

*ipsum enim est in civile  
de phisica applicatiorem, percontare*

# ROADMAP PER LA DECARBONIZZAZIONE E LA SOSTENIBILITÀ DEL COMPLESSO DI VILLA FARNESINA

STUDIO PRELIMINARE

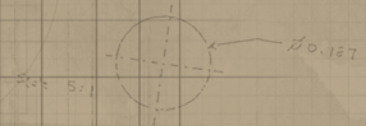


ACCADÉMIA NAZIONALE DEI LINCEI



ipsum enim est in civile  
de physica applicatione, peritiae  
principio, et in solvendo pro  
hominum societate, cum intellectu  
Physicis et mathematicis

1540  
1074  
1010  
500



$$\frac{1}{2} \pi \cdot \frac{1}{6} = \frac{\pi}{12}$$

$$\frac{1}{2} \pi \cdot \frac{1}{6} = \frac{\pi}{12}$$

Tu et civis, primarius  
partis, inest, inest, inest  
inest, inest, inest, inest  
inest, inest, inest, inest



La certificazione FSC garantisce che la carta utilizzata per questa pubblicazione è stata ottenuta nel rispetto delle specie vegetali e animali, dei diritti dei popoli indigeni e della sicurezza dei lavoratori.

**ROADMAP PER LA  
DECARBONIZZAZIONE  
E LA SOSTENIBILITÀ  
DEL COMPLESSO  
DI VILLA FARNESINA**

STUDIO PRELIMINARE

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>OBIETTIVI</b>	<b>4</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>6</b>
1. Obiettivi della metodologia	7
2. Inquadramento normativo	8
3. Definizioni e terminologia	8
4. Analisi dello stato di fatto	9
4.1. Analisi del contesto	9
4.2. Definizione del perimetro dell'intervento	10
4.3. Caratterizzazione dell'edificio da un punto di vista architettonico, strutturale e tecnologico	10
4.4. Descrizione del valore culturale e dei vincoli	10
4.5. Analisi preliminare dell'utilizzo dell'edificio	11
4.6. Prima valutazione energetica e ambientale	11
5. Definizione degli obiettivi dell'intervento	11
6. Individuazione delle necessità di intervento per il miglioramento delle prestazioni	12
7. Definizione e prima valutazione delle misure da adottare	12
7.1. Identificazione di una lista di misure	12
7.2. Valutazione preliminare delle misure	13
7.2.1. Analisi preliminare della sostenibilità delle misure mediante approccio Carbon Footprint	13
7.2.2. Analisi dell'applicabilità di protocolli di certificazione energetico-ambientali	15
7.2.3. Analisi preliminare dei costi attribuibili alle singole misure proposte	15
7.3. Elaborazione della matrice di compatibilità	15
7.4. Definizione di ulteriori criteri di valutazione delle misure	17
7.5. Esclusione delle misure non appropriate	17
8. Approfondimenti tecnici per la valutazione energetica e ambientale delle misure	17
8.1. Monitoraggio e analisi sperimentale	17
8.2. Simulazioni numeriche	17
8.3. Consolidamento delle misure proposte	18
9. Definizione della strategia d'intervento	18
9.1. Definizione di scenari di intervento	18
9.2. Individuazione di criteri di valutazione degli scenari	18
9.3. Valutazione degli scenari di intervento	19
9.3.1. Analisi mediante simulazione numerica	20
9.3.2. Analisi mediante approccio LCA	20
9.3.2.1 Normativa e documenti di riferimento	21
9.3.2.2. Scelta del set di indicatori da adottare	26
9.3.3. Analisi economica	28
9.3.4. Analisi mediante protocolli di certificazione energetico-ambientale	29
9.4. Identificazione della strategia d'intervento	29
10. Implementazione e valutazione della strategia d'intervento	29
10.1. Implementazione	29
10.2. Analisi ex-post mediante piano di monitoraggio per la valutazione degli effetti delle misure proposte	30



<b>IL CASO STUDIO DI VILLA FARNESINA</b>	<b>31</b>
11. Cenni storici	31
12. Stato di fatto	34
12.1. Il complesso della Villa: caratteri generali	34
12.2. Consumi energetici storici	38
12.3. Dati microclimatici storici	40
13. Definizione preliminare dei possibili interventi	42
14. Analisi preliminari della sostenibilità degli interventi	42
14.1. Carbon Footprint	42
14.2. Protocolli di certificazione: verifica preliminare della coerenza delle misure proposte	43
14.2.1. Selezione dei protocolli di certificazione applicabili	43
14.2.2. Analisi dei requisiti minimi di programma	44
14.2.3. Valutazione della coerenza delle schede di intervento	45
14.3. Analisi dei costi	45
14.3.1. Fattori di costo	45
14.3.2. Assunzioni	46
14.3.3. Sintesi della valutazione preliminare dei costi	46
15. Prima valutazione delle misure proposte per Villa Farnesina	47
15.1. La matrice di compatibilità per gli interventi	47
15.1.1. Come leggere i risultati dell'analisi della matrice	47
15.2. Considerazioni preliminari	47

<b>ALLEGATO TECNICO 1: SCHEDE DEGLI INTERVENTI</b>	<b>53</b>
SCHEDA INTERVENTI N° 1A	54
SCHEDA INTERVENTI N° 1B	56
SCHEDA INTERVENTI N° 1C	58
SCHEDA INTERVENTI N° 1D	60
SCHEDA INTERVENTI N° 1E	61
SCHEDA INTERVENTI N° 2A	63
SCHEDA INTERVENTI N° 2B	65
SCHEDA INTERVENTI N° 3A	66
SCHEDA INTERVENTI N° 3B	68
SCHEDA INTERVENTI N° 4	70
SCHEDA INTERVENTI N° 5A	72
SCHEDA INTERVENTI N° 5B	75
SCHEDA INTERVENTI N° 5C	77
SCHEDA INTERVENTI N° 5D	79
SCHEDA INTERVENTI N° 6	81
SCHEDA INTERVENTI N° 7	83
SCHEDA INTERVENTI N° 8	85
SCHEDA INTERVENTI N° 9A	87
SCHEDA INTERVENTI N° 9B	89
SCHEDA INTERVENTI N° 9C	91
SCHEDA INTERVENTI N° 10	92
SCHEDA INTERVENTI N° 11	95
SCHEDA INTERVENTI N° 12	98
SCHEDA INTERVENTI N° 13	100
SCHEDA INTERVENTI N° 14	102

<b>ALLEGATO TECNICO 2: ASSUNZIONI PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA</b>	<b>104</b>
--	------------

## INTRODUZIONE

Il presente studio ha come obiettivi l'identificazione e la valutazione di possibili soluzioni e misure volte al miglioramento dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale del complesso di Villa Farnesina, al fine di contribuire alla decarbonizzazione della sede storica dell'Accademia dei Lincei. In tale ottica, il complesso rappresenta un caso studio pilota "di eccellenza" per la selezione e analisi di interventi di riqualificazione non invasivi e conservativi che consentano un'ottimizzazione della prestazione globale del sistema edificio-impianto, preservandone l'integrità artistico-architettonica e l'identità storica, al fine dello sviluppo di un approccio metodologico integrato e replicabile per la riqualificazione di edifici connotati da un elevato valore culturale.



| Figura 1: fronte nord (destra) e sud (sinistra) della Villa.

## OBIETTIVI

Il presente documento nasce con la finalità di identificare, in via preliminare, possibili proposte di interventi, di tipo sia attivo sia passivo, caratterizzate da elevate sostenibilità e prestazioni per l'efficientamento energetico-ambientale del complesso della Villa. Il lavoro si articola in diverse fasi, ognuna delle quali prevede specifici risultati.

Nel dettaglio, la prima fase di lavoro è dedicata allo **studio di prefattibilità**, finalizzato allo svolgimento di un'analisi preliminare dello stato di fatto e di una prima identificazione delle direttive per i possibili interventi di riqualificazione da proporre. In questa fase, vengono pertanto definite diverse alternative e misure di efficientamento ipotizzabili, con indicazione di eventuali approfondimenti tecnici da affrontare nelle fasi successive del progetto. Inoltre, in questa fase viene effettuata anche una pre-valutazione delle possibili misure in termini di:



- compatibilità con i requisiti minimi di programma di protocolli di certificazione energetico-ambientali preselezionati come applicabili al caso di studio;
- carbon footprint;
- stima preliminare dei costi previsti per la realizzazione.

Pertanto, nel corso della prima fase dello studio si prevede di produrre i seguenti risultati:

- una descrizione dettagliata del perimetro dell'analisi, che chiarisce l'ambito dell'intervento;
- l'identificazione e la definizione dei portatori di interesse e degli interlocutori coinvolti;
- una prima analisi dello stato di fatto, finalizzata alla contestualizzazione delle strategie di riqualificazione;
- la definizione dell'obiettivo generale, oltre a specifici sotto-obiettivi di natura energetica, ambientale e prestazionale;
- l'individuazione delle tipologie di interventi implementabili, differenziate in base alla funzione e alla tipologia;
- un'analisi delle possibili alternative, con la proposta di un ventaglio di possibilità;
- una prevalutazione della compatibilità con i requisiti minimi di programma di alcuni protocolli di certificazione energetico-ambientale applicabili, per garantire la conformità a standard riconosciuti;
- una stima preliminare sia dei benefici attesi che dei costi da sostenere.

La seconda fase del lavoro prevede, successivamente, l'approfondimento delle **analisi tecniche e la progettazione** delle misure di riqualificazione ipotizzate. In particolare, dal punto di vista tecnico si prevede di effettuare la valutazione comparativa di possibili scenari di intervento, derivanti dalla combinazione delle possibili misure individuate come implementabili nel corso della precedente fase dello studio. Tale studio prevede lo svolgimento di attività di modellazione e simulazione numerica calibrata, grazie allo svolgimento di misure in campo, laddove possibile. Inoltre, in tale fase si prevede anche di realizzare un affinamento delle analisi avviate in termini di LCA.

Sulla base di tali approfondimenti, verrà redatto un documento di indirizzo degli interventi che fornisce le linee guida da seguire per le successive fasi operative. Successivamente, una volta selezionato lo scenario di intervento, viene sviluppato il progetto vero e proprio, con tutti i dettagli tecnici necessari per procedere alla realizzazione.

La terza fase è quella della **realizzazione** degli interventi pianificati. A conclusione degli interventi, si prevede di effettuare una validazione degli effetti degli interventi per verificare se gli obiettivi sono stati raggiunti. Vengono inoltre definiti programmi di monitoraggio ex-post, necessari per controllare i risultati nel tempo.

Le attività previste dalle varie fasi del progetto consentono, pertanto, di affrontare trasversalmente le tematiche dell'efficientamento energetico-ambientale, con particolare focus sulla valutazione di tecnologie quali, ad esempio, materiali edili innovativi, sistemi di gestione smart degli impianti, nonché sulla mobilità sostenibile e sulla analisi di ulteriori iniziative in ottica di economia circolare.

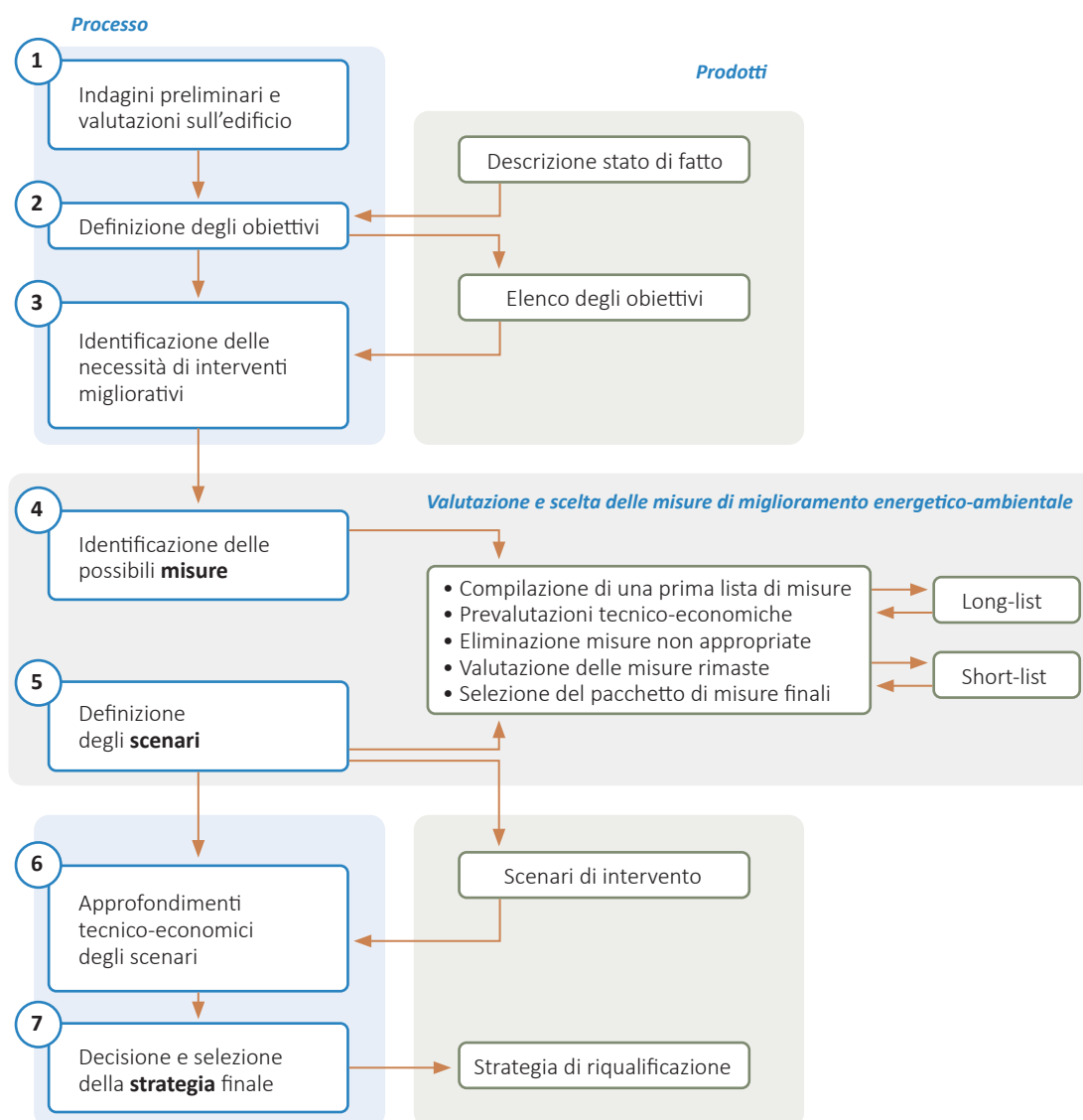


| Figura 2: ambiti di intervento e approccio metodologico di valutazione.

## METODOLOGIA

Lo studio per la decarbonizzazione e sostenibilità del complesso di Villa Farnesina costituisce un caso “pilota” di eccellenza per la valutazione di interventi conservativi di riqualificazione del patrimonio storico-culturale, finalizzata allo sviluppo di un approccio metodologico innovativo che possa fungere da modello replicabile per il miglioramento dell’efficienza e della sostenibilità di edifici della medesima tipologia.

Il presente documento intende fornire una descrizione di dettaglio della metodologia proposta, come da schema sottostante (figura 3):



| Figura 3: schema a blocchi della metodologia proposta.

Si chiarisce che la metodologia si articola in tre macro-fasi, quali: lo **studio di prefattibilità** (cap. 1), gli **approfondimenti tecnici**, prodromici alla **progettazione**, le conseguenti valutazioni (cap. 8) e la **realizzazione**, a cui seguiranno le fasi di analisi e valutazione ex-post (cap. 10). Più nel dettaglio, l’approccio metodologico proposto si articola nelle fasi descritte nei paragrafi che seguono.



## 1. Obiettivi della metodologia

Gli edifici storici sono comunemente definiti come edifici con più di 70 anni; più nel dettaglio, si intendono edifici con valore storico manufatti edilizi tali da costituire “testimonianza materiale avente valore di civiltà”, ovvero caratterizzati da materiali, tecniche costruttive ed elementi tecnici realizzati attraverso processi preindustriali prima del 1945, anno che convenzionalmente segna l’inizio dell’industrializzazione edilizia.

Il patrimonio edilizio esistente sul territorio nazionale è costituito per oltre il 30,1% da edifici realizzati prima del 1945, di cui il 18,3% è stato costruito prima del 1919 e l’11,8% tra il 1919 e il 1945 (fonte: Cresme). Si tratta di un patrimonio di grandi dimensioni il cui fabbisogno, in termini di risorse, è connesso a:

- tipologia costruttiva;
- tipologia di destinazione d’uso;
- tipologia di servizi;
- ampliamento dei servizi offerti e rafforzamento della tutela.

Tali immobili sono, infatti, generalmente connotati dalla presenza di impianti spesso vetusti, dalla mancanza di sistemi di gestione e da uno scarso controllo della qualità ambientale interna. Allo stesso tempo, presentano numerosi vincoli architettonici e normativi che non consentono l’implementazione delle più tradizionali strategie e tecnologie di efficientamento né di soluzioni di tipo standard per l’espletamento di interventi di riqualificazione. Di conseguenza, tali immobili spesso vengono considerati “poco performanti”.

In tali contesti, la maggiore complessità data delle variabili in gioco impone, nell’ambito della progettazione di interventi di riqualificazione, una più approfondita riflessione e presuppone una convergenza di più operatori a diversi livelli, viste le necessità di conservazione e preservazione della natura storico-culturale di tali immobili.

Ciò richiede pertanto:

- l’adozione di un approccio integrato e conservativo, basato sullo studio e sul riutilizzo, laddove possibile, di materiali e sistemi originari;
- l’utilizzo di parametri e indicatori progettuali ben definiti fin dalle fasi preliminari di analisi dello stato di fatto;
- la selezione di soluzioni innovative e sostenibili compatibili con i vincoli architettonico-culturali presenti, orientate alla minimizzazione del consumo di risorse e all’indirizzo verso fonti rinnovabili.

Per quanto sopra, l’obiettivo dell’approccio proposto è quello di fornire uno strumento efficace e replicabile per la valutazione di interventi di miglioramento della prestazione energetica e della sostenibilità ambientale di asset immobiliari ed infrastrutturali connotati da un’elevata valenza storico-testimoniale.

Tale metodologia, anche a seguito dell’implementazione nell’ambito del caso di studio pilota di Villa Farnesina, potrà pertanto essere applicabile a edifici con caratteristiche simili.

Si tratta di una procedura in linea con le principali linee guida in materia di miglioramento sostenibile ed efficienza energetica del patrimonio storico-culturale, basata su analisi di carattere scientifico che includono una valutazione approfondita ed estensiva dello stato di fatto, finalizzata all’indagine e selezione di possibili interventi migliorativi in un’ottica di preservazione, analizzandone l’impatto in relazione alla conservazione delle caratteristiche originarie e storiche degli immobili.

L’approccio proposto si basa essenzialmente su tre direttive principali:

- *conoscenza dei contesti*: prevede la lettura storica degli interventi, il rilievo geometrico e dei materiali costitutivi, la valutazione della qualità ambientale interna/esterna e delle destinazioni d’uso presenti, l’analisi del sistema impiantistico esistente;
- *valutazione dell’efficienza energetica*: consiste nella diagnosi energetica dello “status quo” e nello studio delle procedure volte al miglioramento dell’efficienza energetica, nonché nella valutazione della prestazione energetica complessiva;
- *miglioramento dell’efficienza energetica*: prevede lo studio di interventi sull’edificio, sugli impianti, sui materiali, nonché nell’ambito dei sistemi per la gestione e manutenzione dell’edificio.

L’obiettivo finale è il miglioramento della sostenibilità degli edifici storici nel lungo termine, tenendo conto degli aspetti ambientali, economici, sociali e culturali.

## 2. Inquadramento normativo

- EN 16883 (May 2017) Conservation of cultural heritage- Guidelines for improving the energy performance of historic buildings e s.m.i.
- EN 15603 Energy performance of buildings- Overall energy use and definition of energy ratings e s.m.i.
- EN 16096 Conservation of cultural property- Condition survey and report of built cultural heritage e s.m.i.
- EN 16247-2 Energy audits- Part 2: Buildings e s.m.i.
- Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale- Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio e s.m.i.
- Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs. 42/2004) e s.m.i.
- EN 15251- Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica e s.m.i.
- EN 15757- Conservazione dei Beni Culturali- Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici e s.m.i.
- EN ISO 7730- Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale e s.m.i.
- ASHRAE 62-2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality e s.m.i.
- EN 16247-2 Diagnosi energetiche- Parte 2: Edifici e s.m.i.
- EN 15603- Prestazione energetica degli edifici- Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica e s.m.i.
- EN 15643-1 Sustainability of construction works- Sustainability assessment of buildings- Part 1: General framework e s.m.i.
- EPBD 4- Nuova direttiva Case Green e s.m.i.

## 3. Definizioni e terminologia

- **Edificio:** costruzione nel suo complesso, comprendente il fabbricato e tutti i sistemi tecnici dell'edificio per i quali viene consumata energia per condizionare l'ambiente interno, fornire acqua calda sanitaria, illuminazione e gli altri mezzi relativi all'uso dell'edificio. FONTE: CEN/TR 15615:2008.
- **Stato di conservazione:** stato fisico dell'edificio in un certo istante. FONTE: EN 15898:2011, 3.2.1.
- **Indagine sullo stato di conservazione:** ispezione per valutare lo stato di conservazione. FONTE: EN 15898:2011, 3.6.4.
- **Ambiente:** condizioni interne o esterne naturali o antropiche che possono influenzare la prestazione di tutto l'edificio o di una sua parte. FONTE: ISO 6707-1:2014, 10.3.
- **Controllo ambientale:** gestione di uno o più fattori dell'ambiente. FONTE: EN 15898:2011, 3.4.3.
- **Edificio storico:** edificio di valore culturale. EN 15898:2011, 3.1.3.
- **Intervento:** azione che determina un cambiamento fisico dell'edificio.
- **Misura:** ipotesi di intervento volto a raggiungere un cambiamento comportamentale, progettuale, economico o tecnico che porta a miglioramenti della prestazione energetica verificabili, misurabili o stimabili.
- **Scenario di intervento:** combinazione di misure di efficientamento energetico e miglioramento della sostenibilità ambientale.
- **Strategia di retrofit:** esito della selezione dello scenario di intervento più adeguato nel caso specifico.
- **Recupero:** modifica di un edificio esistente per portarlo ad un miglioramento dello stato di conservazione. FONTE: EN 15643-1:2010, 3.55.
- **Sostenibilità:** capacità di un sistema di essere conservato per le generazioni presenti e future. FONTE: EN 15643-1:2010, 3.67.
- **Sistemi tecnici dell'edificio:** attrezzature tecniche per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, il controllo dell'umidità, l'acqua calda, l'illuminazione o per una loro combinazione. FONTE: EN 15643-1:2010, 3.70.



- **Compatibilità:** caratteristica per cui un materiale può essere usato con un altro materiale senza mettere a rischio l'importanza culturale o la stabilità. FONTE: EN 15898:2011, 3.3.
- **Conservazione:** misure e azioni che sono finalizzate alla salvaguardia un edificio storico nel rispetto della sua importanza culturale, incluso la sua accessibilità alle generazioni presenti e future. FONTE: EN 15898:2011, 3.3.1.
- **Patrimonio culturale:** entità di interesse culturale per le generazioni presenti e future. FONTE: EN 15898:2011, 3.1.1.
- **Valore culturale:** aspetto di importanza che gli individui e la società attribuiscono ad un edificio. FONTE: EN 15898:2011, 3.1.5.
- **Documentazione:** informazioni raccolte, create, registrate, contenute e mantenute per lo scopo di attuali o futuri interventi di conservazione e come archivio di riferimento. FONTE: EN 15898:2011, 3.6.8.
- **Indagini:** raccolta di tutte le informazioni necessarie per il processo decisionale di conservazione. FONTE: EN 15898:2011, 3.6.3.
- **Energia:** capacità di un sistema di produrre attività esterna o di effettuare lavoro. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.1.1.
- **Vettore energetico:** sostanza o fenomeno che può essere usato per produrre lavoro meccanico o energia termica o per operare processi chimici o fisici. FONTE: CEN/TR 15615:2008, 3.17.
- **Consumo di energia:** quantità di energia impiegata. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.1.13.
- **Domanda di energia:** quantità di energia richiesta da un sistema che impiega energia, in un certo istante o durante uno specifico periodo di tempo. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.3.13.
- **Prestazione energetica:** risultati misurabili relativi all'uso dell'energia e al consumo di energia. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.3.1.
- **Classificazione energetica:** valutazione della prestazione energetica dell'edificio basata sulla media pesata dell'impiego, calcolato o misurato, di vettori energetici. FONTE: CEN/TR 15615:2008, 3.24.
- **Risparmio energetico:** riduzione del consumo di energia conseguente all'implementazione di azioni (misure) di miglioramento di una prestazione energetica. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.3.9.
- **Fonte di energia:** materiale, risorsa naturale o sistema tecnico dal quale è possibile estrarre o recuperare energia. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.1.4.
- **Uso dell'energia:** Modalità o tipo di impiego dell'energia. FONTE: ISO/IEC 13273-1:2015, 3.1.12.
- **Energia non rinnovabile:** energia da una fonte che è impoverita dall'estrazione (per esempio combustibili fossili). FONTE: CEN/TR 15615:2008, 3.20.
- **Energia rinnovabile:** energia da una fonte che non è impoverita dall'estrazione, quali, ad esempio, l'energia solare, il vento, l'energia dell'acqua, le biomasse rinnovabili. FONTE: CEN/TR 15615:2008, 3.21.

