilizza acqua di falda.

Conclusioni



L'Approccio metodologico olistico e integrato proposto, non limitato al singolo edificio ma esteso ai complessi di edifici e all'intero parco archeologico:

- ✓ offre l'opportunità di operare decisioni ponderate e consapevoli per la riqualificazione energetica e sostenibile del bene storico / vincolato, nel rispetto delle sue specifiche esigenze di tutela e di valorizzazione.
- ✓ Favorisce l'opportunità di restituire alla preminenza storica il suo ruolo e la sua importanza nel contesto urbano.
- ✓ Ha le potenzialità per essere replicato in altri contesti e in altre realtà, pur se con differenti scale e peculiarità.

Grazie per
l'attenzione!

Giulia Centi

giulia.centi@enea.it



```
1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000
```