## 4. Analisi dello stato di fatto

### 4.1 Analisi del contesto

Il primo step della metodologia proposta prevede lo svolgimento di una analisi iniziale del contesto circostante l'edificio dal punto di vista ambientale, sociale e culturale. A tal fine, potranno essere svolte le seguenti attività:

- sopralluoghi in situ, eventuali interviste agli occupanti dell'immobile e al responsabile della struttura;
- indagini preliminari (i.e. monitoraggi microclimatici interni/esterni mediante stazioni di monitoraggio portatili, raccolta di misure, interazione con i responsabili della gestione/manutenzione dell'edificio, ecc.);
- raccolta di documentazione da archivi storici;
- inquadramento urbanistico dell'immobile.

Molto spesso, gli edifici di natura storica sono situati all'interno di aree vincolate; in tal caso è necessario raccogliere tutte le informazioni necessarie per poter valutare le possibili azioni

da introdurre. Inoltre, il contesto circostante ha un impatto non affatto trascurabile nell'ambito della determinazione della prestazione energetico-ambientale degli edifici, che si tratti ad esempio di ambiente costruito o di aree verdi. Pertanto, risulta cruciale identificare le forzanti e i vincoli esterni presenti per una corretta definizione delle condizioni al contorno, nell'ottica delle future analisi tecniche volte alla definizione di scenari di efficientamento.

#### 4.2 Definizione del perimetro dell'intervento

A seguito della caratterizzazione del contesto di riferimento, è necessario definire in maniera chiara il perimetro dell'analisi. Molto spesso, infatti, gli edifici storici si trovano all'interno di complessi che includono la compresenza di diversi fabbricati connessi tra loro; al fine dell'applicazione della metodologia, risulta di primaria importanza delimitare il campo dello studio fin dalle prime fasi di lavoro, suddividendo eventualmente in diversi step il percorso di riqualificazione da definire, ipotizzando di intervenire in maniera graduale e successiva su diversi edifici presenti.

#### 4.3 Caratterizzazione dell'edificio da un punto di vista architettonico, strutturale e tecnologico

Al fine di valutare le possibili strategie di miglioramento della prestazione energetica e della sostenibilità ambientale di un immobile, è fondamentale analizzare lo stato di fatto, considerando le sue caratteristiche costruttive, architettoniche e tecnologiche. A tal fine, per definire correttamente i materiali e sistemi impiantistici/di gestione esistenti, è necessario adottare diverse strategie operative, tra cui:

- raccolta di documentazione storica sull'edificio e analisi storico-architettonica, per una lettura diacronica degli interventi realizzati nel corso del tempo;
  - raccolta di schede tecniche e libretti d'impianto;
  - raccolta di dati relativi all'attivazione degli impianti (generazione, distribuzione e controllo);
  - raccolta di documentazione tecnica relativa all'impianto architettonico e strutturale (planimetrie, sezioni, prospetti);
  - raccolta di dati di monitoraggio, riguardanti consumi energetici e parametri ambientali, laddove disponibili;
  - rilievi e misurazioni spot in situ, per integrare le informazioni disponibili;
  - raccolta informazioni relative al regime occupazionale, per valutare l'utilizzo effettivo degli spazi.
- Queste attività sono indispensabili per costruire un quadro completo della situazione esistente ("AS IS") e per individuare possibili margini di ottimizzazione ("TO BE").

#### 4.4 Descrizione del valore culturale e dei vincoli

Lo studio della strategia di miglioramento dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale di edifici ad elevato valore storico-testimoniale non può prescindere dall'analisi preliminare della sua storia, nell'ottica della conservazione e del rispetto dei vincoli imposti dalle autorità per i beni culturali. Nel dettaglio, dovrà essere effettuato un accurato studio dei seguenti aspetti:

- analisi del progetto originario e della storia degli sviluppi dell'edificio e dei suoi componenti, tenendo conto di dettagli costruttivi e sistemi tecnici al fine di ricostruire i cambiamenti succedutisi nel tempo anche in relazione alla distribuzione interna/esterna e all'evoluzione della destinazione d'uso;
- recupero di dati rilevanti in merito a preesistenze archeologiche, laddove presenti;
- analisi storico-architettonica per la definizione del valore culturale dell'edificio e dello stato di conservazione, in ottica di definizione dei vincoli per la riqualificazione e preservazione;
- valutazione della vulnerabilità rispetto all'evoluzione dell'edificio e dei suoi elementi caratterizzanti;
- individuazione delle opportunità di recupero e della predisposizione alla conservazione, con definizione delle priorità tenendo conto dei vincoli imposti dalle autorità preposte alla tutela dei beni culturali.

A tali fini, è di primaria importanza instaurare fin dalle fasi preliminari del processo un'interlocazione costante e continuativa con gli stakeholder del progetto, tra cui a titolo esemplificativo e non esaustivo il conservatore, il responsabile della gestione e manutenzione, la Soprintendenza, il Ministero dei Beni Culturali in aggiunta ad altri enti competenti (Vigili del Fuoco, ecc.).



#### 4.5 Analisi preliminare dell'utilizzo dell'edificio

Al fine di poter correttamente analizzare lo stato di fatto e valutare successivamente i possibili interventi di efficientamento, è fondamentale ricostruire i profili di occupazione dell'edificio, nonché il regime di utilizzo e le destinazioni d'uso dei diversi ambienti. Questo processo è indispensabile per stimare accuratamente i carichi e i fabbisogni da considerare nelle proposte di miglioramento dell'efficienza energetica e di ottimizzazione del controllo microclimatico interno.

Il comportamento degli utenti all'interno degli edifici incide significativamente sulla conservazione, sui consumi energetici e sui relativi costi. Tale aspetto è particolarmente rilevante negli edifici storici, dove spesso coesistono ambienti destinati a usi differenti, come uffici, aree espositive o depositi. Questi spazi presentano livelli di occupazione e necessità di controllo microclimatico estremamente variegati, richiedendo approcci diversificati e specifici.

Oltre a una valutazione accurata dell'uso attuale dell'edificio, è determinante analizzare:

- gli usi storici, per comprendere l'evoluzione funzionale dell'immobile;
- l'uso futuro supposto o pianificato, per orientare le proposte progettuali.

In particolare, l'analisi dell'uso futuro dell'edificio deve essere condotta con un approccio critico, al fine di individuare soluzioni efficienti che minimizzano l'impatto sulla valenza storico-culturale dell'edificio.

#### 4.6 Prima valutazione energetica e ambientale

Il primo passo per la determinazione delle esigenze di miglioramento dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale di edifici storici è la valutazione della prestazione attuale e del reale uso di energia. In via preliminare, tale valutazione viene effettuata mediante:

- analisi dei consumi dell'edificio sulla base dei dati raccolti con il supporto del responsabile della struttura (i.e. dati storici desumibili dalle fatture energetiche e/o dati misurati in loco);
- campagne di misure microclimatiche e ambientali temporanee (es. monitoraggio ambientale interno/esterno di durata limitata in regime estivo/invernale e/o reperimento dati di monitoraggio storici) da effettuarsi in normali condizioni d'utilizzo dell'edificio;
- indagini esplorative, laddove possibile (i.e. termografiche, soniche e pacometriche, endoscopiche, ultrasoniche e mineralogiche).

In tal modo, è possibile determinare la prestazione dell'edificio in regime di utilizzo, analizzando la tipologia di utenza, le destinazioni d'uso e i vettori energetici utilizzati, anche in relazione alle condizioni al contorno meteorologiche. Grazie alla correlazione tra questi aspetti sarà possibile determinare le diverse misure migliorative della prestazione globale dell'edificio in ottica di ottimizzazione e recupero.

Nel caso degli edifici storici nel corso degli anni, risulta di estrema importanza l'analisi degli usi dell'edificio e la valutazione delle specifiche necessità di conservazione del valore artistico-culturale nell'ambito delle proposte di efficientamento (es. temperature interne mediamente più basse, usi stagionali, livelli di riscaldamento da garantire per la preservazione, ecc.). Inoltre, gli immobili connotati da elevata valenza storico-testimoniale richiedono tendenzialmente un'analisi più approfondita volta a dettagliare le necessità relative al restauro, il recupero, la sostituzione di componenti, la prospettiva di vita più lunga di quella di nuove costruzioni; ciò richiede l'applicazione di un approccio LCA (Life Cycle Assessment) fin dalle valutazioni preliminari.

Tale valutazione, mirata a realizzare una sorta di diagnosi dello status quo, consentirà la determinazione preliminare di un set di misure tali da garantire il miglioramento delle condizioni ambientali esistenti, dell'efficienza dei sistemi impiantistici e della performance dell'involucro edilizio, che potranno successivamente essere approfondite mediante analisi tecniche.

### 5 Definizione degli obiettivi dell'intervento

In questa fase del processo vengono definiti gli obiettivi e i sotto-obiettivi prestazionali energetici ed ambientali da perseguire. L'obiettivo generale è il perseguimento della prestazione energetica migliore possibile, conservando il valore culturale dell'edificio storico e tenendo conto delle necessità di mantenimento di tale prestazione nel tempo, grazie alla definizione di una strategia di gestione e manutenzione a lungo termine.

In particolare, il progetto mira a produrre benefici in termini di:

- compatibilità con le necessità di preservazione del valore storico-culturale dell'edificio;
- effetto in termini di riduzione del fabbisogno energetico e dell'impatto ambientale;
- impatto sul microclima interno, in termini di comfort e preservazione;
- coerenza con le destinazioni d'uso a regime;
- fattibilità tecnico-economica;

tenendo conto delle principali direttive in materia di benessere ed efficienza energetica nonché delle esigenze di conservazione.

## 6. Individuazione delle necessità di intervento per il miglioramento delle prestazioni

L'obiettivo di questa fase è quello di stabilire la necessità o meno di un miglioramento dell'efficienza energetica o di un consolidamento strutturale dell'edificio storico. Infatti, a seguito della fase di analisi e ricostruzione approfondita dello status quo, è possibile individuare i margini d'azione e i campi d'intervento nell'ambito dei quali focalizzare eventuali proposte di misure volte al miglioramento delle prestazioni e della sostenibilità energetico-ambientale dell'edificio storico. In particolare, la necessità dell'intervento di efficientamento potrà essere definita in ciascun ambito sulla base dell'attuale condizione dell'edificio e degli obiettivi individuati.

## 7. Definizione e prima valutazione delle misure da adottare

### 7.1 Identificazione di una lista di misure

Nel caso in cui risulti necessario il miglioramento della prestazione energetica e sostenibilità ambientale dell'edificio, è possibile avviare la fase di identificazione di misure specifiche che potranno riguardare:

- l'involucro edilizio;
- i sistemi impiantistici;
- la fornitura e i sistemi di controllo dei sistemi energetici;
- il comportamento degli occupanti;
- le aree esterne prospicienti l'edificio.

Nel caso di interventi volti al recupero sostenibile di edifici storici, generalmente le misure riguardano, a carattere esemplificativo:

- la selezione di materiali a basso impatto energetico-ambientale, connotati da elevate prestazioni termo-igrometriche-acustiche e a ridotto impatto visivo;
- la riduzione dell'uso di energia massimizzando la resa degli impianti di climatizzazione;
- l'ottimizzazione della qualità interna dell'aria;
- il miglioramento del controllo della radiazione solare e degli effetti del daylighting;
- l'installazione di sistemi elettrici e illuminotecnici efficienti e a basso consumo;
- l'introduzione di sistemi di controllo e monitoraggio degli impianti.

La procedura di selezione di una lista preliminare di possibili misure prevede un iter graduale che vede il coinvolgimento di una molteplicità di competenze e figure professionali, nonché stakeholder del settore che possano supportare i seguenti passaggi:

- identificazione del set di misure applicabili, ciascuno caratterizzato eventualmente da diverse possibili opzioni tecnologiche da approfondire, per la creazione di una "lista" di possibili interventi. Tale lista viene predisposta sulla base delle condizioni climatiche al contorno, dalle caratteristiche dell'immobile, dal contesto, dalle indagini eseguite sullo status quo e può riguardare sia la struttura del fabbricato sia gli impianti;
- compilazione di schede di intervento, contenenti i dettagli relativi alla motivazione, alla tecnologia proposta, alle tecniche di realizzazione, ad una stima di massima dei benefici conseguibili, nonché ad esempi di casi realizzativi pregressi simili qualora disponibili;
- esclusione delle misure ritenute inappropriate e non applicabili, anche grazie al coinvolgimento di stakeholders quali, ad esempio, la Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio e il Ministero dei Beni Culturali, laddove necessario;

- approfondimento tecnico-economico delle misure rimanenti;
- selezione della lista di misure finale e consolidamento delle schede d'intervento;
- analisi del pacchetto di misure selezionate in relazione agli obiettivi preposti.

## 7.2 Valutazione preliminare delle misure

Una volta predisposta la lista delle possibili misure, dettagliate in relative schede di intervento, è necessario procedere ad una valutazione tecnico-economica preliminare delle stesse mediante una combinazione di metodologie quali:

- approccio LCA, focalizzandosi in prima analisi su una valutazione della Carbon Footprint;
- analisi della compatibilità con i requisiti minimi di programma di protocolli di certificazione energetico-ambientale opportunamente selezionati;
- valutazione di massima dei costi.

Nei paragrafi seguenti si riportano le descrizioni di dettagli delle suddette analisi.

### 7.2.1 Analisi preliminare della sostenibilità delle misure mediante approccio Carbon Footprint

Le diverse misure di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici possono essere implementate attraverso differenti opzioni tecnologiche tra loro alternative. La scelta delle diverse opzioni deve essere quindi guidata da diversi criteri, tra cui spiccano, con crescente rilevanza, i criteri ambientali.

Da un punto di vista normativo, la norma europea EN 16883:2017 "Conservazione dei beni culturali- Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici" 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'applicazione della norma, per altro, non è da intendersi come limitata ai soli edifici ufficialmente designati come bene culturale, ma si applica agli edifici storici di ogni tipo ed età. In particolare, la EN 16883 raccomanda che le valutazioni di sostenibilità, ed in particolare di sostenibilità ambientale, siano effettuate con un'ottica di ciclo di vita.

Ciò comporta che le opzioni di risparmio energetico negli edifici, compresi quelli storici, devono essere valutate nell'ottica del ciclo di vita per garantire che le soluzioni implementate siano sostenibili a lungo termine. Questo approccio permette di considerare non solo i benefici immediati in termini di riduzione dei consumi energetici, ma anche l'impatto ambientale complessivo associato all'intero ciclo di vita dell'edificio e delle tecnologie utilizzate. In altri termini, si tratta di applicare la norma ISO 14040, che fornisce le linee guida generali sulla definizione ed applicazione delle analisi di ciclo di vita ovvero della Life Cycle Assessment (LCA). Pur essendo numerose le metriche in grado di fornire indicatori ambientali che si adattano alla metodologia LCA e che permettono di coprire le diverse matrici ambientali (si veda ad esempio la Commission Recommendation on the use of the Environmental Footprint methods del 2021), qui si tratta di individuare un indicatore che sia di supporto e guida in un'analisi preliminare e la cui quantificazione non richieda un impiego di risorse e competenze sproporzionato; un indicatore che risponda alle caratteristiche di essere rilevante per il problema in esame e di essere affidabile e robusto.

In tal senso, l'impronta di carbonio rappresenta l'indicatore più adatto da utilizzare in fase preliminare, poiché quantifica le emissioni di CO<sub>2</sub>eq generate dalle varie fasi del ciclo di vita, dalla produzione dei materiali alla loro installazione, uso, manutenzione e smaltimento finale. Gli edifici, infatti, e in particolare il riscaldamento e il raffrescamento residenziale, giocano un ruolo cruciale nelle emissioni di CO<sub>2</sub> nazionali, essendo tra i principali consumatori di energia. Si pensi, infatti, che il consumo energetico degli edifici contribuisce al 36% delle emissioni climateranti legate al settore energia<sup>1</sup>. Interventi mirati a migliorare l'efficienza energetica in questi settori, come l'isolamento termico, l'adozione di sistemi di riscaldamento e raffrescamento più efficienti e l'utilizzo di fonti rinnovabili, possono quindi contribuire significativamente alla riduzione delle emissioni di gas serra. Valutare tali opzioni con un approccio di ciclo di vita assicura che gli interventi non solo migliorino le prestazioni energetiche, ma siano anche sostenibili dal punto di vista ambientale e possano portare a una diminuzione complessiva dell'impronta di

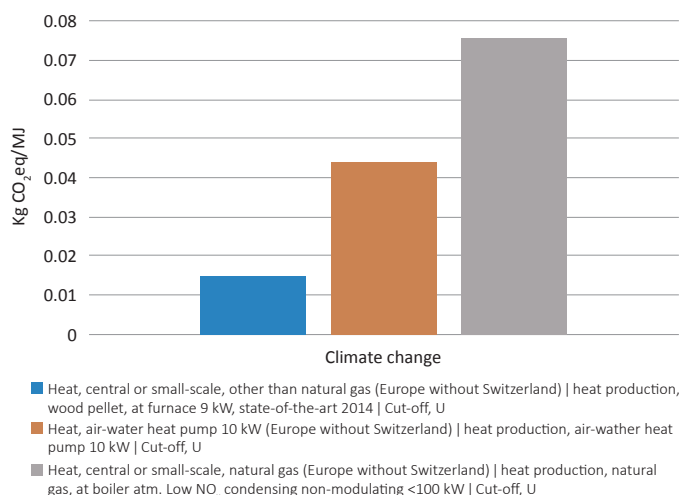
1 [https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17\\_it](https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_it), ultimo accesso 2-07-2024

carbonio. Si delinea quindi come indicatore ideale in questa fase l'indicatore GWP100 (Global Warming Potential 100 anni) secondo i fattori di caratterizzazione IPCC 2021 così come suggerito dalla Commissione EU nella raccomandazione sopra citata. Il modello IPCC 2021- GWP100 definisce il potenziale di riscaldamento globale (Global Warming potential - GWP) di diversi gas serra, calcolato su un orizzonte temporale di 100 anni, come riportato nel Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) del 2021<sup>2</sup>. Il GWP è una misura che confronta l'impatto di diversi gas serra sull'effetto serra rispetto alla CO<sub>2</sub> e li riporta ad un'unità di misura comune espressa in termini di kg di CO<sub>2</sub> equivalente<sup>3</sup>.

La stessa commissione EU identifica con un livello I di affidabilità (in una scala da I – valore massimo – a III – valore minimo)<sup>4</sup> l'indicatore IPCC 2021. Naturalmente, in ossequio alla ISO 14040, le opzioni tecnologiche vanno confrontate a parità di servizio reso. Si tratta quindi di individuare la funzione della misura, definirne una metrica e quindi confrontare le opzioni tecnologiche sulla base di tale metrica. Se, ad esempio, la misura prevede il miglioramento dell'impianto di riscaldamento, questo può essere conseguito attraverso diverse opzioni tecnologiche tra cui – a puro titolo di esempio – una caldaia a pellet, una caldaia a gas naturale ad alta efficienza, una pompa di calore. Le diverse opzioni saranno quindi confrontate sulla base della "unità funzionale" ovvero dei MJ di calore forniti che sono la misura del servizio reso. Nel quantificare gli impatti al MJ fornito, si terrà conto della costruzione, uso e dismissione ed ovviamente del quantitativo totale di MJ fornito durante la vita della singola opzione così come nella formula seguente la CO<sub>2</sub>eq della i-esima opzione tecnologica sarà data dalla seguente equazione:

$$\text{CO}_2\text{eq } i = \frac{(\text{CO}_2\text{eq Costruzione} + \text{CO}_2\text{eq dismissione} + \text{CO}_2\text{eq esercizio})}{(\text{MJ/anno} \cdot \text{anni di vita})}$$

A solo titolo di esempio, si riporta in figura 4 il confronto tra la Carbon Footprint (effettuato con l'indicatore IPCC 2021) dei tre sistemi di riscaldamento citati utilizzando i dati del database Ecoinvent 3.9.1:



| Figura 4: confronto tra la Carbon Footprint (effettuato con l'indicatore IPCC 2021) dei tre sistemi di riscaldamento citati.

2 [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)

3 <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

4 Il JRC nel report "Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods" aveva appunto individuato tre diversi livelli di "affidabilità" per gli indicatori ambientali da applicarsi nella analisi LCA: "Level I" (recommended and satisfactory), "Level II" (recommended but in need of some improvements) or "Level III" (recommended, but to be applied with caution).



### 7.2.2 Analisi dell'applicabilità di protocolli di certificazione energetico-ambientali

Questa fase prevede l'effettuazione di uno screening preliminare delle misure selezionate volto a identificare quelle utili ai fini della certificazione dell'intervento di riqualificazione mediante protocolli di certificazione energetico-ambientali preventivamente identificati.

Pertanto, in ciascuna delle schede d'intervento è prevista l'indicazione dell'ammissibilità o meno della singola misura sulla base dei criteri del protocollo ipotizzato, tramite l'analisi preliminare della compatibilità con i Requisiti Minimi di Programma (MPR) previsti, nell'ottica di progetto integrato complessivo.

Nel caso specifico degli edifici storici, in aggiunta ai protocolli più diffusi tra i quali ad esempio quelli della famiglia LEED (i.e. O&M, SITES), troviamo anche il protocollo del Green Building Council- Historic Building (GBC HB), specificatamente sviluppato per applicazione nell'ambito di edifici ad elevato valore storico-testimoniale.

### 7.2.3 Analisi preliminare dei costi attribuibili alle singole misure proposte

In questa fase, le misure selezionate vengono valutate ai fini di stimarne il costo di realizzazione, includendo materiali, manodopera, permessi e altri costi accessori. Nel caso in cui l'intervento in esame faccia parte di un progetto più ampio, viene studiato singolarmente.

In via preliminare, nelle more dell'acquisizione di elementi di maggiore dettaglio relativamente al progetto e/o informazioni quantitative più specifiche, questa stima viene eseguita prediligendo le seguenti fonti di informazioni:

- esperienze precedenti: importo dei lavori di interventi assimilabili per natura, contesto ed estensione;
- banche dati e guide tecniche: fonti riconosciute che forniscano informazioni sui costi medi per vari interventi di riqualificazione energetica;
- esperienza professionale: consultando esperti del settore, sia interni che esterni all'organizzazione, per ottenere una stima.

L'intervallo di confidenza atteso per questa stima è del +/-40% dei costi previsti.

## 7.3 Elaborazione della matrice di compatibilità

Dopo aver identificato le varie misure applicabili così come descritto nelle precedenti sezioni, si procederà con un'analisi complessiva di tipo quali-quantitativo volta ad individuare gli effetti sinergici o limitanti delle varie misure proposte le une rispetto alle altre al fine di trovare una soluzione che possa dare un risultato quanto più ottimizzato in presenza di più interventi. In altre parole, con questa analisi si valuterà quali soluzioni siano mutuamente esclusive perché tra loro incompatibili o al contrario siano sovrapponibili ponendo l'accento sugli effetti che possono generarsi per andare poi a comporre scenari di interventi multipli i cui benefici sono in toto o in parte additivi o viceversa scenari che possano ridurre parzialmente l'effetto di un intervento.

Come output di questa prima analisi verrà redatta una "Matrice di compatibilità" delle misure individuate che nella parte alta riporta gli incroci delle varie misure per capire le interazioni di ciascuna con le altre individuate ed in quella sottostante per ogni misura riporterà sinteticamente la determinazione quali-quantitativa dei parametri di valutazione espressi nei paragrafi precedenti.

Di seguito è riportato a puro titolo esemplificativo un fac-simile di matrice, compilata sotto forma di tabella:

Identificativo della misura individuata		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ambito di riferimento della misura
		Sostituzione caldaia	Ottimizzazione set point estivi/invernali	Revamping climatizzazione estiva	Impianto HVAC	Installazione lampade led	Sostituzione infissi con vetri basso emissivi	Installazione di cappotti di isolamento	Strumenti di domotica, automazione	Installazione pannelli FV/solare termico	Installazione colonnine di ricarica	
1	Sostituzione caldaia		S	S		I	S	S	S	S	I	Energia
2	Ottimizzazione set point estivi/invernali	S		S	S	I	S	S	S	S	I	Energia
3	Revamping impianto climatizzazione estivo	S	S			I	S	S	S	S	I	Energia
4	Impianto HVAC	X	S	X		I	S	S	S	S	I	Energia
5	Installazione lampade led	I	I	I	I		I	I	I	I	I	Energia
6	Sostituzione infissi con vetri basso emissivi	S	S	S	S	I		S	S	S	I	Asset
7	Installazione di cappotti di isolamento	S	S	S	S	I	S		S	S	I	Asset
8	Strumenti di domotica, automazione	S	S	S	S	I	S	S		I	I	Energia
9	Installazione pannelli FV/solare termico	S	S	S	S	I	S	S	I		I	FER
10	Installazione colonnine di ricarica	I	I	I	I	I	I	I	I	I		Mobilità
Valutazione impatti della misura												
Parametri		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Carbon Footprint												
Costi investimento												
Coerenza con protocolli												
Indirizzi strategici												

Legenda: **I** = Iniziative indipendenti **S** = Iniziative sinergiche **C** = Compatibili **X** = Incompatibili

In particolare, si indicano:

- con la lettera “I”, le iniziative indipendenti dallo scenario indagato ovvero quelle che possono essere sempre adottate nello scenario di riferimento apportando un beneficio;
- con la lettera “S”, le iniziative sinergiche rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo rispetto ai singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera “C”, le iniziative compatibili con quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo ridotto rispetto alla somma dei singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera “X”, le iniziative incompatibili rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un effetto peggiorativo o non sarebbero tecnicamente applicabili/sostenibili.

Poiché la matrice riporta sia in riga che in colonna la misura individuata, l'incrocio di una misura e della sua reciproca avrà lo stesso legame (es. l'incrocio riga 1-colonna 2 e riga 2-colonna 1 sarà equivalente) così come l'incrocio di riga e colonna equivalenti sarà non compilabile, essendo la relazione tra una misura e se stessa. Infine, leggendo la tabella per colonne, nella parte sottostante è riportato un prospetto di sintesi delle valutazioni dei singoli parametri espressi nelle sezioni precedenti, che saranno poi combinati per la definizione degli scenari di intervento (par. 9.3).

#### 7.4. Definizione di ulteriori criteri di valutazione delle misure

Una volta conclusa la fase di analisi preliminare tecnica ed economica della lista delle misure identificate, è necessario effettuare una valutazione sistematica che consenta di analizzarne anche gli impatti sull'edificio e sul suo valore artistico-culturale e che tenga conto dei potenziali benefici conseguibili nel rispetto delle esigenze e dei vincoli di conservazione. A tal fine, è necessario definire, per ciascuno dei criteri di cui alla sezione 5 dei livelli di rischio, come ad esempio:

- rischi legati alla compatibilità tecnica;
- impatto visivo, materico, spaziale;
- costi di investimento e operativi, ritorno e risparmio economico;
- prestazione energetica;
- idoneità delle condizioni ambientali per garantire il comfort degli occupanti nonché la tutela dei manufatti di elevato valore storico-artistico-culturale;
- impatto ambientale (ad es. emissioni di sostanze dannose, gas a effetto serra, uso di risorse naturali);
- conseguenze sull'uso dell'edificio e sugli occupanti (derivante ad esempio da variazioni delle funzioni o dall'introduzione di nuovi locali/di sistemi di controllo).

#### 7.5. Esclusione delle misure non appropriate

Una volta definiti i criteri di selezione e compilata la matrice di compatibilità, è possibile escludere dalla lista quelle misure che risultano non adeguate o incompatibili rispetto ad altre misure ritenute strettamente necessarie. L'output di questa fase è pertanto rappresentato da una short list di schede di interventi che sono considerati come potenzialmente realizzabili.

### 8. Approfondimenti tecnici per la valutazione energetica e ambientale delle misure

#### 8.1. Monitoraggio e analisi sperimentale

Questa fase prevede una valutazione scientifica delle soluzioni innovative proposte, attraverso una serie di attività, tra cui:

- analisi conoscitive preliminari:
  - analisi strutturale dell'edificio, per individuare eventuali necessità di consolidamento e/o criticità;
  - analisi geologiche, finalizzate a valutare le caratteristiche termiche del sottosuolo, anche in funzione di una possibile installazione di impianti geotermici;
  - analisi archeologiche volte ad individuare la fattibilità di interventi sul sottosuolo, come scavi o installazioni impiantistiche;
- monitoraggio ambientale di lungo periodo, in continuo, dei principali parametri microclimatici interni ed esterni mediante utilizzo di stazioni meteorologiche fisse e/o portatili (i.e. temperatura dell'aria, temperatura superficiale, velocità e direzione dell'aria, radiazione solare incidente, radiazione solare riflessa, illuminamento, ecc.);
- caratterizzazione sperimentale in laboratorio e/o in campo e/o simulato delle proprietà termo-ottiche dei materiali volta all'ottimizzazione della prestazione energetica delle soluzioni proposte.

Successivamente, si procede all'analisi dei dati raccolti e alla redazione di rapporti tecnici, che saranno utilizzati per integrare la short list delle misure selezionate e consentire l'espletamento delle fasi successive.

#### 8.2. Simulazioni numeriche

Questa fase prevede lo sviluppo di simulazioni numeriche volte a fornire dati di maggior dettaglio per il dimensionamento delle misure. In particolare, potranno essere elaborati:

- un modello termo-energetico tridimensionale dell'edificio, calibrato e validato sulla base dei consumi reali e delle condizioni al contorno locali esterne. Il modello potrà essere utilizzato per simulare in regime dinamico le prestazioni dell'edificio nel corso dell'anno e in diverse configurazioni. Tale simulazione potrà essere svolta mediante utilizzo di diversi strumenti, che prevedono l'inserimento di dati di input quali, ad esempio, le proprietà termofisiche dei

materiali costruttivi, le caratteristiche degli impianti presenti e il regime d'uso delle diverse zone termiche dell'edificio al fine di ricavare dati di output relativi a: fabbisogni energetici (kWh/mq), parametri ambientali (i.e. temperatura dell'aria, temperature superficiali) e indici di comfort;

- un modello geologico del sottosuolo in corrispondenza dell'area di interesse, volto a valutare i possibili utilizzi a scopi energetici;
- un modello microclimatico dell'area prospiciente l'edificio, volto a caratterizzarne le prestazioni su scala più ampia; tale modellazione, basata sulle leggi fondamentali della fluidodinamica e termodinamica, consente di risolvere l'interazione tra superficie-piante-aria in ambiente urbano attraverso la simulazione di campo del vento, scambi energetici superficiali, impatto della vegetazione, bioclimatologia, dispersione di inquinanti. Pertanto, a partire da alcuni dati di input (condizioni al contorno climatiche, materiali, caratterizzazione in 3D dell'area di interesse) è possibile ricavare i principali parametri atmosferici (i.e. temperatura e umidità dell'aria, radiazione, vento), superficiali (i.e. radiazione incidente, temperatura) e indici di comfort;
- un modello di simulazione delle prestazioni termoenergetiche dei materiali costituenti l'edificio, utilizzando strumenti per la modellazione multifisica. Una volta definiti i principali parametri geometrici e fisici relativi ai componenti di interesse, attraverso tale modellazione è possibile ricavare, ad esempio, i flussi di calore per conduzione, convezione e irraggiamento, modellando i campi di temperatura.

Tali modelli potranno essere utilizzati al fine di simulare le prestazioni energetiche a confronto nelle seguenti configurazioni:

- stato di fatto;
- singole misure proposte per valutarne l'impatto in termini di fabbisogni energetici e comfort ambientale (analisi di sensitività).

### 8.3. Consolidamento delle misure proposte

Successivamente allo svolgimento degli approfondimenti tecnici mediante campagna di monitoraggio ambientale e analisi numerica, è possibile affinare ulteriormente la selezione delle misure proposte sulla base dei risultati in termini di benefici energetico-ambientali conseguibili.

Il consolidamento delle misure proposte consiste pertanto nell'identificazione del set di possibili soluzioni e da selezionare al fine della definizione di scenari di intervento da approfondire nella seconda fase dell'analisi.

## 9. Definizione della strategia d'intervento

Al fine della definizione della strategia di intervento finale, è necessario definire diversi scenari di possibili interventi che potranno essere approfonditi e confrontati dal punto di vista energetico-ambientale ed economico.

### 9.1. Definizione di scenari di intervento

Uno "scenario di intervento" è il risultato della combinazione di diverse misure; al fine della definizione della strategia finale di efficientamento, si prevede la predisposizione di diversi scenari da confrontare al fine di individuare quello più adeguato al caso specifico. La predisposizione dei diversi scenari viene effettuata mediante valutazione di diversi livelli perseguibili di efficienza energetica, sostenibilità ambientale e convenienza economica.

### 9.2. Individuazione di criteri di valutazione degli scenari

I criteri di valutazione degli scenari vengono definiti in linea con gli obiettivi dell'intervento (sezione 5) e con quanto previsto per la selezione delle singole misure (vedi sezione 7.3) e riguardano nel dettaglio:

- fattibilità tecnica;
- compatibilità con i vincoli storico-culturali dell'immobile;
- impatto ambientale;
- sostenibilità economica;
- risparmio energetico;



- ottimizzazione dei livelli di comfort;
- miglioramento del microclima locale interno ed esterno;
- coerenza con gli usi dell'edificio.

### 9.3. Valutazione degli scenari di intervento

Una volta definiti i criteri di valutazione degli scenari, sarà necessario effettuare opportuni approfondimenti tecnici mediante analisi numerica, scientifico-sperimentale ed economica, descritti nei paragrafi seguenti. Da questa interpretazione d'insieme delle opportunità proposte, è quindi possibile individuare plausibili "scenari" in ognuno dei quali si ipotizza di partire dalla scelta di una particolare misura progettuale posta in relazione con altre da realizzare contestualmente. Partendo dalla matrice delle compatibilità delle varie misure individuata in precedenza (par. 7.4), sarà quindi possibile individuare differenti scenari con quelle ipotizzate come realizzabili, valutandone compiutamente le relazioni identificando quindi nuovamente quelle compatibili/sinergiche/incompatibili. Due o più opzioni tra loro incompatibili apparterranno necessariamente a scenari diversi. Altre misure, qualora indipendenti dallo scenario selezionato, potranno essere realizzate indipendentemente. Come output dell'analisi verrà redatta una "Matrice degli Scenari", in cui sono sinteticamente riportate sulle righe le misure proposte e in colonna gli scenari individuati, evidenziando le iniziative che risulterebbe conveniente realizzare all'interno di un particolare scenario al fine di sfruttarne l'azione sinergica con le altre iniziative comprese nello scenario stesso. Nella parte centrale della matrice si potranno valorizzare anche le misure già in corso di realizzazione per valutarne gli effetti e relazioni rispetto alle nuove individuate. Nella parte bassa della matrice sarà possibile valutare complessivamente l'impatto dello scenario rispetto ai parametri di scelta già visti in precedenza.

Di seguito è riportato a puro titolo esemplificativo un fac-simile di matrice, compilata sotto forma di tabella partendo dall'esempio precedente delle compatibilità:

Opportunità		Ambito	Scenario 1	Scenario 2	Scenario ...	Scenario n
<b>Nuove misure proposte</b>						
1	Sostituzione caldaia	Energia	S	X		
2	Interventi gestionali ottimizzazione set point estivi/invernali	Energia	S	S		
3	Revamping impianto climatizzazione estivo	Energia	S	X		
4	Impianto HVAC	Energia	X	S		
5	Installazione lampade led	Energia	I	I		
6	Sostituzione infissi con vetri basso emissivi	Asset	S	S		
7	Installazione di cappotti di isolamento	Asset	S	S		
8	Introduzione o potenziamento di strumenti di domotica, automazione	Energia	S	S		
9	Installazione pannelli FV/solare termico	FER	S	S		
10	Installazione colonnine di ricarica	Mobilità	I	I		
<b>Iniziative già in corso</b>						
1	...					
2	...					
...	...					
<b>Valutazione impatti della misura</b>						
<b>Parametri</b>			<b>Scenario 1</b>	<b>Scenario 2</b>	<b>Scenario ...</b>	<b>Scenario n</b>
Carbon Footprint						
Costi investimento						
Coerenza con protocolli						
Indirizzi strategici						

Legenda: I = Iniziative indipendenti S = Iniziative sinergiche C = Compatibili X = Incompatibili

Come visto in precedenza si indicano:

- con la lettera “I” le iniziative indipendenti dallo scenario indagato ovvero quelle che possono essere sempre adottate nello scenario di riferimento apportando un beneficio;
- con la lettera “S” le iniziative sinergiche rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo rispetto ai singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera “C” le iniziative compatibili con quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo ridotto rispetto alla somma dei singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera “X” le iniziative incompatibili rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un effetto peggiorativo o non sarebbero tecnicamente applicabili sostenibili.

In caso non ci sia dipendenza tra i vari scenari e le opportunità, la matrice può essere semplificata elencando le opportunità e scrivendo semplicemente che ogni opportunità individuata è indipendente dalle altre.

### 9.3.1. Analisi mediante simulazione numerica

Al fine di confrontare i diversi scenari selezionati in termini di prestazioni energetico-ambientali, è necessario ripetere le analisi numeriche mediante simulazione, analogamente a quanto eseguito per le singole misure (vedi sezione 8.2), nell’obiettivo di verificare quale configurazione possa risultare più adeguata al caso specifico.

In particolare, potranno essere effettuate:

- simulazioni termoeenergetiche in regime dinamico mediante utilizzo di diversi strumenti disponibili sul mercato; l’attività di modellazione prevede in particolare una completa definizione delle caratteristiche dell’involucro, degli impianti, delle condizioni ambientali esterne e interne, del regime d’uso e delle zone termiche presenti nell’edificio al fine di ricavare tutti i principali dati relativi al consumo energetico e ai parametri termoigrometrici degli ambienti interni (inclusi, a titolo esemplificativo e non esaustivo: apporti interni dovuti alle persone, illuminazione artificiale, carichi elettrici aggiunti, infiltrazioni/ventilazione naturale, daylighting e mappe di illuminamento);
- simulazioni microclimatiche dell’area prospiciente l’edificio al fine del calcolo degli scambi di calore, massa e quantità di moto tra superficie-atmosfera. In particolare, la modellazione potrà essere realizzata mediante diversi strumenti e consentirà di ricavare:
  - flussi radiativi ad onda lunga ed onda corta (ombreggiamento, riflessione, re-irraggiamento);
  - flussi di calore sensibile e latente dalla vegetazione (simulazione dei fenomeni di evapotraspirazione e del processo di fotosintesi);
  - bilancio energetico di singole componenti di edificio;
  - scambio di acqua ed energia all’interno del suolo (incluso l’assorbimento d’acqua da parte delle piante);
  - rappresentazione 3d della vegetazione (bilancio idrico dinamico delle diverse specie);
  - dispersione di inquinanti (particolato e gas, e.g.  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ );
  - calcolo degli indici biometeorologici per la valutazione del comfort outdoor;
- simulazioni del comportamento termoeenergetico dei materiali tramite codici di calcolo di fluidodinamica computazionale che, a fronte della caratterizzazione geometrica, delle proprietà dei componenti e delle condizioni al contorno, consente di simulare i fenomeni di trasporto multi-fisico (i.e. massa, calore, quantità di moto).

### 9.3.2. Analisi mediante approccio LCA

La valutazione del ciclo di vita (LCA) rappresenta uno strumento essenziale per comprendere le implicazioni ambientali di interventi di miglioramento energetico negli edifici storici. La necessità, ma anche l’opportunità, di applicare un approccio di ciclo di vita alla definizione degli interventi di miglioramento dell’efficienza energetica di edifici storici di valenza culturale è rappresentata dalla già citata norma EN 16883, 2017 “Guidelines for improving the energy performance of historic buildings”.

La conduzione di una analisi di ciclo di vita è regolata dalla norma ISO 14040, che stabilisce i principi e i requisiti generali per la conduzione di un'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) e fornisce quindi una struttura comune per valutare gli impatti ambientali di un prodotto o servizio durante il suo intero ciclo di vita, "dalla culla alla tomba". Tuttavia, la norma non ha l'intento, né potrebbe farlo, di entrare nei dettagli di come eseguire l'LCA per specifiche filiere o prodotti. Per questo motivo, vengono sviluppate metodologie LCA specifiche per diversi settori, al fine di garantire la coerenza e la comparabilità dei risultati all'interno di una stessa categoria di prodotti. Queste metodologie sono, ad esempio, definite in documenti chiamati "Regole di Categoria di Prodotto" (PCR) o "Regole di Categoria di Impronta Ambientale di Prodotto" (PEFCR).

In particolare, le PCR definiscono per le EPD (Dichiarazioni Ambientali di Prodotto) i requisiti minimi per la conduzione di un LCA e la stesura di un EPD per una specifica categoria di prodotti. Ad esempio, esistono PCR per prodotti da costruzione, imballaggi, prodotti tessili, ecc. Allo stesso modo, le PEFCR definiscono la metodologia per il calcolo e la comunicazione dell'impronta ambientale di un prodotto in conformità con il metodo PEF (Impronta Ambientale di Prodotto). Le PEFCR sono armonizzate a livello europeo e sono disponibili per diverse categorie di prodotti, tra cui anche alcuni correlati all'efficienza energetica degli edifici (ad esempio per i pannelli fotovoltaici).

Esistono anche norme UNI specifiche per le dichiarazioni di sostenibilità in campo edile come la norma UNI EN 15804: Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services, UNI EN 15942:2021 Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Modelli di comunicazione azienda verso azienda (B2B). Quello che interessa in questa sede, tuttavia, non è tanto effettuare una dichiarazione di prodotto, ma individuare una metodologia per applicare la LCA in maniera coerente agli obiettivi generali della problematica in esame e, in particolare, definire le categorie di impatto da utilizzare nell'analisi. A questo scopo, nei paragrafi che seguono verrà fatta prima una breve disamina dei principali documenti di riferimento e quindi formulata una proposta metodologica che permetta da un lato di considerare tutte le principali problematiche ambientali in gioco, dall'altro di restringere il set di indicatori in modo da essere gestibile e supportare efficacemente una decisione che si basi anche su criteri economici, energetici e conservativi.

### 9.3.2.1 Normativa e documenti di riferimento

I principali documenti di riferimento per l'analisi di ciclo di vita di interventi di riqualificazione energetica di edifici di pregio storico-culturale sono i seguenti:

- ISO 14040- Standard per lo studio del ciclo di vita;
- Raccomandazione della Commissione Europea 2021/2279- Utilizzo dei metodi di impronta ambientale;
- EN 16883:2017 - Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici; Questo standard richiede un'analisi basata sul ciclo di vita per valutare le soluzioni sostenibili dal punto di vista economico, energetico e ambientale;
- UNI EN 15978:2011- Metodo di calcolo per la valutazione della prestazione ambientale degli edifici;
- UNI EN 15804+A2:2019- Dichiarazioni ambientali di prodotto per i prodotti da costruzione;
- UNI EN 15643:2021- Fornisce i principi e i requisiti per la valutazione della prestazione ambientale, sociale ed economica delle costruzioni;
- JRC Technical Reports Level(s) - Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio.

La norma ISO 14040, come accennato, delinea la struttura metodologica da seguire per effettuare un'analisi di ciclo di vita mentre la Raccomandazione 2021/2279 indica le categorie di impatto da utilizzare in una LCA in ambito europeo, nonché i metodi di calcolo (ovvero gli indicatori con i relativi fattori di caratterizzazione) come illustrato in Tabella 1.

**Tabella 1** Categorie di impatto unità di misura ed indicatori utilizzati per la environmental footprint. La tabella riporta anche fattori di normalizzazione e pesi per un punteggio aggregato\*

Impact category	Unit	Model adopted as in EF (Model robustness <sup>a</sup> )	Global normalisation factors <sup>b</sup>	Planetary Boundaries	Weighting factors <sup>c</sup> (%)
Climate change (CC)	kg CO <sub>2</sub> eq	Bern model- Global warming potentials (GWP) over a 100-year time horizon (based on IPCC 2021) (Forster et al., 2021) (I)	7,55E+03	6.81E+12	21,06
Ozone depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	EDIP model based on the ODPs of the World Meteorological Organisation (WMO) over an infinite time horizon (WMO 2014 + integrations) (I)	5,23E-02	5,39E+08	6,31
Particulate matter (PM)	Disease incidence	PM model (Fantke et al., 2016 in UNEP 2016) (I)	5,95E-04	5,16E+05	8,96
Ionising radiation (IR)	kBq U-235 eq.	Human health effect model as developed by Dreicer et al. (1995) and published in Frischknecht et al. (2000) (II)	4,22E+01	5,27E+14	5,01
Photomedical ozone formation (POF)	kg NMVOC eq.	LOTOS-EUROS model (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe 2008 (II)	4,09E+01	4,07E+11	4,78
Acidification (AC)	mol H <sup>+</sup>	Accumulated exceedance (Seppälä et al. 2006, Posh et al, 2008) (II)	5,56E+01	1,00E+12	6,2
Eutrophication, terrestrial (TEU)	mol N eq		1,77E+02	6,11E+12	3,71
Eutrophication, freshwater (FEU)	kg P eq		1,61E+00	5,81E+09	2,8
Eutrophication, marine (MEU)	kg N eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009) as applied in ReCiPe 2008 (III)	1,95E+01	2,01E+11	2,96
Freshwater ecotoxicity (ECOTOX)	CTUe	Based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017; Rosenbaum et al., 2008), as in Saouter et al., 2018 (III)	5,67E+04	1,31E+14	1,92
Human toxicity, non-cancer (HTOX_nc)	CTUh		1,29E-04	4,10E+06	2,13
Human toxicity, cancer (HTOX_c)	CTUh		1,73E-05	9,62E+05	1,84
Land use (LU)	Pt	Soil quality index based on LANCA model (De Laurentiis et al. 2019) and on the LANCA CF version 2.5 (Horn and Maier, 2018) (III)	8,19E+05	3,98E+15	7,94
Water use (WU)	m <sup>3</sup>	Available Water Remaining (AWARE) model (Boulay et al., 2018; UNEP, 2016) (III)	1,15E+04	1,82E+14	8,51
Resource use, fossils (FRD)	MU	ADP fossils (van Oers et al., 2002- as in CML 2002 method. v 4.8) (III)	4,60E+04	2,24E+14	8,32
Resource use, minerals and metals (MRD)	kg Sb eq.	ADP ultimate reserves (van Oers et al., 2002- as in CML 2002 method, v 4.8) (III)	6,36E-02	2,19E+08	7,55

a) EC (2021).

b) Andreasi Bassi et al. (2023).

c) Sala et al. (2018).

\*[https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/JRC132621\\_MS\\_guide.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/JRC132621_MS_guide.pdf)



Quanto alle altre norme, più specifiche per il settore delle costruzioni, oltre alla già citata UNI EN 16883:2017 vale la pena qui analizzare gli indicatori suggeriti in merito alle categorie di impatto.

La UNI EN 15978:2011 suggerisce un set di indicatori molto ampio, diviso in quattro categorie: n°5 Indicatori di categoria di impatto ambientale che si appoggiano ai modelli di caratterizzazione del metodo CML- IA versione 4.1, n°6 flussi fisici per tenere conto delle risorse in ingresso, n°3 relativi alla produzione dei rifiuti e n°4 relativi ai flussi in uscita dal sistema non classificabili come rifiuti. I singoli indicatori sono riportati nelle tabelle sottostanti.

**Tabella 2 UNI EN 15978:2011 Indicatori di categoria e i modelli di caratterizzazione - metodo CML - IA versione 4.1**

Categoria d'impatto	Indicatore di categoria
Depauperamento delle risorse abiotiche (fossili)	MJ
Depauperamento delle risorse abiotiche (elementi)	kgSbeq
Acidificazione potenziale di suolo e acque	kgSO <sub>2</sub> eq
Depauperamento dello strato di ozono	kgCFC-11eq
Potenziale di riscaldamento globale	kg CO <sub>2</sub> eq
Potenziale di formazione di ozono fotochimico	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq

**Tabella 3 UNI EN 15978:2011 Indicatori raccomandati per la descrizione dei flussi di risorse in ingresso**

Indicatori	Unità di misura
Consumo di risorse energetiche rinnovabili- energia primaria	MJ
Consumo di risorse energetiche non rinnovabili- energia primaria	MJ
Consumo di materie secondarie	kg
Consumo di combustibili secondari rinnovabili	MJ
Consumo di combustibili secondari non rinnovabili	MJ
Consumo di acqua	m <sup>3</sup>

**Tabella 4 UNI EN 15978:2011 Indicatori relativi alla produzione di rifiuti**

Indicatori	Unità di misura
Rifiuti pericolosi da inviare allo smaltimento finale	kg
Rifiuti non pericolosi da inviare allo smaltimento finale	kg
Rifiuti radioattivi inviati allo smaltimento finale	kg

**Tabella 5 UNI EN 15978:2011 Indicatori relativi ai flussi in uscita dal sistema non classificabili come rifiuti**

Indicatori	Unità di misura
Componenti riutilizzabili	kg
Materiali riciclabili	kg
Materiali destinati al recupero energetico	kg
Energia esportata	MJ

Con riferimento ai prodotti e servizi per le costruzioni, la norma UNI EN 15804 2019 ha aumentato il numero di indicatori ambientali da calcolare per la descrizione delle loro prestazioni. In dettaglio, la norma raccomanda l'uso di 19 indicatori di impatto ambientale distinti in "core environmental impact indicators" (indicatori di impatto ambientale principali), elencati in Tabella 6, e in "additional environmental impact indicators" (indicatori di impatto ambientale supplementari), elencati in Tabella 7.

**Tabella 6. Indicatori di impatto ambientale principali - Norma UNI EN 15804 2019**

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Acronimo</b>
Cambiamento climatico- totale	Potenziale di riscaldamento globale - totale	kg CO <sub>2</sub> eq	GWPt
Cambiamento climatico- contributo fossile	Potenziale di riscaldamento globale- combustibili fossili	kg CO <sub>2</sub> eq	GWPF
Cambiamento climatico- contributo biogenico	Potenziale di riscaldamento globale - biogenico	kg CO <sub>2</sub> eq	GW Pb
Cambiamento climatico- contributo dell'uso del suolo e del cambiamento dell'uso del suolo	Potenziale di riscaldamento globale - uso del suolo e del cambiamento dell'uso del suolo	kg CO <sub>2</sub> eq	GW PLULUC
Riduzione dello strato d'ozono	Potenziale di depauperamento dello strato di ozono stratosferico	kg CFC-11eq	ODP
Acidificazione	Acidificazione potenziale- superamento accumulato	mol H+eq	AP
Eutrofizzazione delle acque dolci	Eutrofizzazione potenziale, frazione di nutrienti che raggiunge il corpo idrico ricettore (acque dolci)	kg PO <sub>4</sub> eq	EPFW
Eutrofizzazione delle acque marine	Eutrofizzazione potenziale, frazione di nutrienti che raggiunge il corpo idrico ricettore (acque marine)	kg Neq	EPM
Eutrofizzazione terrestre	Eutrofizzazione potenziale, superamento accumulato del carico critico	molc Neq	EPT
Formazione di ozono fotochimico	Formazione potenziale di ozono troposferico	kg NMVOCeq	POCP
Depauperamento delle risorse abiotiche - minerali e metalli	Potenziale di depauperamento delle risorse abiotiche non fossili	kg Sbeq	ADPm&m
Depauperamento delle risorse abiotiche - combustibili fossili	Potenziale di depauperamento delle risorse abiotiche fossili (potere calorifico netto)	MJ	ADP fossil
Consumo della risorsa idrica	Potenziale di deprivazione idrica	m <sup>3</sup> world eq. deprived	WDP

**Tabella 7. Indicatori di impatto ambientale supplementari - Norma UNI EN 15804 2019**

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Acronimo</b>
Emissioni di particolato	Potenziale di incidenza delle malattie causate dalle emissioni di particolato	Potenziale di incidenza	PM
Riduzione ionizzante effetti sulla salute umana	Esposizione umana potenziale all'U235	kBq U235eq	IR
Ecotossicità delle acque dolci	Unità tossica comparativa potenziale per gli ecosistemi	CTUe	EFW
Tossicità per gli esseri umani-effetti non cancerogeni	Unità tossica comparativa potenziale per gli esseri umani	CTUh	HT-nce
Tossicità per gli esseri umani-effetti cancerogeni	Unità tossica comparativa potenziale per gli esseri umani	CTUh	HT-ce
Impatti connessi all'uso del suolo/qualità del suolo	Indice di qualità del suolo potenziale	-	LU

Gli indicatori raccomandati per la descrizione dei flussi di risorse in ingresso sono sintetizzati nella Tabella 8.

**Tabella 8. Indicatori di consumo di risorse - Norma UNI EN 15804 2019**

Parametro	Unità di misura
Consumo di energia primaria rinnovabile escluse le risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime	MJ
Consumo di risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime	MJ
Consumo totale di risorse di energia primaria rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime)	MJ
Consumo di energia primaria non rinnovabile escluse le risorse di energia primaria rinnovabile usate come materie prime	MJ
Consumo di risorse di energia primaria non rinnovabile usate come materie prime	MJ
Consumo totale di risorse di energia primaria non rinnovabile (energia primaria e risorse di energia primaria usate come materie prime)	MJ
Consumo di materie secondarie	kg
Consumo di combustibili secondari rinnovabili	MJ
Consumo di combustibili secondari non rinnovabili	MJ
Consumo di acqua	m <sup>3</sup>

Con riferimento alla descrizione dei rifiuti prodotti e degli altri flussi in uscita dal sistema, gli indicatori sono uguali a quelli raccomandati dalla norma UNI EN 15978 (Tabella 4 e Tabella 5). Inoltre, la norma UNI EN 15804 introduce due indicatori che descrivono il contenuto di carbone biogenico del prodotto al cancello dello stabilimento industriale (Tabella 9).

**Tabella 9. Indicatori relativi al contenuto di carbone biogenico - Norma UNI EN 15804 2019**

Parametro	Unità di misura
Carbone biogenico nel prodotto	kg C
Carbone biogenico nell'imballaggio	kg C

Note: 1 kg di carbone biogenico equivale a 44/12 kg CO<sub>2</sub>.

La norma UNI EN 15643:2021 riguarda i principi e i requisiti per la valutazione della prestazione ambientale, sociale ed economica delle costruzioni. In particolare, si concentra su:

- **Principi di valutazione:** stabilisce i principi per la valutazione delle prestazioni di sostenibilità degli edifici e delle opere di ingegneria civile.
- **Requisiti generali:** definisce i requisiti per la valutazione delle prestazioni ambientali, sociali ed economiche lungo tutto il ciclo di vita delle costruzioni.
- **Approccio integrato:** promuove un approccio integrato per valutare le prestazioni complessive delle costruzioni, considerando i tre pilastri della sostenibilità: ambiente, società ed economia.

La UNI EN 15643:2021 stabilisce un approccio olistico alla valutazione della sostenibilità delle costruzioni, mettendo in rilievo l'importanza della LCA e degli indicatori ambientali per monitorare e migliorare le prestazioni ambientali nel contesto della costruzione e gestione degli edifici. Gli indicatori ambientali che la norma UNI EN 15643:2021 prevede per la LCA includono, ma non si limitano a:

- **Consumo di energia:** valutazione dell'energia totale consumata durante il ciclo di vita dell'edificio.
- **Emissioni di gas serra:** quantificazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e altri gas serra.
- **Consumo di risorse naturali:** misurazione dell'uso di materiali e risorse naturali.
- **Produzione di rifiuti:** valutazione dei rifiuti generati durante le diverse fasi del ciclo di vita.

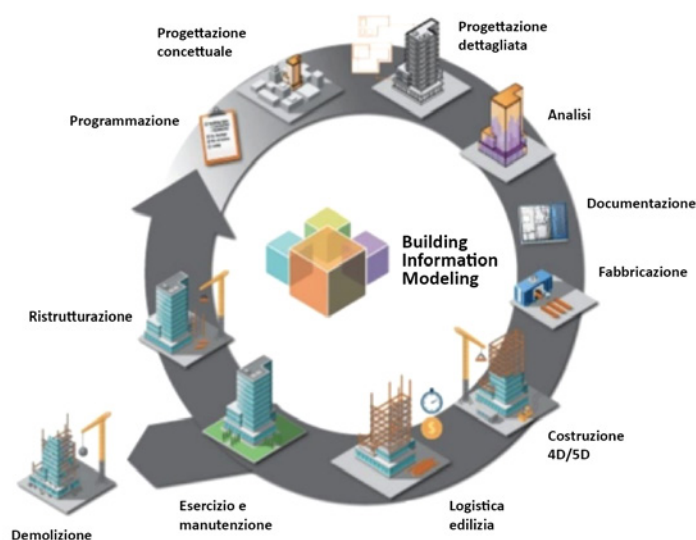
- **Inquinamento delle acque:** analisi dell'impatto sulla qualità delle acque e delle emissioni inquinanti nelle acque.
- **Impatti sulla biodiversità:** considerazione degli effetti sulle specie e sugli habitat naturali.
- **Inquinamento atmosferico:** misurazione delle emissioni di inquinanti atmosferici, come  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  e particolato.

Infine, considerato il ruolo chiave del settore dell'edilizia nella transizione verso un'economia circolare, il Joint Research Centre della Commissione europea ha recentemente sviluppato lo schema "Level(s)" che fornisce un quadro di riferimento comune dell'Unione europea per i principali indicatori della sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio. Con riferimento alle prestazioni ambientali, lo schema Level(s) classifica gli indicatori sui macro-obiettivi di seguito elencati:

- emissioni di gas serra lungo il ciclo di vita di un edificio;
- cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse;
- uso efficiente delle risorse idriche;
- spazi sani e accoglienti;
- adattamento e resilienza ai cambiamenti climatici;
- costo e valore ottimizzati del ciclo di vita.

In particolare, per gli indicatori relativi ai primi tre macro-obiettivi, quelli più legati agli aspetti ambientali, Level(s) propone un approccio basato sul ciclo di vita, come riportato in figura 5:

#### Macro-obiettivi 1-3: valutazione completa del ciclo di vita (LCA)



#### Valutazione del ciclo di vita (LCA) dalla culla alla tomba: categorie di impatto

- Cambiamenti climatici
- Riduzione dello strato di ozono
- Acidificazione
- Eutrofizzazione delle acque dolci
- Building Information Modeling
- Eutrofizzazione terrestre
- Formazione di ozono fotochimico
- Esaurimento delle risorse abiotiche- minerali e metalli
- Esaurimento delle risorse abiotiche- combustibili fossili
- Consumo idrico

| Figura 5: i macro-obiettivi ambientali e gli indicatori di valutazione del ciclo di vita (LCA) dal JRC technical reports Level(s).

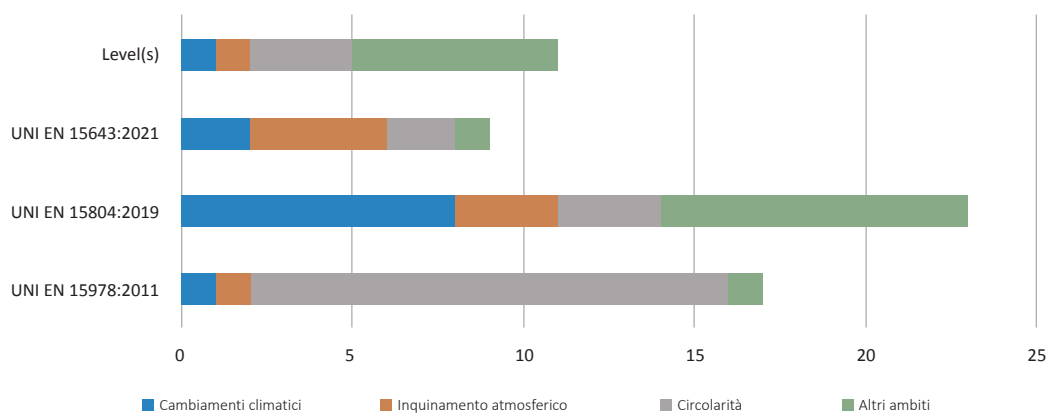
#### 9.3.2.2 Scelta del set di indicatori da adottare

Lo scopo principale del presente capitolo è quello di individuare un set di indicatori di Life Cycle Impact Assessment adatto a rappresentare esaustivamente le variabili ambientali in gioco, ma anche di aiutare efficacemente il decisore ad individuare una strategia di intervento ottimale. Come visto, le norme di riferimento tendono anziché a selezionare un ristretto set di indicatori utili, come auspicato dalla ISO 14040, ad esempio tra quelli indicati dalla Commissione europea per il metodo E 3.1, piuttosto ad aumentare tale lista con ulteriori indicatori o flussi fisici. Anche il Programma EBC (Energy in Buildings and Communities) dell'IEA nell'ambito Progetto Annex 72, Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings, ha confermato le categorie di impatto e gli indicatori selezionati dalla Commissione europea. Sempre la



IEA, nel Task 59 Subtask B, ha pubblicato una serie di schede informative destinate a facilitare e migliorare l'uso della norma europea EN 16883:2017 tra cui uno dedicato all'LCA (ed LCC). Nonostante varie utili indicazioni, la scheda informativa (factsheet) non riduce il numero di indicatori da considerare né suggerisce un set ristretto su cui focalizzarsi. Tuttavia, va tenuto presente che aumentare il numero di indicatori può certamente migliorare la comprensione di un problema, fornendo una visione più dettagliata e sfaccettata della situazione ma che questo incremento di informazioni può anche generare confusione tra i decisori. Un eccesso di dati può rendere difficile identificare le priorità e prendere decisioni tempestive ed efficaci. È quindi cruciale trovare un equilibrio tra la quantità di indicatori utilizzati e la loro capacità di supportare una decisione chiara e mirata<sup>5</sup>.

Analizzando la normativa di riferimento di cui al paragrafo precedente possiamo classificare gli indicatori proposti in 4 ambiti: cambiamento climatico, inquinamento atmosferico, circolarità, altri ambiti.



| Figura 6: numero di indicatori per ambito di riferimento nei diversi documenti analizzati.

A parte l'ambito cambiamenti climatici, considerato da tutti i documenti ma rappresentato spesso da un unico indicatore (GWP secondo il metodo IPCC), si nota una forte attenzione alla circolarità, una presenza diffusa di indicatori relativi ad ambiti dove il settore in esame ha in realtà poca influenza ed una sottovalutazione, o meglio una sotto-copertura, dell'ambito inquinamento atmosferico, nonostante il ruolo determinante del riscaldamento civile nell'abbassare la qualità dell'aria in zone urbane ed in particolare all'alta concentrazione media di polveri sottili, PM2.5<sup>6</sup>. In particolare, nei principali centri della Pianura Padana il contributo del settore residenziale alle concentrazioni di PM2.5 arriva fino al 40%<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Si veda ad esempio Steinmann, Z. J., Schipper, A. M., Hauck, M., & Huijbregts, M. A. (2016). How many environmental impact indicators are needed in the evaluation of product life cycles?. *Environmental science & technology*, 50(7), 3913-3919.

<sup>6</sup> Si veda ad esempio <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023>.

<sup>7</sup> De Angelis, Elena, Pirovano, Guido, Costa, Matteo Paolo, Struzewska, Joanna, Jeleniewicz, Grzegorz, e Walczak, Bartłoj, «Deliverable D4.1 Diagnostic analysis- Report on the modelling results of the Diagnostic analysis for BASELINE and COVID-19 regional case studies Action A4», Milano, LIFE REMY deliverable, 2022.

Per quanto riguarda invece la letteratura scientifica inerente agli LCA di interventi di riqualificazione energetica di edifici storici, molti studi usano solo la categoria di impatto Climate Change<sup>8</sup>. Di recente Buda, A., & Lavagna, M.<sup>9</sup> hanno effettuato un'analisi di letteratura della LCA di interventi di aumento di efficienza di edifici storici confermando come la maggior parte degli studi si limita a CC e consumo di risorse fossili. Altri studi utilizzano indicatori aggregati obsoleti (ad es., Selicati, V., Cardinale, N., & Dassisti, M. (2020). Evaluation of the Sustainability of Energy Retrofit Interventions on the Historical Heritage: a Case Study in the City of Matera, Italy. International Journal of Heat & Technology, 38(1)).

In questo quadro, tenendo conto che il processo decisionale si baserà non sui soli indicatori ambientali si ritiene utile procedere come segue:

- usare la metodologia LCA per valutare la valenza ambientale degli interventi;
- utilizzare gli indicatori suggeriti da EU, IEA EBC Annex 72 ed EN 15978 ma riducendo il numero di categorie ed in particolare riferendosi a tre ambiti di valutazione: decarbonizzazione, inquinamento e circolarità;
- per i tre ambiti di analisi utilizzare i seguenti indicatori secondo i metodi della Environmental Footprint europea (EF 3.1 o successive versioni):
  - decarbonizzazione (Climate Change);
  - inquinamento: particulate matter formation potenzial (PM) e photochemical oxidant formation potential), POFP;
  - circolarità: Resource Minerals and Metals (RMM) e resources fossil fuels (RFF);
- distinguere tra benefici (impatti) diretti e delle tecnologie abilitate.

Come accennato, questo paragrafo si concentra sulle categorie di impatto da utilizzare, ma è bene rimarcare anche altri aspetti metodologici della LCA. In particolare, si raccomanda di utilizzare come unità funzionale il m<sup>3</sup> di edificio riqualificato, di avere un approccio cradle to grave di tutti i componenti valutandone correttamente la vita utile, di utilizzare un approccio cut-off per l'allocazione degli impatti fine vita<sup>10</sup>.

### 9.3.3. Analisi economica

Ai fini dell'analisi economica degli scenari, vengono computati:

#### Costi attesi:

- *Costi di realizzazione*: di ogni scenario, a partire dai costi associati ai singoli interventi (par. 7.2.3), tenendo anche conto di eventuali sovrapposizioni e/o doppi conteggi derivanti dalla concomitanza tra interventi diversi.
- *Costi operativi di gestione*: associati a eventuali esigenze specifiche di manutenzione e/o conduzione dei sistemi/impianti componenti lo scenario di intervento. Tali costi operativi potranno essere stimati come delta rispetto ai costi operativi dello scenario di partenza.

#### Benefici Attesi:

- *Risparmi energetici*: frutto della stima complessiva dei risparmi energetici associati allo scenario in esame, a partire dai risultati delle simulazioni dinamiche di cui ai precedenti paragrafi, valorizzati in base a scenari di costi energetici in un periodo di almeno 10 anni.
- *Incentivi e altri vantaggi quali*: incentivi fiscali, finanziamenti agevolati, titoli di efficienza energetica, conto termico e altre fonti di sostegno all'efficienza energetica.

<sup>8</sup> Si veda ad es., Angrisano, M., Fabbrocino, F., Iodice, P., & Girard, L. F. (2021). The evaluation of historic building energy retrofit projects through the life cycle assessment. Applied Sciences, 11(15), 7145) a titolo di esempio.

<sup>9</sup> Di recente Buda, A., & Lavagna, M. (2018). LCA methodology to compare alternative retrofit scenarios for historic buildings: a review. Proceedings of the 12th Italian LCA, Messina, Italy.

<sup>10</sup> Si veda <https://support.ecoinvent.org/system-models> per dettagli.

Lo scenario sarà valutato in base a indici sintetici di valutazione dell'investimento, quali ad esempio:

- Periodo di Recupero (Payback Period): il periodo di tempo necessario per recuperare l'investimento iniziale attraverso i risparmi energetici.
- Tasso Interno di Rendimento (TIR): ossia il tasso di interesse a cui il valore attuale dei flussi di cassa in entrata e in uscita di un investimento è pari a zero.
- Valore Attuale Netto (VAN): ossia il valore attuale dei flussi di cassa operativi al netto degli investimenti, attualizzati al costo del capitale.

Si prevede poi di incrociare tali indici sintetici di valutazione degli investimenti con il beneficio ambientale complessivo associato ad ogni scenario, espresso in termini di risparmio potenziale di energia primaria (TEP/anno) o emissioni evitate di CO<sub>2</sub> equivalente (TonCO<sub>2</sub>/anno).

#### 9.3.4. Analisi mediante protocolli di certificazione energetico-ambientale

Questa fase prevede l'analisi degli scenari selezionati dal punto di vista della possibile applicazione di protocolli di certificazione energetico-ambientali. Analogamente a quanto fatto per la prevalutazione delle misure, anche per i singoli scenari si procede ad una analisi sulla base dei requisiti previsti dai principali protocolli applicabili, volta a valutare quale sia perseguibile a seconda del caso specifico. In particolare, tale procedura prevede di identificare per i diversi scenari analizzati il protocollo di certificazione più adeguato (ad es. LEED, WELL, GBC HB, ...) all'applicazione, sulla base delle checklist contenenti i prerequisiti e i criteri per ciascuna soluzione, con il relativo punteggio conseguibile.

In tal modo, si ottiene un ulteriore criterio oggettivo utile al fine della identificazione della strategia finale d'intervento.

#### 9.4. Identificazione della strategia d'intervento

A seguito dell'analisi dei risultati ottenuti a seguito degli approfondimenti tecnico-scientifici descritti ai paragrafi precedenti, è possibile confrontare i diversi scenari, dimensionare e selezionare la strategia finale più adeguata all'immobile in oggetto in maniera oggettiva e trasparente. L'identificazione di tale strategia dovrà tener conto anche delle esigenze e desiderata della committenza (i.e. proprietà dell'immobile, responsabili per la gestione e manutenzione, conservatore, ecc.) nonché delle autorità competenti e dei pareri degli stakeholders/enti coinvolti nel progetto.

### 10. Implementazione e valutazione della strategia d'intervento

#### 10.1. Implementazione

Nel caso di edifici storici, la realizzazione di interventi per il miglioramento della sostenibilità ambientale e la riqualificazione energetica prevede maggiori complessità e necessita di un monitoraggio accurato specialmente nel corso delle fasi di implementazione. Infatti, rispetto al caso delle nuove costruzioni, il rischio di imprevisti e necessità di modifiche in itinere è superiore. Inoltre, l'interfaccia con sistemi costruttivi e impiantistici storici impone il coinvolgimento di competenze altamente specializzate e interdisciplinari con esperienza in progetti di simili entità e natura.

Per quanto sopra, prima dell'avvio della fase di implementazione occorrerà effettuare ulteriori approfondimenti ed indagini per confermare dettagli del progetto e ipotizzare eventuali misure alternative da applicare all'occorrenza; inoltre, sarà necessario elaborare un piano dedicato per la protezione di eventuali manufatti e beni artistici presenti, nonché delle parti da conservare della struttura dell'edificio. È necessario essere pronti in caso di cambiamenti al fine di valutare conseguenze operative e finanziarie; potrebbe emergere la necessità di ulteriori sopralluoghi delle autorità preposte alla tutela dei beni culturali o da quelle di pianificazione. Infine, per gli edifici sotto tutela, durante il processo di implementazione potrebbe emergere la necessità di fornire chiarimenti alle autorità preposte alla tutela dei beni culturali sulla base delle nuove conoscenze acquisite e sulle conseguenti ripianificazioni volte all'implementazione delle misure.

### 10.2. Analisi ex-post mediante piano di monitoraggio per la valutazione degli effetti delle misure proposte

Questa fase prevede la predisposizione di un programma di monitoraggio a seguito della realizzazione degli interventi (“ex-post”), finalizzato alla verifica dell’impatto dell’implementazione della strategia proposta in termini di:

- condizioni microclimatiche ambientali interne ed esterne;
- consumi energetici (i.e. riscaldamento/raffrescamento/illuminazione/altro);
- comportamento degli utenti (livelli di occupazione, usi energetici);
- livelli di comfort multi-dominio (visivo, termico, acustico, qualità dell’aria).

Tale attività è funzionale alla validazione delle previsioni di miglioramento della performance termoenergetica dell’immobile nonché all’affinamento e ottimizzazione della gestione dello stesso mediante sistemi BEMS (Building Energy Management System) in modo tale da poter garantire il mantenimento delle prestazioni nel tempo.

Il monitoraggio potrà avvenire mediante utilizzo di sensori di misura dei principali parametri ambientali e impiantistici, nonché mediante survey elaborate ad hoc da condividere con i principali fruitori dell’immobile.

Il programma di monitoraggio consentirà di:

- verificare il corretto funzionamento delle misure introdotte;
- implementare eventuali azioni di correzione nell’immediato;
- raccogliere dati utili ai fini di una gestione e manutenzione “smart”, ottimizzata in funzione di regime di utilizzo e condizioni al contorno.

Si chiarisce che il piano di monitoraggio dovrà essere effettuato in più momenti a seguito dell’implementazione (ad esempio dopo un periodo compreso tra 1 e 3 anni) anche al fine di verificare il mantenimento delle prestazioni nel tempo ed applicare eventuali ulteriori azioni correttive.

## IL CASO STUDIO DI VILLA FARNESINA

### 11. Cenni storici

La Villa, progettata da Baldassarre Peruzzi per il banchiere Agostino Chigi, rappresenta uno dei più importanti monumenti della stagione del Rinascimento romano. I prospetti, scanditi da un duplice ordine di lesene doriche in laterizio, inframezzate da 9 finestre sui lati lunghi e 7 sui lati corti, sono rivestiti da pitture e stucature per conferire alla Villa un'aura di antichità e prestigio. Le modanature architettoniche sono realizzate in peperino.

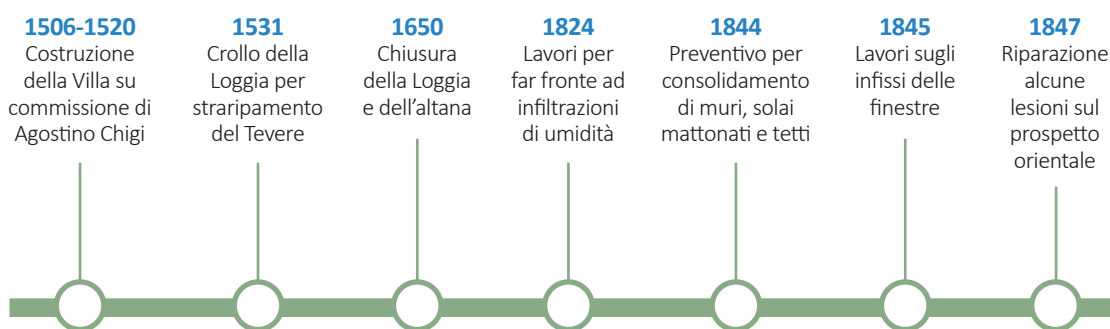
Lavori di manutenzione, restauri e rifacimenti alternati a lunghi periodi di incuria si sono susseguiti a partire dagli anni '70 del '500 fino agli anni '70 del secolo scorso e hanno alterato significativamente l'aspetto originario della Villa:

- nel corso del XVII sec., quando la Villa era di proprietà dei Farnese, si verificò la perdita quasi totale delle decorazioni pittoriche dei prospetti e fu realizzato l'intervento di tamponatura della Loggia di Galatea e probabilmente dell'altana;
- successivamente, la Villa diventò di proprietà dei Borboni fino a che, nel 1861, fu ceduta per enfiteusi al Duca di Ripalda proprio per le esigenze di conservazione dell'immobile, visto il lungo periodo di incuria e degrado;
- nel 1927 la Villa fu acquistata dallo Stato italiano e destinata a diventare sede dell'Accademia d'Italia; in tale occasione, fu istituita una commissione di vigilanza per seguire i lavori di restauro e adeguamento alla nuova funzione;
- nel corso degli anni '50 e '60 furono eseguite una serie di opere di manutenzione per ripristinare gli elementi decorativi dei prospetti;
- negli anni '70 fu invece eseguito il ripristino complessivo delle facciate.



| Figura 7: prospetto nord della Farnesina Latarouilly 1992 (in alto) e veduta del prospetto nord della Farnesina, Cacchiatelli -Cliter 1847 (in basso).



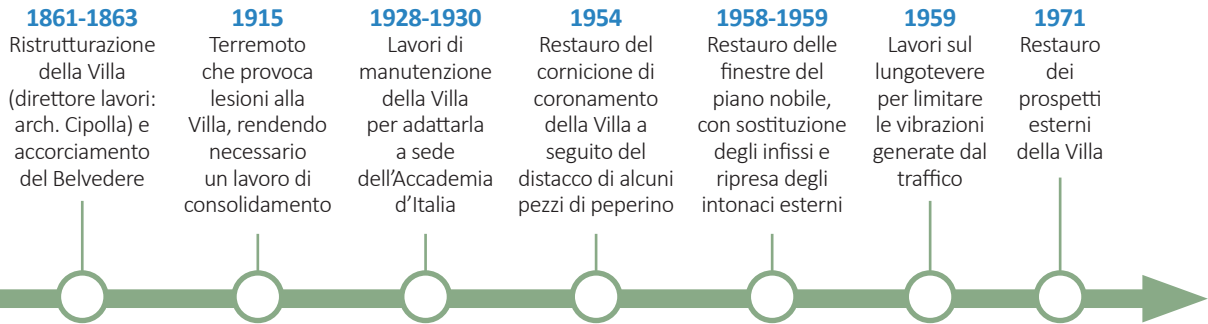


| Figura 8: riepilogo dei principali interventi.

A partire dal 1928 furono eseguiti dei lavori per adattare la Villa a sede dell'Accademia d'Italia, il cui progetto fu sviluppato da parte dell'ingegner Giovanni Massari. Tali interventi hanno determinato l'assetto attuale della Villa e hanno posto le basi per le future metodologie di restauro di opere e reperti archeologici a livello nazionale. Il piano dei lavori fu articolato in tre parti: il restauro murario, il restauro artistico e l'impianto dei moderni servizi, in ottica conservativa dell'organismo costruttivo.

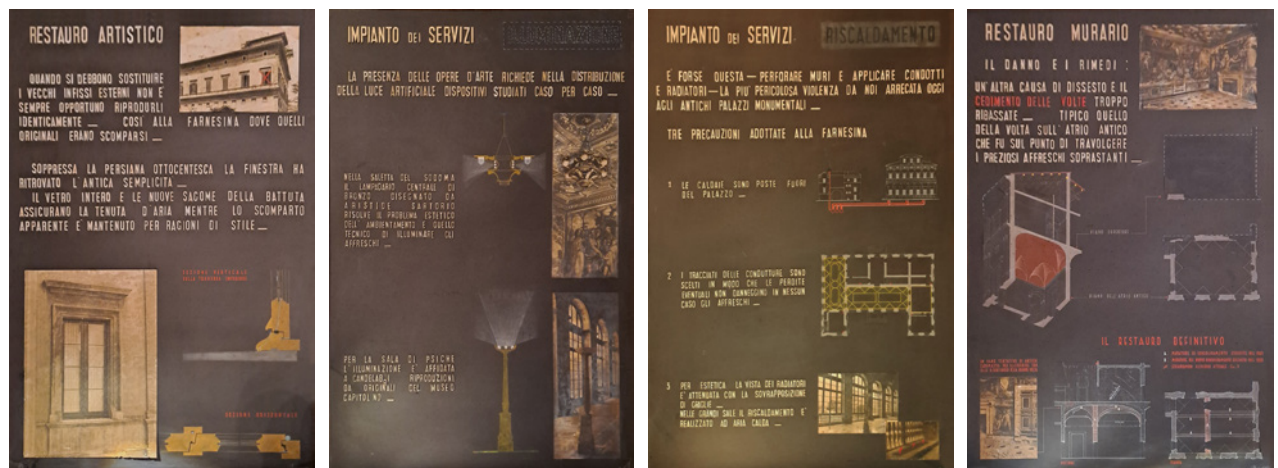
I principali interventi hanno riguardato:

- la chiusura delle canne fumarie ovunque si trovassero lesioni;
- l'architravatura in ferro delle aperture lesionate e costruzione di piattabande in breccia;
- il rafforzamento delle volte troppo ribassate, soggette a fenomeni di cedimento, e utilizzo di travi metalliche al fine di sostenere murature in falso precedentemente realizzate;
- il concatenamento delle pareti strapiombanti;
- la bonifica dei locali del seminterrato con realizzazione di un'intercapedine perimetrale per favorire la riduzione dell'umidità di risalita;
- il restauro e ricostruzione delle strutture lignee di copertura con inserimento di travi in ferro e legature metalliche per incrementare robustezza di solai e capriate;
- la sostituzione di tutti gli infissi esterni, realizzata sagomando tutti i nuovi vetri;
- la realizzazione di una piastra galleggiante sotto il manto stradale per disperdere le vibrazioni e non causare danni alla villa;
- il restauro del cornicione sulla facciata sopra l'ingresso, ripresa di mensole in peperino, ricostruzione di un pilastro in facciata;
- il restauro degli affreschi di Raffaello e realizzazione di grandi vetrate in corrispondenza delle arcate e due candelabri in marmo giallo per aver più luce;
- il restauro del fregio di Peruzzi, previo consolidamento murario della stanza;
- la prima ricostituzione del giardino post-costruzione dei muraglioni del Tevere a fine '800;
- la collocazione impianti di servizio nei locali che nel '500 erano assegnati alla servitù;
- impianto di riscaldamento: la collocazione delle caldaie presso i sotterranei dell'edificio adiacente, in previsione del passaggio di condutture in punti del fabbricato non esposti a rischi di infiltrazione. A livello di terminali di emissione, è stato valutato opportuno evitare termosifoni a vista (ad es. posizionamento radiatori nei vani del primo mezzanino nella sala di Amore e Psiche e canalizzazione dell'aria mediante griglie);
- illuminazione: tutti i tracciati elettrici dell'impianto furono progettati sotto muratura in punti sicuri non a contatto diretto con le architetture in legno dei soffitti. Ogni corpo illuminante fu appositamente selezionato per le specifiche esigenze di illuminazione delle opere d'arte. La diffusione del fascio luminoso fu studiata per ottimizzare la fruizione delle opere (lampadari centrali nella Loggia di Galatea, nella Sala delle Prospettive e nella Sala delle Nozze di Alessandro e Roxanne; candelabri laterali nella loggia di Amore e Psiche);
- il nuovo ascensore dotato di impianto a trazione dal basso, privo della cabina di carrucole o funi che potessero deturpare la volta del corridoio delle Grottesche al primo piano;
- la creazione di raccordo sotterraneo per recarsi al coperto dall'edificio principale all'attigua biblioteca.



Nel corso degli anni '50 la Villa è stata oggetto di alcuni primi interventi conservativi sui prospetti esterni, tra cui il restauro del cornicione di coronamento e la sostituzione degli infissi. Nel 1971-72 i prospetti furono oggetto di un integrale intervento di manutenzione a seguito degli effetti dannosi delle vibrazioni provocate dal traffico sul lungotevere. Il lavoro riguardò principalmente le modanature in peperino, in gran parte sfaldate. Di seguito un riepilogo dei principali interventi:

- il consolidamento e pulizia di intonaci, mattoni e peperino;
- la sostituzione dell'80% del peperino nello zoccolo basamentale con peperino di Marino, nelle basi e nei capitelli delle paraste, nelle mostre delle finestre e nella cornice sotto il fregio, cercando di conservare il più possibile il disegno originario;
- la sostituzione della cornice superiore che comportò la ripresa con stucco di cemento della parte inferiore del fregio, su cui fu stesa una finitura cromatica arancione;
- l'utilizzo dello stucco di cemento per riprendere stipiti, cimase e architravi di molte finestre, nonché la trabeazione dell'ordine inferiore;
- la sostituzione di alcuni dei laterizi usando mattoni di colore giallastro e di spessore diverso rispetto agli originali;
- la ripresa degli intonaci esterni.



| Figura 9: immagini tratte da "La mostra del restauro" dell'ing. Giovanni Massari (1940).

Anche l'altana è il risultato di una stratificazione di interventi successivi: pilastri, cornicioni e balaustre risalgono al progetto del Peruzzi. Le tamponature con finestre incorniciate in stucco risalgono al sec. XVII, mentre il prospetto sud è riconducibile al sec. XIX.



| Figura 10: immagini pre e post-restauro.

## 12. Stato di fatto

### 12.1. Il complesso della Villa: caratteri generali

In aggiunta alla Villa Farnesina, il complesso comprende due ulteriori edifici: la Foresteria e l'Auditorium, circondati dal giardino storico. Al piano terra dell'Auditorium è presente uno spazio utilizzato come area per l'allestimento di rinfreschi in occasione di convegni/eventi formativi organizzati presso il complesso.



| Figura 11: vista aerea del complesso di Villa Farnesina (fonte: Google maps).





| Figura 12: vista della foresteria (sinistra) e dell'auditorium (destra).

Il complesso della Villa è circondato da un giardino all'italiana delimitato su un lato dalle storiche mura Aureliane. Sul fronte nord, il giardino presenta una parte carrabile, utilizzata da parte dei dipendenti della Villa. Il giardino è stato già oggetto di un progetto di valorizzazione nell'ambito del PNRR che comprende iniziative differenti volte a ridurre l'impatto ambientale, conservare l'ecosistema e la biodiversità tramite attività di restauro ecosostenibile sui materiali archeologici presenti nel giardino e riciclo dei materiali mediante:

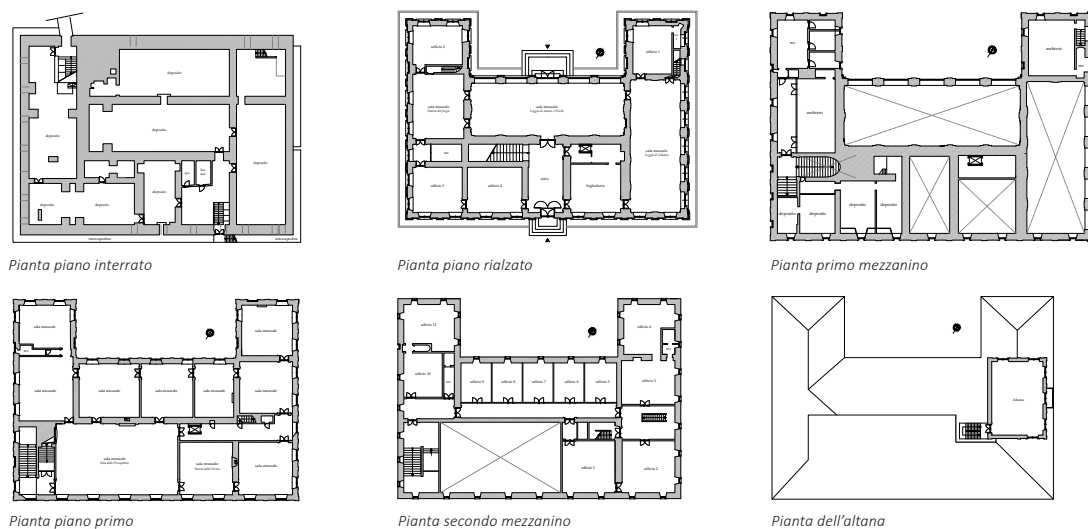
- la realizzazione di interventi di restauro, manutenzione, valorizzazione;
- il miglioramento delle condizioni di accessibilità, sicurezza e fruizione;
- il coinvolgimento e benefici del territorio e della comunità di riferimento.



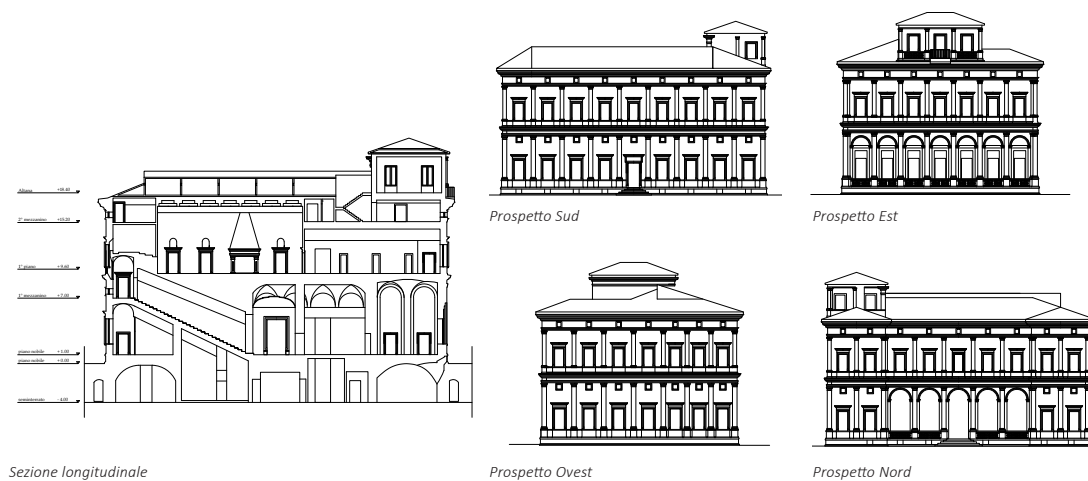
| Figura 13: viste del giardino storico.

L'immobile della Villa si articola su due piani fuori terra, un piano interrato, un attico di servizio e presenta una peculiare planimetria a ferro di cavallo che si apre verso il giardino all'italiana con due ali, tra cui è posta una loggia situata nel piano terreno. In aggiunta alle aree museali, la Villa è caratterizzata anche dalla presenza di ambienti destinati ad ospitare gli uffici dell'Accademia Dei Lincei. Sono inoltre presenti due piani mezzanini. Il piano rialzato e il primo piano sono destinati prevalentemente alle aree espositive, mentre i piani mezzanini hanno come destinazione d'uso "depositi" ed "uffici".

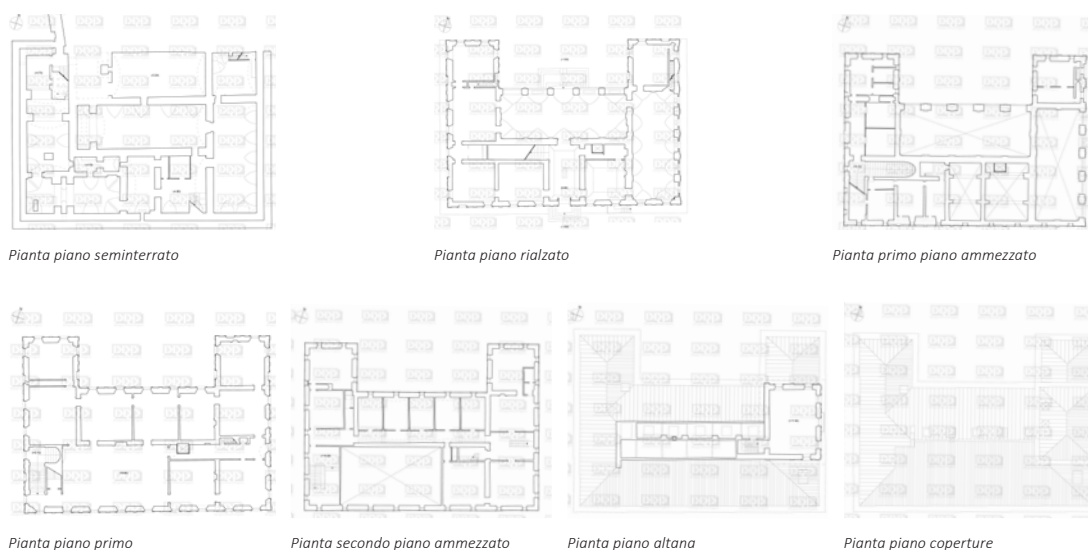
Di seguito si riportano i disegni tecnici reperiti per l'immobile in oggetto, realizzati in passato per altre finalità a cura dell'Ing. Stracchi e dell'Arch. Cundari.



| Figura 14: rilievo architettonico ing. Stracchi: planimetrie.



| Figura 15: rilievo architettonico ing. Stracchi: prospetti e sezione.



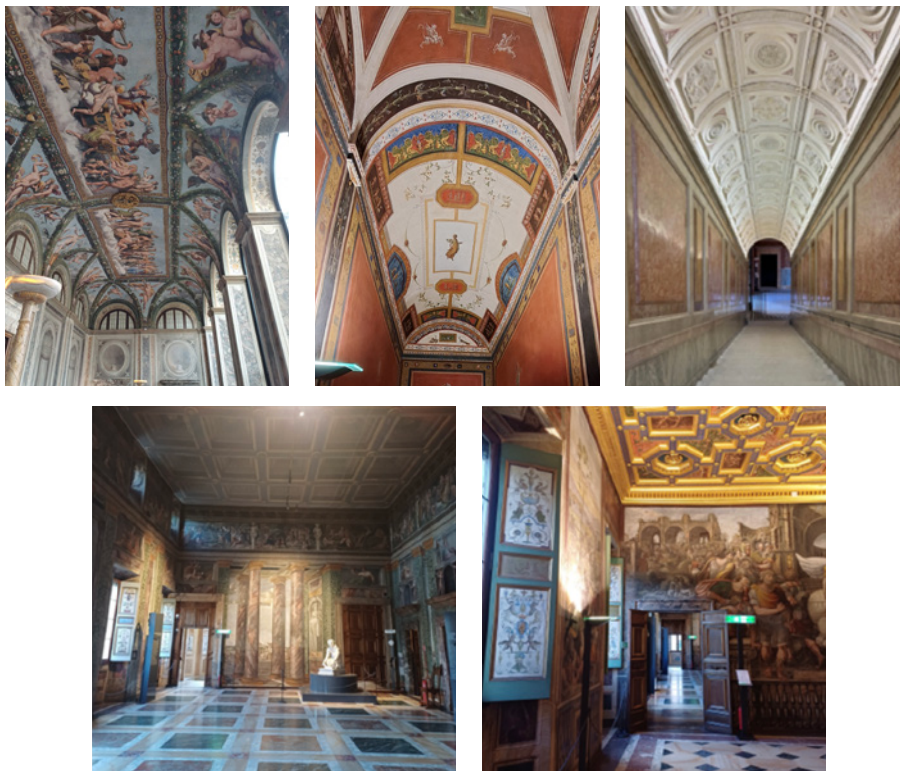
| Figura 16: rilievo architettonico arch. Cundari: planimetrie.





| Figura 17: rilievo architettonico arch. Cundari: prospetti e sezioni.

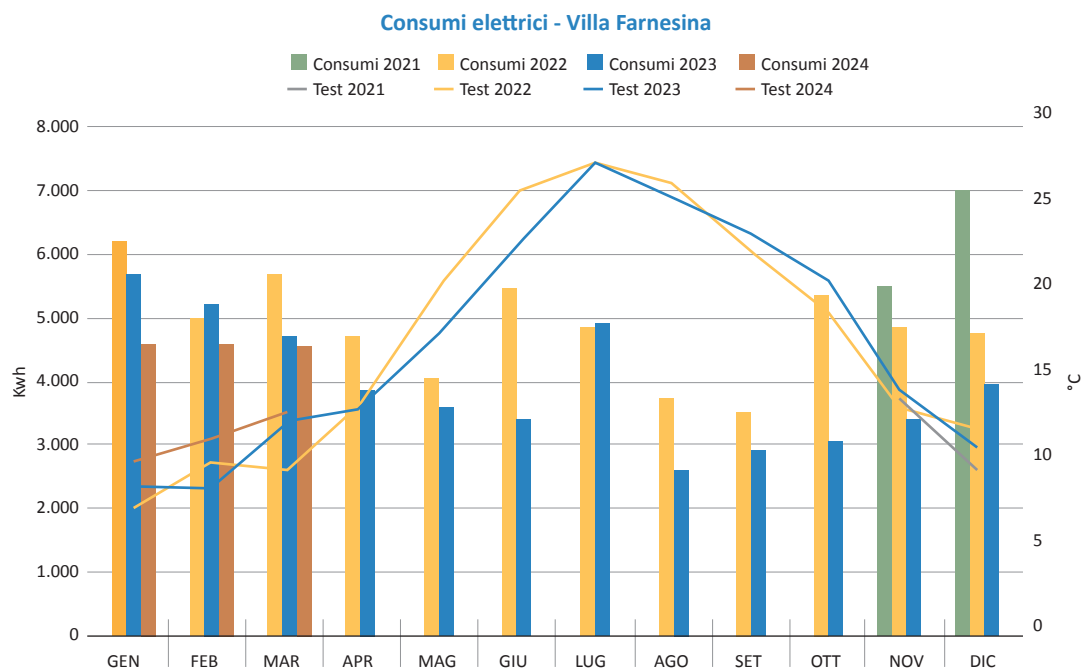
Gli spazi interni della Villa sono decorati da cicli di affreschi improntati alla classicità, eseguiti dai migliori artisti dell'epoca, tra cui il ciclo con le Storie di Amore e Psiche nella Loggia al piano terra, opera di Raffaello e dei suoi allievi, le imprese di Ercole nella Sala del Fregio, il Trionfo di Galatea nell'omonima Sala, il Polifemo di Sebastiano del Piombo e la Sala delle Prospettive al piano superiore, dipinta illusionisticamente da Baldassarre Peruzzi e allievi come se fosse una loggia. Risulta pertanto di primaria importanza garantire un adeguato controllo delle condizioni microclimatiche interne al fine della preservazione delle opere d'arte, oltre che del comfort dei visitatori del museo.



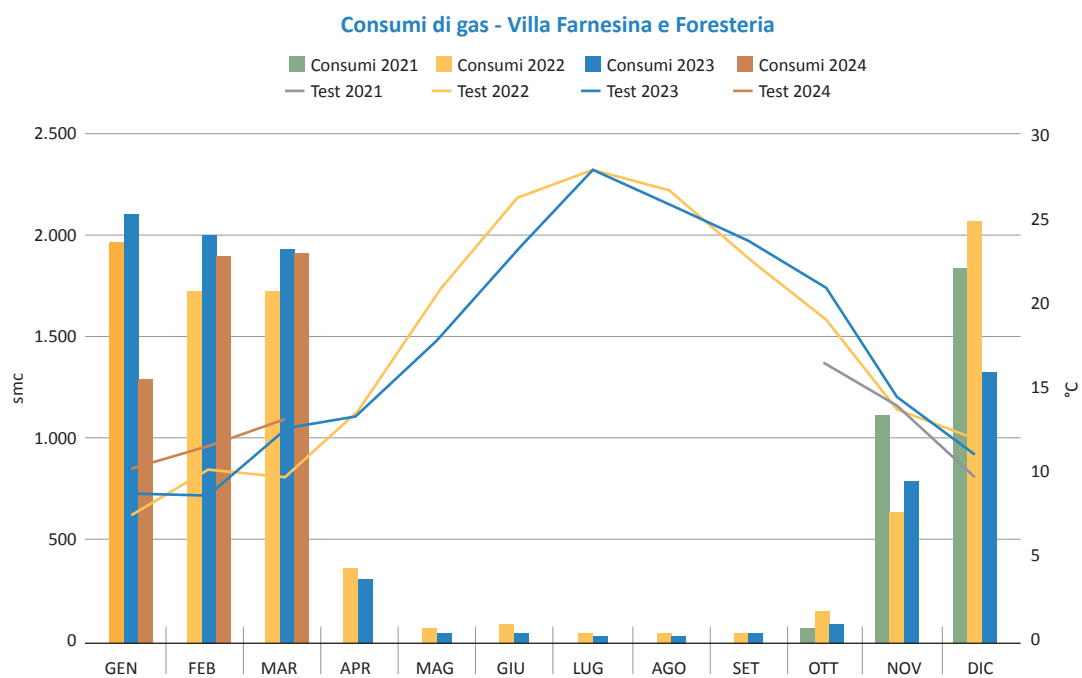
| Figura 18: viste degli interni degli spazi museali della Villa Farnesina.

## 12.2. Consumi energetici storici

Al fine di valutare in via preliminare le prestazioni energetiche del complesso, sono stati reperiti e analizzati i consumi energetici storici desumibili da analisi delle bollette, da cui è stato possibile desumere l'andamento nel tempo dei consumi elettrici e di gas naturale.



| Figura 19: andamento dei consumi elettrici e temperature esterne medie mensili (anni 2021-2022-2023-2024).



| Figura 20: andamento dei consumi di gas e temperature esterne medie mensili (anni 2021-2022-2023-2024).

In relazione ai consumi elettrici, in prima analisi non si rileva grande correlazione con l'andamento delle temperature medie mensili esterne, e si ipotizza pertanto che, in coerenza con gli impianti installati, una quota parte dei consumi sia rispettivamente correlata al funzionamento dell'impianto termico, all'illuminazione, alla climatizzazione estiva e a consumi per usi diversi. Un successivo approfondimento delle analisi dovrà riguardare il censimento delle diverse tipologie di apparecchi presenti, la suddivisione dei contatori per edificio nonché l'analisi specifica delle modalità del loro utilizzo.

Per quanto riguarda i consumi di gas naturale, si rileva invece una buona correlazione tra andamento delle temperature medie mensili e i consumi, in quanto al diminuire della temperatura aumentano i consumi per il riscaldamento nei mesi invernali. Ulteriori approfondimenti potranno riguardare l'analisi di dettaglio delle modalità di utilizzo delle strutture, evidenziando le differenze tra i vari anni nonché il regime occupazionale di uffici e aree museali tenendo conto dei giorni di apertura al pubblico, nonché le modalità di accensione dei sistemi di riscaldamento nei vari ambienti.

Successivamente, al fine di calcolare i consumi specifici si è tenuto conto dei consumi elettrici e termici totali per le due annualità complete a disposizione (i.e. 2022 e 2023) e sono state considerate le superfici riscaldate della Villa (piani sino al primo piano, escludendo il piano interrato, il piano secondo e l'altana) e della Foresteria (primo piano) sulla base delle indicazioni fornite.

Il risultato di tale analisi preliminare rivela consumi termici molto ridotti, anche considerando la sola Villa Farnesina; ciò conferma la necessità di un ulteriore approfondimento delle modalità di utilizzo dei locali e degli impianti.

VILLA FARNESINA		Superficie riscaldata - m <sup>2</sup>
Piano rialzato		569,9
Piano primo mezzanino		208,6
Piano primo		582,0
<b>Totale</b>		<b>1360,5</b>
FORESTERIA		Superficie riscaldata - m <sup>2</sup>
Piano primo		279,8
<b>TOTALE</b>		<b>1640,3</b>

CONSUMI ELETTRICI	2022	2023
kWh	53.427	43.342
kWh/m <sup>2</sup>	32	26
CONSUMI TERMICI	2022	2023
smc	6.839	7.386
kWh	65.654	70.906
kWh/m <sup>2</sup>	40	43

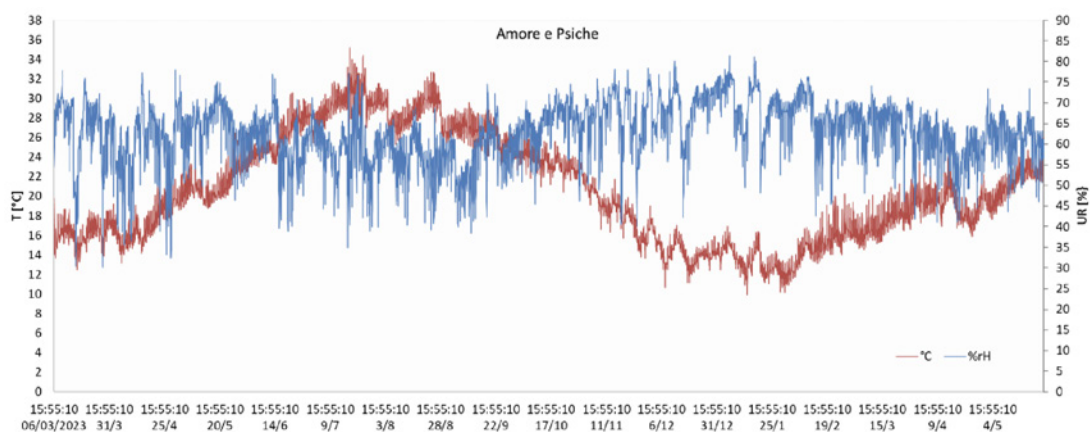
### 12.3. Dati microclimatici storici

Al fine di effettuare una prelievitazione delle condizioni ambientali interne, sono stati reperiti i dati di monitoraggio microclimatico per alcune delle aree museali della Villa in termini di temperatura dell'aria (°C) e umidità relativa (%). Nella presente fase, questi dati sono stati acquisiti e saranno oggetto di approfondimenti successivi, volti a fornire indirizzi per futuri utilizzi dei locali, e azioni di intervento.

Di seguito si riportano i grafici relativi all'andamento di tali grandezze per alcuni degli ambienti della villa – selezionati in base all'interesse artistico delle stesse – nel periodo di monitoraggio (6.03.2023- 27.05.2024):

- *Loggia di Amore e Psiche*

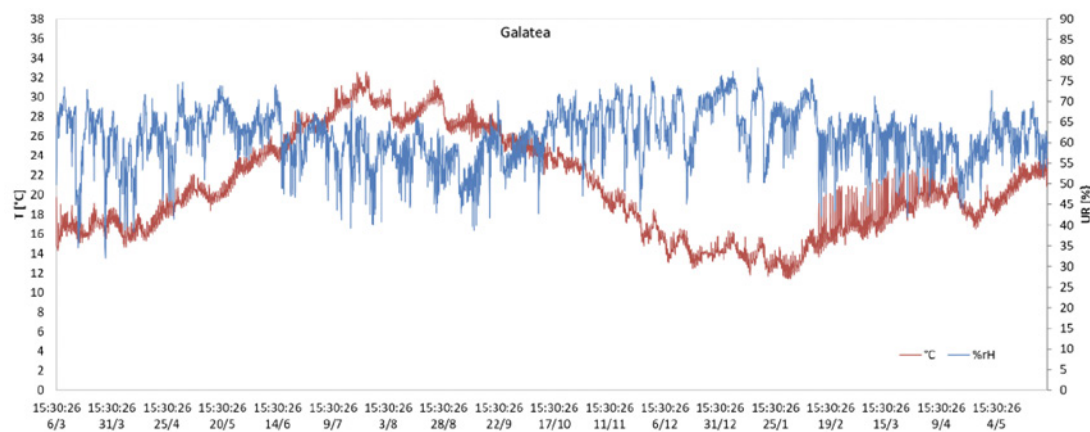
Nel periodo monitorato, si registrano una temperatura media pari a 21°C e un'umidità relativa media pari a 63%, con una variabilità tra valori minimi di 10°C e 30% e valori massimi di 35°C e 81%, rispettivamente.



| Figura 21: andamento di T e UR nella Loggia di Amore e Psiche (6.03.2023 - 27.05.2024).

- *Loggia di Galatea*

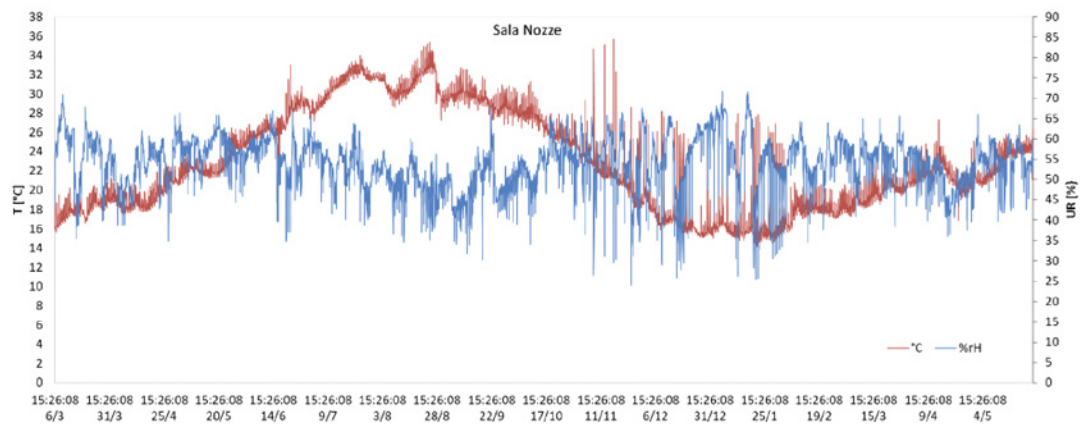
Una situazione analoga si registra per la Loggia di Galatea, all'interno della quale si rileva una temperatura media pari a 21°C e un'umidità relativa media pari a 62%, con una variabilità tra valori minimi di 11°C e 32% e valori massimi di 33°C e 78%, rispettivamente.



| Figura 22: andamento di T e UR nella Loggia di Galatea (6.03.2023 - 27.05.2024).

- *Sala delle Nozze*

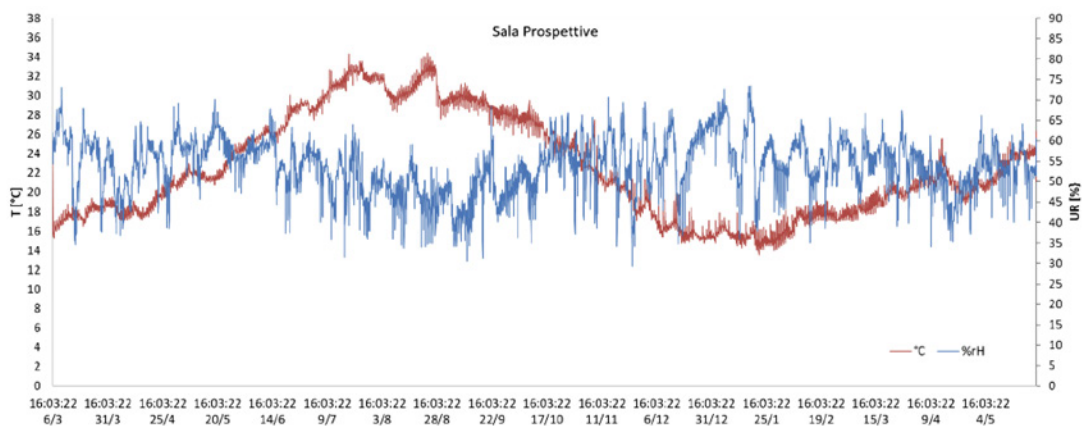
Nella Sala delle Nozze, si registrano valori medi di temperatura pari a 23°C e di umidità relativa leggermente inferiori rispetto ai casi precedenti, pari a 54%. Nel corso del periodo di monitoraggio si rileva inoltre una variabilità tra valori minimi di 14°C e 24% e valori massimi di 36°C e 72%, rispettivamente.



| Figura 23: andamento di T e UR nella Sala delle Nozze (6.03.2023 - 27.05.2024).

- *Sala delle Prospettive*

In linea con quanto rilevato nella Sala delle Nozze, in tale ambiente nel corso del periodo di monitoraggio si registrano valori medi di temperatura pari a 22°C e di umidità relativa pari a 54%. Nel corso del periodo di monitoraggio si rileva inoltre una variabilità tra valori minimi di 14°C e 29% e valori massimi di 34°C e 73%, rispettivamente.



| Figura 24: andamento di T e UR nella Sala delle Prospettive (6.03.2023 - 27.05.2024).



### 13. Definizione preliminare dei possibili interventi

A seguito della valutazione dello stato di fatto, sono state individuate e definite delle possibili misure volte alla riqualificazione energetico-ambientale e al miglioramento della sostenibilità del complesso della Villa Farnesina, di seguito riportate:

1. Generatori di calore e terminali di emissione
  - a. Pompa di calore a compressione elettrica
  - b. Pompa di calore geotermica a circuito aperto
  - c. Pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP- "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi
  - d. Caldaie a condensazione
  - e. Pompa di calore geotermica a circuito chiuso
2. Riqualificazione del sistema di riscaldamento ad aria delle Logge
  - a. Coibentazione del sistema sito al piano interrato
  - b. Rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato
3. Riqualificazione locali piano interrato
  - a. Isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti
  - b. Installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata
4. Implementazione di un Building Energy Management System (BEMS) degli impianti energetici
5. Riqualificazione dei serramenti
  - a. Installazione di una vetrocamera su telaio esistente (aree espositive al piano rialzato, piano primo e locali ai piani mezzanini)
  - b. Sostituzione delle chiusure vetrate delle arcate della Loggia Amore e Psiche
  - c. Sostituzione serramenti dell'altana
  - d. Riqualificazione serramenti presenti ai locali del piano interrato e in copertura
6. Adeguamento impianto elettrico
7. Riqualificazione impianto di illuminazione (P1)
8. Riqualificazione della copertura
9. Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche
  - a. Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium
  - b. Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o della Foresteria
  - c. Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monoliti a scopo rappresentativo/comunicativo
10. Riqualificazione della pavimentazione esterna
11. Riqualificazione del giardino storico
12. Ottimizzazione della gestione della risorsa idrica del giardino
13. Implementazione servizi di mobilità sostenibile
14. Proposte in ambito Food

In appendice alla presente relazione si riportano le schede descrittive di dettaglio delle singole misure.

### 14. Analisi preliminari della sostenibilità degli interventi

#### 14.1. Carbon Footprint

L'analisi effettuata in questa fase ha previsto il calcolo dell'impronta di carbonio delle possibili misure proposte – talora alternative tra loro – ai fini dell'efficientamento del complesso della Villa Farnesina.

Visto il carattere preliminare delle valutazioni effettuate in questa fase del progetto, la Carbon Footprint è stata condotta tenendo conto di dati medi riferiti a processi e prodotti del mercato di riferimento per i materiali proposti, confrontandoli con attività già documentate nella letteratura specializzata e in database contenenti dati tecnici specifici.

Per garantire coerenza con i confini temporali definiti dal progetto, è stato scelto come riferimento la versione più aggiornata database Ecoinvent V3.10 (<https://ecoinvent.org/>), pubblicata nel novembre 2023.

In relazione all'ubicazione del complesso oggetto di studio sono stati utilizzati, laddove possibile, dati specifici per la realtà italiana, al fine di garantire coerenza rispetto alle soluzioni proposte. Quando non è stato possibile trovare informazioni a livello italiano, sono stati utilizzati dati relativi al contesto europeo e, in ultima istanza, dati globali.

Per alcuni degli interventi proposti, vista l'indisponibilità di alcuni materiali nella forma finale di applicazione è stata eseguita una modellazione semplificata combinando diversi materiali e processi disponibili, al fine di ottenere una stima dell'impronta di carbonio dell'intervento proposto. Il metodo scelto per il calcolo del Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP) è il modello IPCC 2021 - GWP100. Il modello IPCC 2021 - GWP100 definisce il potenziale di riscaldamento globale (Global Warming potential- GWP) di diversi gas serra, calcolato su un orizzonte temporale di 100 anni, come riportato nel Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) del 2021<sup>11</sup>. Il GWP è una misura che confronta l'impatto di diversi gas serra sull'effetto serra rispetto alla CO<sub>2</sub> e li riporta ad un'unità di misura comune espressa in termini di kg di CO<sub>2</sub> equivalente<sup>12</sup>.

I risultati dell'analisi sono riportati individualmente nelle schede specifiche allegate alla presente relazione.

#### 14.2. Protocolli di certificazione: verifica preliminare della coerenza delle misure proposte

Il presente capitolo illustra gli esiti della verifica preliminare della coerenza del ventaglio di possibili misure proposte (i.e. schede tecniche di intervento - "long-list") per l'implementazione nell'ambito del complesso di Villa Farnesina in relazione ai protocolli di certificazione energetico-ambientali selezionati.

Tale attività è stata svolta nelle seguenti fasi:

- preselezione dei protocolli di certificazione applicabili;
- valutazione del progetto in relazione ai requisiti minimi di programma relativi a ciascuno dei suddetti protocolli;
- analisi della coerenza delle singole schede di intervento rispetto a tali requisiti minimi.

Tali passaggi vengono descritti nel dettaglio nelle sezioni seguenti.

##### 14.2.1. Selezione dei protocolli di certificazione applicabili

In particolare, per l'analisi delle suddette schede di intervento, sono stati selezionati come potenzialmente applicabili i seguenti protocolli:

- **GBC HB (Green Building Council - Historic Building)** - si tratta di un protocollo di certificazione volontaria del livello di sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici con diverse destinazioni d'uso. È stato elaborato dal *Green Building Council* Italia nell'obiettivo di far dialogare i criteri di sostenibilità dello standard LEED® e il vasto patrimonio di conoscenze proprie del mondo del restauro nel quale l'Italia ricopre ruoli di eccellenza. Si applica agli edifici storici che costituiscono "testimonianza materiale avente valore di civiltà". Ai fini dell'applicazione del protocollo GBC HB, l'edificio deve essere stato costruito prima del 1945 per una porzione ad almeno il 50% degli elementi tecnici esistenti. La peculiarità di tale protocollo è rappresentata dall'introduzione dell'area tematica "Valenza Storica", che mira a preservare ciò che è riconosciuto come testimonianza e valore di civiltà, e favorisce un elevato livello di sostenibilità mediante la valorizzazione delle qualità del costruito storico. Questa specifica area rientra nella disciplina del restauro e fornisce al progettista un indirizzo utile per l'intervento sul costruito preindustriale.

11 [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)

12 <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

- **LEED O&M (Operation & Maintenance)** - si tratta del protocollo della famiglia LEED sviluppato per la certificazione di edifici esistenti implementando strategie per l'ottimizzazione e il miglioramento delle performance grazie a più efficienti attività di gestione e manutenzione. È rivolto ad interi edifici e spazi interni situati in una porzione di un edificio esistente che sono stati pienamente operativi e occupati per almeno un anno. Gli spazi interni possono avere finalità commerciali, di vendita al dettaglio o di ospitalità.
- **SITES (The Sustainable Sites Initiative)** - si tratta di un protocollo volto alla progettazione, allo sviluppo e alla gestione di infrastrutture verdi e blu, ovvero di paesaggi e spazi esterni sostenibili e resilienti. Si applica a spazi esterni aperti di varia natura quali ad esempio parchi, giardini botanici, piazze, campus e altri. L'applicazione di tale protocollo può consentire la misura e il miglioramento dei servizi ecosistemici, quali ad esempio la riduzione del fabbisogno idrico, la filtrazione e la diminuzione del deflusso delle acque meteoriche, il miglioramento della biodiversità e della qualità dell'aria, una maggiore tutela della salute umana nonché una migliore fruizione delle aree esterne.

#### 14.2.2. Analisi dei requisiti minimi di programma

Al fine di poter effettuare la verifica preliminare della compatibilità delle misure proposte con i suddetti rating systems sono stati quindi analizzati i "Requisiti Minimi di Programma" (Minimum Program Requirements- MPR) per ciascuno dei protocolli selezionati, da qui risulta quanto segue:

- **GBC HB (Green Building Council - Historic Building)**
  - Conformità dell'edificio alla legislazione vigente in materia edilizia: l'edificio o lo spazio interessato dalla certificazione, nonché tutte le attività di realizzazione dell'edificio devono essere conformi agli strumenti legislativi vigenti a livello statale, regionale, provinciale e locale.
  - L'oggetto della certificazione deve essere un edificio o parte di un edificio inamovibile nella sua interezza: tutti i progetti devono essere costruiti, e gestiti su terreni già esistenti e specificamente determinati e devono prevedere la progettazione e la ristrutturazione di almeno un edificio nella sua interezza e l'eventuale costruzione di un'opera nel rispetto dei vincoli dettati dal protocollo.
  - L'oggetto da certificare deve adottare nella documentazione necessariamente un ragionevole confine di certificazione: il confine di certificazione del progetto non può includere terreni appartenenti a un proprietario diverso da quello che detiene il progetto, a meno che il terreno non sia interessato dalle attività di costruzione del progetto stesso.
  - Il progetto deve avere una superficie utile minima: il progetto deve avere una superficie lorda minima pari a 100 m<sup>2</sup>.
  - Il progetto deve prevedere una occupazione minima non nulla: 1 o più FTE (Full Time Equivalent), calcolati come media annuale.
  - Il titolare deve impegnarsi a conservare e fornire i dati relativi ai consumi idrici ed energetici dell'intero edificio: tutti progetti certificati richiedono l'impegno a condividere con GBC ITALIA tutti i dati effettivi disponibili sui consumi energetici e idrici per un periodo di almeno 5 anni.
  - Il progetto deve rispettare un indice minimo di area edificabile rispetto all'area del sito: la superficie lorda dell'edificio soggetto alla certificazione deve essere non inferiore a 2% rispetto alla superficie complessiva del sito.
- **LEED O&M (Operation & Maintenance)**
  - Tutti i progetti devono essere costruiti e gestiti in un luogo permanente su un terreno esistente.
  - Il progetto deve avere confini ragionevoli: il confine del progetto LEED deve includere tutti i terreni contigui che sono associati al progetto e ne supportano le operazioni tipiche. Ciò include i terreni modificati a seguito della costruzione e gli elementi utilizzati principalmente dagli occupanti del progetto, come le aree esterne, le attrezzature per il trattamento delle acque piovane o settiche e le aree verdi. Il confine LEED non può escludere irragionevolmente porzioni dell'edificio, dello spazio o del sito per dare al progetto

un vantaggio nel soddisfare i requisiti dei crediti. Il progetto LEED deve comunicare accuratamente l'ambito del progetto da certificare in tutti i materiali promozionali e descrittivi e distinguerlo da qualsiasi spazio non certificabile.

- Il progetto deve prevedere un minimo di 93 m<sup>2</sup> di superficie lorda.

- **SITES**

Il protocollo SITES fa riferimento ai medesimi requisiti del protocollo LEED di cui al punto precedente, con l'aggiunta del seguente punto:

- superficie minima dell'area esterna oggetto di certificazione (>185 m<sup>2</sup>).

L'analisi dei Requisiti Minimi di Programma ha quindi confermato la potenziale applicabilità dei tre protocolli di certificazione analizzati nell'ambito del caso pilota di Villa Farnesina.

#### 14.2.3. Valutazione della coerenza delle schede di intervento

Successivamente, è stata effettuata una valutazione delle singole schede di intervento contenenti la descrizione delle misure proposte al fine di comprendere se le singole azioni di miglioramento possano essere coerenti con i requisiti minimi di programma sopra esposti. Tale analisi ha confermato che, nell'ottica del progetto di riqualificazione e miglioramento dell'efficienza e della sostenibilità del complesso della Villa, le singole iniziative descritte nelle schede non inficiano i Requisiti Minimi di Programma previsti dai protocolli selezionati (i.e. GBC HB, LEED O&M, SITES) ad eccezione della "SCHEDA 1D", che propone una possibile sostituzione degli attuali generatori con caldaie a condensazione di taglia inferiore.

Inoltre, la valutazione delle singole schede d'intervento nell'ottica della possibile applicazione dei protocolli di certificazione energetico-ambientale ha consentito di individuare i seguenti punti di attenzione, da considerare nei successivi approfondimenti tecnici:

- ventilazione meccanica controllata: alla luce dei requisiti previsti dai protocolli in termini di IAQ, potrebbe essere necessario prevedere un sistema di ventilazione meccanica controllata per il conseguimento di un punteggio adeguato, anche cercando di valorizzare in tal senso le strutture e gli impianti già presenti nell'immobile;
- sistema di monitoraggio: ai fini della certificazione, risulta necessario prevedere un monitoraggio permanente delle prestazioni del sistema edificio-impianto, da integrare nell'ambito del sistema BEMS proposto, con installazione di sensori di misura dei consumi energetici, delle prestazioni dei sistemi impiantistici e dei principali parametri microclimatici per ciascun ambiente ritenuto significativo. Tale sistema di monitoraggio risulta infatti essenziale per poter garantire la quantificazione e rendicontazione delle prestazioni nel tempo (i.e. a 6 mesi/1 anno dall'implementazione degli interventi);
- tracciamento dei rifiuti: si segnala che, ai fini della certificazione, risulta necessario il tracciamento dei rifiuti prodotti per tipologia (tramite il FIR-Formulario di Identificazione dei Rifiuti-o waste audit).

In generale, visto il ruolo dell'edificio quale caso pilota di eccellenza, si rileva la necessità di prevedere la possibilità di:

- rendere visitabile il cantiere a scopi dimostrativi e formativi;
- utilizzare le informazioni derivanti dai processi di certificazione come strumento di formazione anche a seguito degli interventi.

### 14.3. Analisi dei costi

#### 14.3.1. Fattori di costo

La decarbonizzazione di un edificio storico quale Villa Farnesina rappresenta una sfida particolarmente complessa, data la necessità di coniugare l'adeguamento alle normative energetiche moderne con la preservazione delle caratteristiche architettoniche e culturali dell'edificio. La valutazione, seppur preliminare, dei costi per questi interventi richiede quindi un approccio integrato che tenga conto delle specificità del caso.

È fondamentale che la valutazione preliminare dei costi tenga conto di una serie di fattori peculiari, che influiscono in maniera significativa sulla fattibilità economica degli interventi, quali ad esempio:

- vincoli architettonici e storici: gli edifici storici sono spesso soggetti a severe restrizioni imposte dalle autorità di tutela dei beni culturali, che limitano gli interventi sugli elementi visibili o strutturali dell'edificio. Come dettagliato nei precedenti paragrafi, è di cruciale importanza tenere a mente che tali vincoli possono influire sui costi degli interventi in quanto, nella maggior parte dei casi, richiedono studi e progettazioni specifiche, nonché un monitoraggio accurato specialmente nel corso delle fasi di implementazione;
- compatibilità dei materiali: gli interventi devono essere eseguiti con materiali compatibili con quelli originari al fine di garantire la coerenza estetica;
- integrazione di tecnologie moderne: a titolo di esempio, nei casi in cui l'efficientamento energetico richieda l'installazione di pannelli solari o pompe di calore, è opportuno considerare l'integrazione di queste tecnologie in un contesto architettonico che non sempre può essere modificato.

Tenuto conto di tali criticità, l'analisi preliminare dei costi è stata effettuata sulle singole misure proposte ai fini di stimarne il costo di realizzazione, includendo materiali, manodopera, permessi e altri costi accessori laddove possibile. Le metodologie utilizzate per la stima sono diverse a seconda della tipologia di intervento e della disponibilità di informazioni tecniche in questa fase di prefattibilità.

Tutto quanto premesso, si osserva che l'analisi dei costi, seppur effettuata con il miglior sforzo di precisione possibile, basandosi su assunzioni ragionevoli e declinando sulle peculiarità del caso l'esperienza di numerosi esperti, non riguarda gradi di precisione tali per cui sia possibile sostanziare una stima affidabile dell'impegno economico necessario. L'analisi ha teso a voler mettere a disposizione del lettore una base su cui, in considerazione di dettagli progettuali maggiori, procedere in seguito ad una stima affidabile ai fini di scelte d'impegno economico. A tal proposito, compatibilmente con il carattere preliminare del presente studio e con la singolarità del progetto, ai fini di una valutazione economica più accurata si evidenzia la necessità di acquisire, nelle fasi successive, elementi di maggiore dettaglio relativamente al progetto e/o informazioni quantitative più specifiche.

#### 14.3.2. Assunzioni

Il presente paragrafo illustra gli esiti della valutazione economica preliminare delle misure proposte (si veda allegato tecnico *"Schede degli interventi"*) per l'implementazione nell'ambito del complesso di Villa Farnesina.

In ogni caso, la stima preliminare è stata eseguita prediligendo le seguenti fonti di informazioni:

- costi parametrici, ovvero la definizione dei costi a partire da parametri medi per unità di misura, utilizzati nel settore edile per stime di massimali di costo per categoria di attività (opportunamente adattati ove necessario vista la singolarità dell'applicazione);
- indicazioni da prezziari di riferimento per attività o prodotti di utilizzo comune (opportunamente adattati ove necessario in base all'esperienza vista la singolarità dell'applicazione);
- indicazioni di budget dai fornitori o da progetti simili;
- progetti in parte già realizzati nella Villa.

#### 14.3.3. Sintesi della valutazione preliminare dei costi

La valutazione preliminare dei costi per interventi su edifici storici mirati al miglioramento della sostenibilità ambientale richiede una pianificazione accurata, basata su una profonda conoscenza delle caratteristiche dell'edificio, dei vincoli normativi e delle tecnologie disponibili. Sebbene i costi possano risultare più elevati rispetto a edifici moderni, tali interventi rappresentano una necessità per garantire la sostenibilità ambientale e il comfort degli edifici storici, preservandone al contempo il valore culturale e architettonico.



Un'accurata analisi preliminare, supportata da diagnosi energetiche e dalla collaborazione con le autorità competenti, può garantire una stima più precisa dei costi e consentire la pianificazione di interventi che bilancino efficacemente esigenze tecniche e tutela del patrimonio storico.

La stima dei costi è stata riportata all'interno delle singole schede in allegato alla presente relazione.

## 15. Prima valutazione delle misure proposte per Villa Farnesina

### 15.1. La matrice di compatibilità per gli interventi

Dopo aver identificato le varie misure applicabili così come descritto nelle precedenti sezioni, si procede con un'analisi complessiva di tipo quali-quantitativo volta ad individuare gli effetti sinergici o limitanti delle varie misure proposte le une rispetto alle altre, al fine di individuare una soluzione che possa dare un risultato quanto più ottimizzato in presenza di più interventi.

A supporto di tale analisi, viene predisposta la matrice di compatibilità delle misure individuate, che nella parte alta riporta gli incroci tra le varie misure al fine di valutare le interazioni reciproche e in quella sottostante riporta, per ogni misura, sinteticamente la determinazione dei parametri di valutazione identificati nei paragrafi precedenti (stima economica, Carbon Footprint, compatibilità con i protocolli di certificazione energetico-ambientale, indirizzi strategici).

A partire da tali analisi, è possibile valutare in via preliminare quali soluzioni risultano mutuamente esclusive, perché tra loro incompatibili o, al contrario, sovrapponibili. Lo step seguente prevede quindi la composizione di molteplici scenari di interventi da approfondire nelle successive fasi.

#### 15.1.1. Come leggere i risultati dell'analisi della matrice

La matrice di compatibilità è utile per fornire indirizzi alle successive fasi di progetto. Da considerazioni preliminari relativamente alla compatibilità degli interventi risulta che:

- tutti gli interventi dal 6 al 14 sono indipendenti; pertanto, possono essere inseriti in ciascuno degli scenari che si andranno a identificare;
- gli interventi da 1A a 1E, così come gli interventi 2A e 2B, sono tra di loro alternativi, ovvero incompatibili; pertanto, nella successiva costruzione di possibili scenari non potranno coesistere nello stesso scenario di intervento;
- gli interventi da 3 a 5 risultano compatibili o sinergici con gli interventi "1A-1E", pertanto nella costruzione degli scenari sarà opportuno valutarne lo sviluppo per aumentare i benefici derivanti dai soli interventi 1A-1E che andranno a caratterizzare lo scenario.

### 15.2. Considerazioni preliminari

Le valutazioni sintetiche dei parametri di cui sopra consentono, in questa fase, una lettura globale e comparata degli interventi proposti e della loro compatibilità.

Tali valutazioni sono pertanto da considerarsi come indicative al fine della determinazione di possibili scenari di intervento oggetto della successiva fase di valutazione, che dovranno tener conto anche degli indirizzi strategici della Soprintendenza e dei soggetti coinvolti nello studio. L'attuazione della parte rimanente della procedura illustrata a partire dal capitolo 7.4 in poi, è prevista nella fase successiva del progetto, che prevede la definizione e l'approfondimento tecnico degli scenari di intervento, la selezione della strategia di retrofit finale e l'avvio della progettazione.

Identificativo della misura individuata		Ambito di riferimento della misura
1A	Pompa di calore a compressione elettrica con gas refrigerante naturale (Propano R290)	Riqualficazione del giardino storico
1B	Pompa di calore geotermica a circuito aperto	Riqualficazione della gestione della risorsa idrica
1C	Pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP- "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi	Implementazione servizi di mobilità sostenibile
1D	Caldie a condensazione	Proposte in ambito Food
1E	Pompa di calore geotermica a circuito chiuso	
2A	Coibentazione del sistema sito al piano interrato	
2B	Rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato	
3A	Isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti	
3B	Installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata	
4	Installazione di un sistema di controllo e gestione BEMS degli impianti energetici	
5A	Installazione di una vetrocamera su telaio esistente (aree espositive al piano rialzato, piano primo e locali ai piani mezzanini)	
5B	Sostituzione delle chiusure vetrate delle arcate della Loggia Amore e Psiche	
5C	Sostituzione dei serramenti dell'altana	
5D	Riqualficazione serramenti presenti ai locali del piano interrato e in copertura	
6	Adegguamento impianto elettrico	
7	Riqualficazione impianto di illuminazione	
8	Riqualficazione della copertura	
9A	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium	
9B	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o Foresteria	
9C	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monolit a scopo rappresentativo/comunicativo	
10	Riqualficazione della pavimentazione esterna	
11		
12		
13		
14		
1A	Pompa di calore a compressione elettrica con gas refrigerante naturale (Propano R290)	Generatori di calore e terminali di emissione
1B	Pompa di calore geotermica a circuito aperto	
1C	Pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP- "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi	
1D	Caldie a condensazione	
1E	Pompa di calore geotermica a circuito chiuso	
2A	Coibentazione del sistema sito al piano interrato	Riqualficazione sistema di riscaldamento ad aria delle Logge
2B	Rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato	
3A	Isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti	Riqualficazione locali piano interrato
3B	Installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata	



Identificativo della misura individuata		Ambito di riferimento della misura
9A	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium	Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche
9B	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o Foresteria	
9C	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monoliti a scopo rappresentativo/comunicativo	
10	Riqualificazione della pavimentazione esterna	Spazi esterni
11	Riqualificazione del giardino storico	
12	Ottimizzazione della gestione della risorsa idrica	Spazi esterni: risorsa idrica giardino
13	Implementazione servizi di mobilità sostenibile	Mobilità sostenibile
14	Proposte in ambito food	Sostenibilità ed economia circolare
1A	Pompa di calore a compressione elettrica con gas refrigerante naturale (Propano R290)	
1B	Pompa di calore geotermica a circuito aperto	
1C	Pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP- "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi	
1D	Caldaie a condensazione	
1E	Pompa di calore geotermica a circuito chiuso	
2A	Colibentazione del sistema sito al piano interrato	
2B	Rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato	
3A	Isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti	
3B	Installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata	
4	Installazione di un sistema di controllo e gestione BEMS degli impianti energetici	
5A	Installazione di una videocamera su telaio esistente (aree espositive al piano rialzato, piano primo e locali ai piani mezzanini)	
5B	Sostituzione delle chiusure vetrate delle arcate della Loggia Amore e Psiche	
5C	Sostituzione dei serramenti dell'altana	
5D	Riqualificazione serramenti presenti ai locali del piano interrato e in copertura	
6	Adeguamento impianto elettrico	
7	Riqualificazione impianto di illuminazione	
8	Riqualificazione della copertura	
9A	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium	
9B	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o Foresteria	
9C	Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monoliti a scopo rappresentativo/comunicativo	
10	Riqualificazione della pavimentazione esterna	
11	Riqualificazione del giardino storico	
12	Ottimizzazione della gestione della risorsa idrica	
13	Implementazione servizi di mobilità sostenibile	
14	Proposte in ambito food	

Identificativo della misura individuata	Ambito di riferimento della misura																								
	1A	1B	1C	1D	1E	2A	2B	3A	3B	4	5A	5B	5C	5D	6	7	8	9A	9B	9C	10	11	12	13	14
Parametri	Valutazione impatti della misura																								
	Carbon Footprint*																								
Costi investimento** (mila €)	220	320	260	65-130	360	15	50	-	15	40	190	95	16	25	150	155	-	30-40-100	7	18-45	5,01E + 03 kg CO <sub>2</sub> -Eq/intervento	5,82E + 04 kg CO <sub>2</sub> -Eq/intervento	(A) 1,95E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg di LED (B) 2,64E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg di ghiaia	(A) 9,15E + 03 kg CO <sub>2</sub> -Eq/intervento (solo car sharing) (B) 5,11E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg di rastrelliera	160
	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI+	SI+	SI+	SI+	SI+	SI+
Coerenza con protocolli***																									
Indirizzi strategici																									



### Legenda:

**I** = Iniziative indipendenti

**S** = Iniziative sinergiche

**C** = Compatibili

**X** = Incompatibili

NOTE alla matrice di compatibilità:

- con la lettera "I" in colore giallo le iniziative indipendenti dallo scenario indagato ovvero quelle che possono essere sempre adottate nello scenario di riferimento apportando un beneficio;
- con la lettera "S" in colore verde le iniziative sinergiche rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo rispetto ai singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera "C" in colore verde le iniziative compatibili con quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un beneficio additivo ridotto rispetto alla somma dei singoli interventi realizzati indipendentemente;
- con la lettera "X" in colore rosso le iniziative incompatibili rispetto a quella principale che identifica lo scenario indagato ovvero quelle che, essendo adottate congiuntamente apporterebbero un effetto peggiorativo o non sarebbero tecnicamente applicabili sostenibili.

\* I valori di Carbon Footprint rappresentano le emissioni dovute all'intervento (o all'unità funzionale laddove l'intervento non sia stato ancora dimensionato o non sia dimensionabile in questa fase del progetto). Si specifica che gli impatti non sono da confondersi con i benefici attesi dovuti all'intervento e che non esprimono una gerarchia dei benefici ottenibili con gli interventi.

- 1A a 1E- I valori indicati si riferiscono ai MJ di energia termica prodotti per ciascuna opzione di sistema di riscaldamento.
- 2A- Il range indicato rappresenta il valore massimo e minimo calcolato per l'intervento, considerando le opzioni di materiali isolanti proposte.
- 2B- Il valore indicato si riferisce alle emissioni per kg di tubazioni.
- 3A- I valori indicati rappresentano:
  - il range di emissioni per kg dei diversi materiali isolanti proposti (in attesa di conoscere lo spessore del materiale isolante e i m<sup>2</sup> della superficie da isolare);
  - le emissioni per kg di CNT® (B) (in attesa di conoscere il quantitativo in kg del sistema).
- 3B- Il valore indicato si riferisce a un'unità del sistema di ventilazione.
- 4- Il valore indicato si riferisce alle emissioni per kg del sistema elettronico BEMS.
- 5A- 5E: i valori indicati si riferiscono all'intervento completo (ipotizzata vetrocamera doppia).
- 6- Il valore indicato si riferisce all'intervento completo.
- 7- Il valore indicato si riferisce all'intervento, escludendo i sensori.
- 8- Il valore indicato si riferisce alle emissioni per kg di coppi.
- 9A- Il valore indicato si riferisce all'intervento completo (130 moduli di 20 kWp).
- 9B- Il valore indicato si riferisce all'intervento completo.
- 9C- Il valore indicato si riferisce all'intervento completo.
- 10- Il valore indicato si riferisce all'intervento completo.
- 11- Il valore indicato si riferisce alle emissioni per kg di ciascun materiale proposto: (A) LED; (B) Ghiaia.
- 12- I valori indicati si riferiscono a (A) i 3 nuovi serbatoi, (B) le emissioni per m<sup>3</sup> di acqua utilizzata.
- 13- I valori indicati si riferiscono a (A) le missioni per i km percorsi dal veicolo (Enjoy) e (B) le emissioni per kg di rastrelliera.
- 14- La valutazione LCA relativa alla ristrutturazione del punto ristoro sarà condotta successivamente allo sviluppo del progetto, che definirà i materiali specifici per ristrutturazione dello spazio.

\*\* La stima preliminare dei costi dei singoli interventi è stata eseguita seguendo quanto riportato nel paragrafo 14.3.2.

\*\*\* La clusterizzazione è stata effettuata sulla base della compatibilità delle diverse misure proposte con uno o più protocolli tra quelli ritenuti applicabili in termini di requisiti minimi di programma, nel seguente modo:

- "NO" = incompatibilità con i protocolli ipotizzati (GBC HB, LEED O&M e SITES)
- "SI" = compatibilità con i protocolli GBC HB e LEED O&M
- "SI+" = compatibilità con protocolli GBC HB, LEED O&M e SITES
- ND = Non Disponibile

ipsum enim est in civile  
de phisica applicationem, scientiae  
principia, et in solvendo pro  
hominum societate, cum intellectu  
Rationis et morali constantia

## ALLEGATO TECNICO 1:

### SCHEDE DEGLI INTERVENTI



## SCHEMA INTERVENTI N° 1A

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Generatori di calore e terminali di emissione</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 1A: pompa di calore a compressione elettrica con gas refrigerante naturale (Propano R290)</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>L'impianto di riscaldamento è attualmente costituito da 2 caldaie a gas a servizio della Villa e del primo piano della Foresteria, situate nella centrale termica presso l'edificio della Foresteria.</p> <p>Caratteristiche tecniche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenza termica nominale: 329 kW</li> <li>• portata termica utile: 295 kW</li> <li>• pressione massima di esercizio: 5 kg/cmq</li> </ul> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da un circuito primario a vaso chiuso (all'interno della stessa centrale con scambiatore di calore) e da un circuito secondario di distribuzione del fluido termovettore inviato sia ai termosifoni che a un sistema canalizzato per il riscaldamento ad aria delle logge (a vaso aperto collocato nei pressi dell'altana di Villa Farnesina). I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa; per alcuni locali è presente un sistema canalizzato ad aria.</p> <p><i>Nota: allo stato attuale risulta necessario approfondire quali locali della Villa sono effettivamente riscaldati in aggiunta alle sale espositive (i.e. depositi ed ex uffici situati ai piani mezzanini, altana).</i></p>
Motivazione dell'intervento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento dell'efficienza dell'impianto attuale, che appare vetusto e sovradimensionato sulla base della valutazione dello stato di fatto e dei consumi analizzati, nell'ipotesi di climatizzare l'intero edificio della Villa.</li> <li>• Utilizzo di fonti di energia rinnovabile.</li> </ul>
Descrizione della soluzione	<p>Si propone di sostituire l'attuale sistema di riscaldamento con un sistema a pompa di calore elettrica reversibile con ciclo frigo monoblocco e refrigerante naturale R290 (propano), in grado di produrre acqua a temperature di 70°C idonee anche all'utilizzo degli attuali radiatori in ghisa.</p> <p>Nell'ipotesi di mantenere una temperatura di set point pari a 20°C per l'intero edificio, si stima un fabbisogno termico dell'edificio in potenza pari a ca. 140 kW.</p> <p>Tale potenza può essere ottenuta con una o più pompe di calore disposte in cascata, soluzione che permette di modulare la potenza erogata alla richiesta dell'edificio.</p> <p>Al fine di ottimizzare l'efficienza stagionale dell'impianto, il dimensionamento della pompa di calore può prevedere una taglia inferiore rispetto alla potenza richiesta dall'edificio.</p> <p><i>Nota: al fine di raggiungere l'ottimo economico/energetico si può valutare l'installazione di una pompa di calore in configurazione ibrida, di potenza inferiore al fabbisogno massimo della Villa, demandando alla caldaia il compito di sopperire ai picchi di potenza termica, valutando di sostituire il generatore con uno più efficiente a condensazione e di taglia più piccola.</i></p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Le pompe di calore che utilizzano R290 come refrigerante richiedono l'installazione all'esterno. Si ipotizza, in prima ipotesi, di posizionare la macchina nei pressi del muro di cinta, accanto all'ingresso di via della Lungara tra il civico 229 e il 230. La pompa di calore può essere nascosta alla vista da arbusti sempreverdi. Il collegamento tra la pompa di calore e l'impianto termico posto nel seminterrato della Villa è realizzabile con tubazioni isolate e interrate e fluido termovettore acqua.</p> <p>L'uso di una pompa di calore elettrica impone un adeguamento della potenza elettrica massima resa disponibile dal fornitore e l'impiego di una linea trifase.</p> <p>La pompa di calore proposta utilizza l'aria esterna come fonte di energia rinnovabile e l'energia elettrica per il suo funzionamento (oltre 1/3 dell'energia elettrica prelevata dalla rete proviene da fonte rinnovabile e tale valore è destinato a crescere negli anni futuri). Inoltre, utilizza un gas refrigerante non tossico (propano) con potenziale di riscaldamento globale trascurabile GWP100=0,02.</p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 1A**

Voce	Descrizione
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: pompa di calore a compressione elettrica con gas refrigerante naturale (Propano R290)</li> <li>• Database Ecoinvent: "Heat production, air-water heat pump 10kW"</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 4,08E-02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/MJ</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 220.000 €.
Eventuali immagini/mappe	



Vista in pianta della posizione della PdC e delle tubazioni interrate di collegamenti al piano seminterrato della Villa.

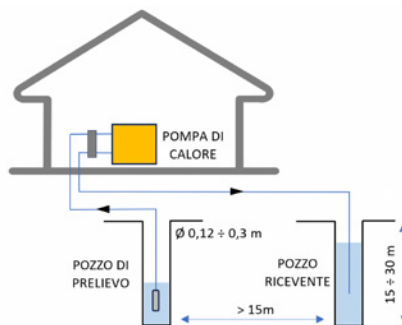
## SCHEMA INTERVENTI N° 1B

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Generatori di calore e terminali di emissione</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 1B: pompa di calore geotermica a circuito aperto</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>L'impianto di riscaldamento è attualmente costituito da 2 caldaie a gas di tipo duplex composte ciascuna da 2 bruciatori, a servizio della Villa e del primo piano della Foresteria, situate nella centrale termica presso l'edificio della Foresteria.</p> <p>Caratteristiche tecniche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenza termica nominale: 329 kW</li> <li>• portata termica utile: 295 kW</li> <li>• pressione massima di esercizio: 5 kg/cmq</li> </ul> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da un circuito primario a vaso chiuso (all'interno della stessa centrale con scambiatore di calore) e da un circuito secondario di distribuzione del fluido termovettore inviato sia ai termosifoni che a un sistema canalizzato per il riscaldamento ad aria delle logge (a vaso aperto collocato nei pressi dell'altana di Villa Farnesina). I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa; per alcuni locali è presente un sistema canalizzato ad aria.</p> <p><i>Nota: allo stato attuale, risulta necessario approfondire quali locali della Villa sono effettivamente riscaldati in aggiunta alle sale espositive (i.e. depositi ed ex uffici situati ai piani mezzanini, altana).</i></p>
Motivazione dell'intervento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento dell'efficienza dell'impianto attuale, che appare vetusto e sovradimensionato sulla base della valutazione dello stato di fatto e dei consumi analizzati, nell'ipotesi di climatizzare l'intero edificio della Villa.</li> <li>• Utilizzo di fonti di energia rinnovabile.</li> </ul>
Descrizione della soluzione	<p>Si propone di sostituire l'attuale sistema di riscaldamento con un sistema a pompa di calore elettrica reversibile che sfrutta l'acqua della prima falda acquifera come fluido termovettore.</p> <p>Il sistema necessita di un pozzo per il prelievo e un pozzo per la reimmissione dell'acqua di falda. L'acqua di falda viene utilizzata dalla pompa di calore e restituita al terreno alterandone unicamente la temperatura di 3÷5°C.</p> <p>Nell'ipotesi di mantenere una temperatura di set point pari a 20°C per l'intero edificio, si stima un fabbisogno termico dell'edificio in potenza pari a ca. 140 kW. Al fine di ottimizzare l'efficienza stagionale dell'impianto, il dimensionamento della pompa di calore può prevedere una taglia inferiore rispetto alla potenza richiesta dall'edificio.</p> <p><i>Nota: al fine di raggiungere l'ottimo economico/energetico, si può valutare l'installazione di una pompa di calore in configurazione ibrida di potenza inferiore al fabbisogno massimo della Villa, demandando alla caldaia il compito di sopprimere ai picchi di potenza termica, valutando di sostituire il generatore con uno più efficiente a condensazione e di taglia più piccola.</i></p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Al fine di valutare la localizzazione di dettaglio e la fattibilità del sistema, risulta necessario svolgere un'indagine preliminare che, dato il pregio del contesto, si suggerisce di effettuare tramite georadar con il supporto di geologi specializzati.</p> <p>Si ipotizza di posizionare i macchinari:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• all'interno del locale interrato, previa valutazione con VVF e Soprintendenza, e a seguito di approfondimenti tecnici relativi all'impatto del rumore e delle vibrazioni;</li> <li>• in alternativa, all'interno dell'attuale locale caldaia.</li> </ul> <p>Il sistema necessita di n. 2 pozzi – uno di prelievo e uno di reimmissione dell'acqua di falda – indicativamente di diametro pari a ca. 15-30 cm – la cui profondità dipende dalla quota dell'acqua di falda, in prima ipotesi entro 15 m, la cui localizzazione potrà essere approfondita a seguito di un'indagine geologica dei plumi termici nel sottosuolo.</p> <p>I pozzi sono collegati alla pompa di calore tramite tubazioni interrate (a lavori ultimati, in superficie sono visibili solo dei chiusini a filo pavimentazione).</p> <p>La pompa di calore proposta utilizza l'acqua di falda come fonte di energia rinnovabile e l'energia elettrica per il suo funzionamento (oltre 1/3 dell'energia elettrica prelevata dalla rete proviene da fonte rinnovabile e tale valore è destinato a crescere negli anni futuri).</p>



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 1B**

Voce	Descrizione
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: pompa di calore geotermica a circuito aperto</li> <li>• Database Ecoinvent: "Heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW"</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 2,93E-02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/MJ</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 320.000€.
Eventuali immagini/mappe	



Schema di massima di un impianto a pompa di calore geotermica ad acqua di falda.

Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico

- L'impianto termico di Villa Olmo a Como è stato riqualificato oltre 20 anni fa con un sistema a pompa di calore acqua/acqua per la climatizzazione invernale ed estiva che utilizza l'acqua di lago come sorgente termica (concettualmente simile ai sistemi che sfruttano l'acqua di falda).

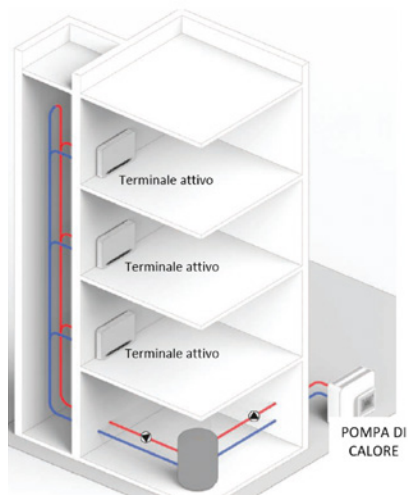


## SCHEDA INTERVENTI N° 1C

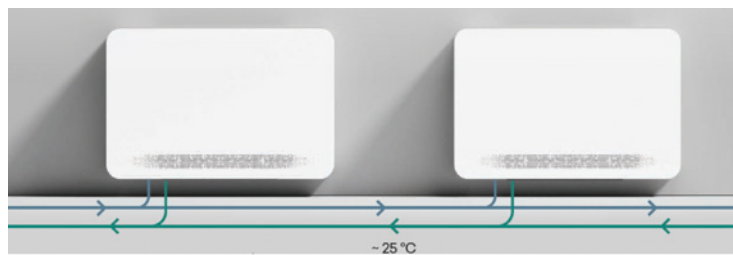
Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Generatori di calore e terminali di emissione</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 1C: pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP – "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>L'impianto di riscaldamento è attualmente costituito da 2 caldaie a gas composte ciascuna da 2 bruciatori, a servizio della Villa e del primo piano della Foresteria, situate nella centrale termica presso l'edificio della Foresteria.</p> <p>Caratteristiche tecniche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenza termica nominale: 329 kW</li> <li>• portata termica utile: 295 kW</li> <li>• pressione massima di esercizio: 5 kg/cmq</li> </ul> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da un circuito primario a vaso chiuso (all'interno della stessa centrale con scambiatore di calore) e da un circuito secondario di distribuzione del fluido termovettore inviato sia ai termosifoni che a un sistema canalizzato per il riscaldamento ad aria delle logge (a vaso aperto collocato nei pressi dell'altana di Villa Farnesina). I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa; per alcuni locali è presente un sistema canalizzato ad aria.</p> <p><i>Nota: allo stato attuale risulta necessario approfondire quali locali della Villa sono effettivamente riscaldati in aggiunta alle sale espositive (i.e. depositi ed ex uffici situati ai piani mezzanini, altana).</i></p>
Motivazione dell'intervento	Incremento dell'efficienza dell'impianto attuale, che appare vetusto e sovradimensionato sulla base della valutazione dello stato di fatto e dei consumi analizzati, nell'ipotesi di climatizzare l'intero edificio della Villa.
Descrizione della soluzione	<p>Si propone di sostituire l'attuale sistema di riscaldamento con un sistema a pompa di calore elettrica (come descritto nelle schede 1A e 1B).</p> <p>La soluzione proposta riguarda il sistema di distribuzione e di emissione da abbinare al generatore a pompa di calore. Questo sistema permette di riqualificare l'impianto senza intervenire sulle attuali tubazioni di distribuzione del calore in ferro, permettendo anche la climatizzazione estiva, utilizzando terminali di emissione attivi in pompa di calore acqua/aria.</p> <p>Nell'ipotesi di mantenere una temperatura di set point pari a 20°C per l'intero edificio, si stima un fabbisogno termico dell'edificio in potenza pari a ca. 140 kW in riscaldamento e ca. 60 kW in raffrescamento.</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Questa soluzione consiste nel far circolare acqua ad una temperatura neutra (20-30°C), evitando quindi la condensa nelle tubazioni e la si valorizza tramite terminali attivi a pompa di calore da posizionare nei singoli ambienti da climatizzare. I terminali attivi a pompa di calore utilizzano il gas refrigerante naturale R290 (propano) con potenziale di riscaldamento globale trascurabile GWP100 = 0,02.</p> <p><i>Nota: risulta necessario approfondire con la Soprintendenza la tipologia di terminali (fan coil) da selezionare al fine di ridurre al minimo l'impatto estetico e valutare il miglior posizionamento/mimetismo.</i></p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: pompa di calore ad anello d'acqua (WLHP – "Water Loop Heat Pump") con fan coil attivi</li> <li>• Database Ecoinvent: Heat production, air-water heat pump 10kW</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 4,08E-02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/MJ</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 260.000 €.

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 1C****Voce**

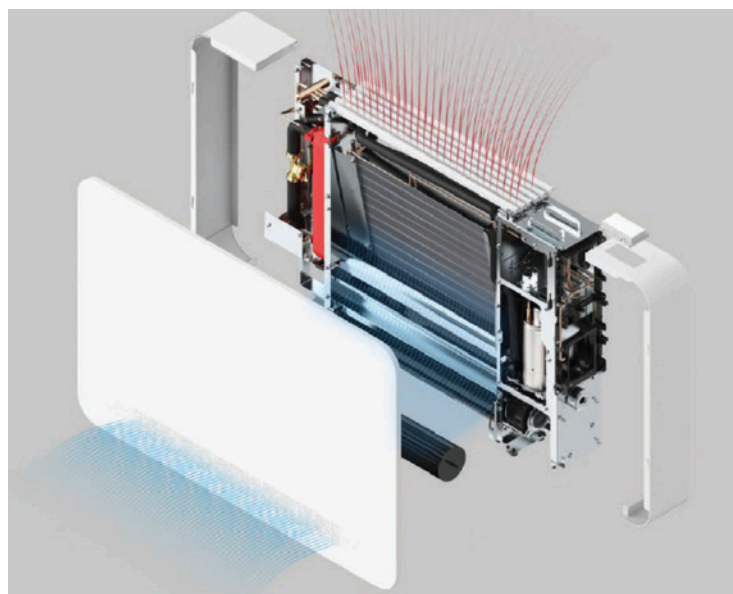
Eventuali immagini/mappe

**Descrizione**

*Schema di massima di un impianto Water loop heat pump con terminali attivi.*



*Immagine dei terminali attivi collegati all'impianto di distribuzione con fluido termovettore acqua alla temperatura di 25°C.*



*Immagine esplosa di un terminale attivo.*

## SCHEMA INTERVENTI N° 1D

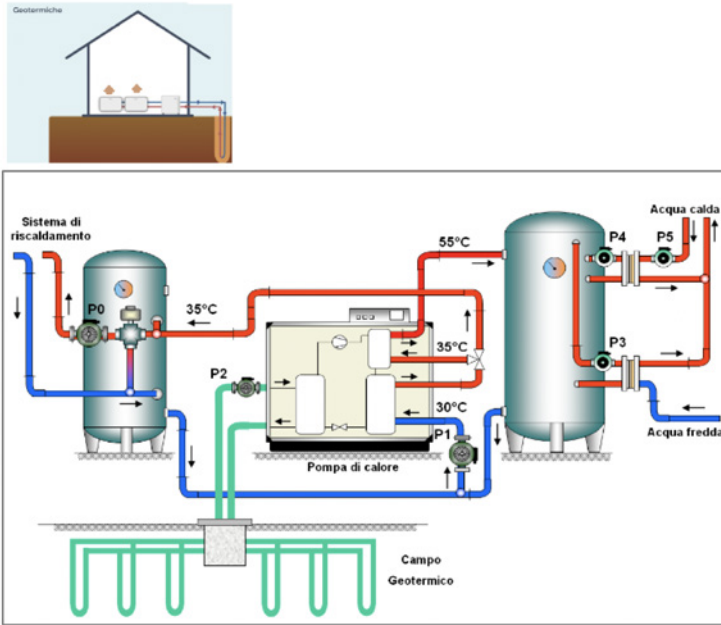
Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Generatori di calore e terminali di emissione</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 1D: caldaie a condensazione</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>L'impianto di riscaldamento è attualmente costituito da 2 caldaie a gas composte ciascuna da 2 bruciatori, a servizio della Villa e del primo piano della Foresteria, situate nella centrale termica presso l'edificio della Foresteria.</p> <p>Caratteristiche tecniche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenza termica nominale: 329 kW</li> <li>• portata termica utile: 295 kW</li> <li>• pressione massima di esercizio: 5 kg/cmq</li> </ul> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da un circuito primario a vaso chiuso (all'interno della stessa centrale con scambiatore di calore) e da un circuito secondario di distribuzione del fluido termovettore inviato sia ai termosifoni che a un sistema canalizzato per il riscaldamento ad aria delle logge (a vaso aperto collocato nei pressi dell'altana di Villa Farnesina). I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa; per alcuni locali è presente un sistema canalizzato ad aria.</p> <p><i>Nota: allo stato attuale risulta necessario approfondire quali locali della Villa sono effettivamente riscaldati in aggiunta alle sale espositive (i.e. depositi ed ex uffici situati ai piani mezzanini, altana).</i></p>
Motivazione dell'intervento	L'intervento è finalizzato all'incremento dell'efficienza dell'impianto attuale, che appare vetusto e sovradimensionato sulla base della valutazione dello stato di fatto e dei consumi reperiti, nell'ipotesi di climatizzare l'intero edificio della Villa.
Descrizione della soluzione	<p>La proposta prevede:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. la sostituzione degli attuali generatori con caldaie a condensazione di taglia inferiore, al fine di garantire un miglioramento dell'efficienza pari ad almeno il 20% rispetto allo stato di fatto.</li> <li>b. In alternativa, al fine di raggiungere l'ottimo a livello economico-energetico-ambientale, si può valutare l'installazione di un sistema ibrido caldaia/pompa di calore (vedi schede 1A-1B per riferimenti alla tecnologia con pompa di calore).</li> </ol> <p>Nell'ipotesi di mantenere una temperatura di set point pari a 20°C per l'intero edificio, si stima un fabbisogno termico dell'edificio in potenza pari a ca. 140 kW.</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. L'impianto di generazione attuale può essere sostituito da una o più caldaie a condensazione in cascata con rendimento elevato (fino al 106%).</li> <li>b. Nel caso del sistema ibrido, la pompa di calore ha potenza inferiore al fabbisogno massimo della Villa e demanda alla caldaia il compito di sopprimere ai picchi di potenza termica. Tale soluzione consentirebbe un incremento ulteriore dell'efficienza (fino al 130%).</li> </ol> <p><i>Nota: nel caso di sostituzione dei generatori, si propone di sostituire le vetuste tubazioni in ferro che portano l'acqua calda alla Villa con nuove tubazioni coibentate con materiali da economia circolare.</i></p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	Nell'ottica dell'ottimizzazione delle prestazioni e della massimizzazione dell'efficienza in linea con gli obiettivi dei protocolli energetico-ambientali rating system nazionali/internazionali, tale misura risulta inappropriata rispetto alle altre opzioni proposte (vedi schede 1A-1B-1C-1E) che prevedono l'implementazione di tecnologie più innovative e sostenibili.
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: caldaia a condensazione</li> <li>• Database Ecoinvent: Heat production, natural gas, at boiler condensing modulating &lt;100kW</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 7,38E-02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/MJ</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>La previsione di spesa per l'intervento nelle due configurazioni alternative è:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. investimento complessivo è di 65.000 €.</li> <li>b. investimento complessivo è di 130.000 € (potenzialità PdC pari al 50% della potenza termica di progetto).</li> </ol>

## SCHEDA INTERVENTI N° 1E

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Generatori di calore e terminali di emissione</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 1E: pompa di calore geotermica a circuito chiuso</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>L'impianto di riscaldamento è attualmente costituito da 2 caldaie a gas composte ciascuna da 2 bruciatori, a servizio della Villa e del primo piano della Foresteria, situate nella centrale termica presso l'edificio della Foresteria.</p> <p>Caratteristiche tecniche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenza termica nominale: 329 kW</li> <li>• portata termica utile: 295 kW</li> <li>• pressione massima di esercizio: 5 kg/cmq</li> </ul> <p>Il sistema di distribuzione del fluido termovettore è costituito da un circuito primario a vaso chiuso (all'interno della stessa centrale con scambiatore di calore) e da un circuito secondario di distribuzione del fluido termovettore inviato sia ai termosifoni che a un sistema canalizzato per il riscaldamento ad aria delle logge (a vaso aperto collocato nei pressi dell'altana di Villa Farnesina). I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in ghisa; per alcuni locali è presente un sistema canalizzato ad aria.</p> <p><i>Nota: allo stato attuale risulta necessario approfondire quali locali della Villa sono effettivamente riscaldati in aggiunta alle sale espositive (i.e. depositi ed ex uffici situati ai piani mezzanini, altana).</i></p>
Motivazione dell'intervento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento dell'efficienza dell'impianto attuale, che appare vetusto e sovradimensionato sulla base della valutazione dello stato di fatto e dei consumi reperiti, nell'ipotesi di climatizzare l'intero edificio della Villa.</li> <li>• Utilizzo di fonti di energia rinnovabile.</li> </ul>
Descrizione della soluzione	<p>Si propone di sostituire l'attuale sistema di riscaldamento con un sistema a pompa di calore elettrica reversibile che sfrutta il calore del terreno.</p> <p>Nell'ipotesi di mantenere una temperatura di set point pari a 20°C per l'intero edificio, si stima un fabbisogno termico dell'edificio in potenza pari a ca. 140 kW.</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Il sistema necessita di una serie di scambiatori geotermici verticali (ad esempio, per una pompa di calore da 100 kWt si stima che sarebbe necessario perforare circa 23 pozzi geotermici profondi 100 m, con distanza minima di almeno 6 m l'una dall'altra. La superficie di terreno necessaria sarebbe pari a circa 700 m²).</p> <p><i>Nota: al fine di poter effettuare il dimensionamento del sistema proposto, risulta necessario svolgere indagini geologiche di dettaglio con il supporto di tecnici specializzati.</i></p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: pompa di calore geotermica a circuito chiuso</li> <li>• Database Ecoinvent: Heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10 Kw</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 2, 93E-02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/MJ</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 360.000 €.




(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 1E**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	Linee guida per la progettazione dei campi geotermici per pompe di calore a terreno: <a href="https://www.rse-web.it/wp-content/uploads/2021/03/12000317-314717.pdf">https://www.rse-web.it/wp-content/uploads/2021/03/12000317-314717.pdf</a>

## SCHEDA INTERVENTI N° 2A

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione sistema di riscaldamento ad aria delle Logge</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 2A: coibentazione del sistema sito al piano interrato</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>Al piano interrato è attualmente presente un sistema canalizzato per il riscaldamento dell'aria, collegato all'impianto termico tramite uno scambiatore di calore.</p> <p>L'aria calda, diffusa tramite una unità ventilante, è a servizio di alcuni ambienti affrescati a piano terra (Loggia di Amore e Psiche e Loggia di Galatea) tramite bocchette di aerazione a pavimento.</p> <p><i>Nota: si chiarisce che l'impianto era presente anche nell'Altana; attualmente, in tale locale sono presenti le canalizzazioni dismesse.</i></p>
Motivazione dell'intervento	<p>Le condotte e le altre componenti dell'impianto attuale risultano in condizioni di degrado e non coibentate.</p> <p>L'intervento è volto a garantire una maggiore efficienza di distribuzione del calore minimizzando le dispersioni termiche.</p>
Descrizione della soluzione	<p>Si propone di realizzare la coibentazione delle condotte aerauliche che convogliano l'aria negli ambienti della villa e delle tubazioni/guarnizioni/raccordi dell'impianto di distribuzione, valutando l'utilizzo di materiali realizzati da riciclo (es. Versalis Revive: gamma di prodotti a diversa base polimerica come polietilene, elastomeri e stirenici, caratterizzati dalla presenza di una quantità variabile di materiale proveniente da riciclo) e/o da fonti rinnovabili (es. Versalis Balance: intermedi e polimeri con caratteristiche e performance identiche a quelle dei prodotti tradizionali. A seconda della materia prima utilizzata si possono ottenere prodotti Bio Attributed (BA) e Bio-Circular Attributed (BCA) realizzati partendo da bionafte, e Circular Attributed (CA) realizzati con recycled oil (r-Oil) ottenuto dal processo di riciclo chimico dei rifiuti di plastica mista).</p> <p>Oltre a limitare la dispersione di energia, la coibentazione condotte aerauliche delle consente di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• contenere la propagazione del rumore;</li> <li>• proteggere le tubazioni dalla eventuale formazione di condensa superficiale (nel caso di distribuzione di aria refrigerata).</li> </ul>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La coibentazione delle tubazioni aerauliche è fondamentale per garantire l'efficienza degli impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria.</p> <p>Si prevede in prima analisi:</p> <p>a) l'impiego di isolante per tubazioni, valvole, accessori e superfici in genere costituito da lastre in elastomero sintetico estruso a cellule chiuse, coefficiente di conducibilità termica a 40°C non superiore a 0,042 W/m², classe 1 di reazione al fuoco, in quantità totale, compresi gli sfridi ed il nastro adesivo, di circa 100 m² per uno spessore di 13 mm.</p> <p>Alternativamente, si prevede di realizzare l'intervento ricorrendo a:</p> <p>b) materiali isolanti sottoforma di schiuma rigida, lana di vetro o poliuretano, rivestiti con sistemi in lamiera per protezione;</p> <p>c) rivestimento con guaine, ad esempio in mescola poliuretanica, autoadesive, meglio adattabili ai tratti curvi o flangiati;</p> <p>d) pannelli rigidi in metallo, fibra di vetro o plastica;</p> <p>Per l'isolamento si propone, ad esempio, GPPS riciclato per produrre schiume XPS (opzione b) e EPS riciclato per la produzione di pannelli isolanti (opzione d).</p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 2A**

Voce	Descrizione		
	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	EPS	Polystyrene foam slab production	2,72E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	XPS	Polystyrene production, extruded, CO <sub>2</sub> blown	3,52E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Schiuma Poliuretanica	Polyurethane production, rigid foam	4,30E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Lana di Roccia	Stone wool production, packed	1,48E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Fibra di Vetro	Glass fibre production	1,28E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Lamiera	Tin plated chromium steel sheet production, 2 mm	9,41E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	<p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>		
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>La previsione di spesa per l'intervento complessivo di coibentazione è di 15.000 €; tale importo è comprensivo dei materiali indicati al punto a).</p> <p>Nel caso in cui, in una fase più avanzata del progetto, si preveda l'utilizzo di pannelli o manufatti in EPS/XPS, il costo di tali materiali dipenderà dalla fattibilità del progetto. Per coibentazione tubazioni, l'utilizzo di EPS prevede infatti lo studio di stampi idonei e una progettazione ad hoc. Pertanto, ad oggi non è possibile quantificare i costi in quanto è necessaria apposita progettazione.</p>		
Eventuali immagini/mappe			

## SCHEDA INTERVENTI N° 2B


Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione sistema di riscaldamento ad aria delle Logge</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 2B: rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>Al piano interrato è attualmente presente un sistema canalizzato per il riscaldamento dell'aria, collegato all'impianto termico tramite uno scambiatore di calore. L'aria calda, diffusa tramite una unità ventilante, è a servizio di alcuni ambienti affrescati a piano terra (Loggia di Amore e Psiche e Loggia di Galatea), tramite bocchette di aerazione a pavimento.</p> <p><i>Nota: si chiarisce che l'impianto era presente anche nell'altana; attualmente, in tale locale sono presenti le canalizzazioni dismesse.</i></p>
Motivazione dell'intervento	<p>Al fine della riqualificazione energetico-ambientale, sulla base delle esigenze specifiche relative alla Loggia di Amore e Psiche e Loggia di Galatea e delle necessità di conservazione dei manufatti artistici presenti, si propone la realizzazione di un impianto nuovo a garanzia di un più efficiente controllo microclimatico.</p> <p><i>Nota: quanto all'altana, in considerazione del cambio d'uso del locale (precedentemente adibito a laboratorio), si rimanda ad approfondimenti tecnici ulteriori la valutazione della necessità di un sistema di riscaldamento ad aria (al momento si ritiene sufficiente un sistema con pompa di calore - vedi schede 1).</i></p>
Descrizione della soluzione	<p>Si propone il rifacimento ex novo delle attuali tubazioni in acciaio, dello scambiatore di calore acqua/aria e delle canalizzazioni dell'aria, a valle di un'analisi più precisa dei fabbisogni delle Logge.</p> <p><i>Nota: per quanto riguarda l'altana, si propone l'eliminazione delle canalizzazioni dismesse ad oggi presenti, ritenendo sufficienti gli interventi proposti nell'ambito del sistema di generazione (schede 1 A-E) per gli usi futuri.</i></p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La soluzione proposta permette di operare a temperature più basse e a carichi variabili, migliorando l'efficacia e l'efficienza di scambio, consentendo anche il raffrescamento estivo (in caso di raffrescamento estivo, sarà necessario prevedere anche un sistema di raccolta della condensa).</p> <p>A livello logistico, tale intervento è facilitato dalla collocazione degli impianti all'interno dei locali interrati.</p> <p>Tale intervento può consentire l'introduzione di un sistema di controllo termo-igrometrico a tutela del microclima delle aree per una puntuale conservazione delle opere d'arte presenti.</p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: tubazione</li> <li>• Database Ecoinvent: tubazione acciaio</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 5,11E + 00 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 50.000 €.</p> <p>Tale stima tiene conto di interventi analoghi, nell'ambito dei quali il materiale di scambio ha previsto l'utilizzo di acciaio per le tubazioni, lamiera zincata per le canalizzazioni ad aria e rame/alluminio per le batterie di scambio aria/acqua.</p> <p>Una stima più precisa potrà essere fornita in una fase più avanzata del progetto.</p>
Eventuali immagini/mappe	

## SCHEMA INTERVENTI N° 3A

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione locali piano interrato</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 3A: isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti</b>
Descrizione dello stato di fatto	Il piano interrato ospita le canalizzazioni dell'aria calda e i quadri elettrici; inoltre, presenta finestre di areazione aperte. Globalmente, si rileva uno stato di conservazione dei locali discreto; tuttavia, per poter raggiungere un'ottimizzazione delle prestazioni globali dell'edificio si propone la valutazione di interventi di isolamento al fine di ridurre le dispersioni termiche.
Motivazione dell'intervento	L'analisi dello stato di fatto suggerisce un intervento di riqualificazione che garantisca da un lato un maggiore isolamento dei solai al piano superiore per limitare le dispersioni termiche verso l'ambiente non riscaldato sottostante e dall'altro un migliore controllo dei livelli di umidità.
Descrizione della soluzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applicazione di materiale isolante a contatto con il soffitto per migliorare le condizioni di comfort nei locali del piano terra con prodotti contenenti materiale riciclato (es. Versalis Revive: gamma di prodotti a diversa base polimerica, come polietilene, elastomeri e stirenici, caratterizzati dalla presenza di una quantità variabile di materiale proveniente da riciclo) e/o da fonti rinnovabili (es. Versalis Balance: intermedi e polimeri con caratteristiche e performance identiche a quelle dei prodotti tradizionali. A seconda della materia prima utilizzata si possono ottenere prodotti Bio Attributed (BA) e Bio-Circular Attributed (BCA) realizzati partendo da bionaftha, e Circular Attributed (CA) realizzati con recycled oil (r-Oil) ottenuto dal processo di riciclo chimico dei rifiuti di plastica mista).</li> </ul> <p>Nel dettaglio si propongono i seguenti prodotti stirenici della gamma Versalis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• soffitto (struttura di controsoffittatura): Extir EU 3 AE Balance al 90% circa o Extir AM 2000 AE Balance al 90%)</li> <li>• pareti: Extir EU 5 AE Balance al 90% circa</li> <li>• pavimento (struttura di supporto per riscaldamento a pavimento): Extir EU 3 AE Balance al 90% circa o Extir AM 2000 AE Balance al 90%</li> </ul> <p>Si sottolinea che per geometrie non piane (es. archi) l'applicazione dell'EPS potrebbe essere complicata.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibile applicazione di intonaci a base di lignina, un materiale di origine naturale con proprietà adsorbenti utili per il controllo microclimatico dell'umidità per una migliore salubrità dell'ambiente.</li> <li>• In aggiunta, per la riduzione dell'umidità di risalita si propone di valutare il possibile utilizzo di tecnologie innovative (es. CNT® Charge Neutralization Technology, volte a neutralizzare la capacità dell'acqua di lasciarsi attrarre dalle murature)</li> </ul>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Si prevede l'applicazione degli intonaci preferibilmente sulle sole superfici piane, non voltate, dopo pulitura, eventuale stabilizzazione e rimozione degli strati ammalorati di intonaco.</p> <p><i>Nota: tutti i prodotti della gamma Versalis Revive® e Balance® sono conformi con i criteri CAM.</i></p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>

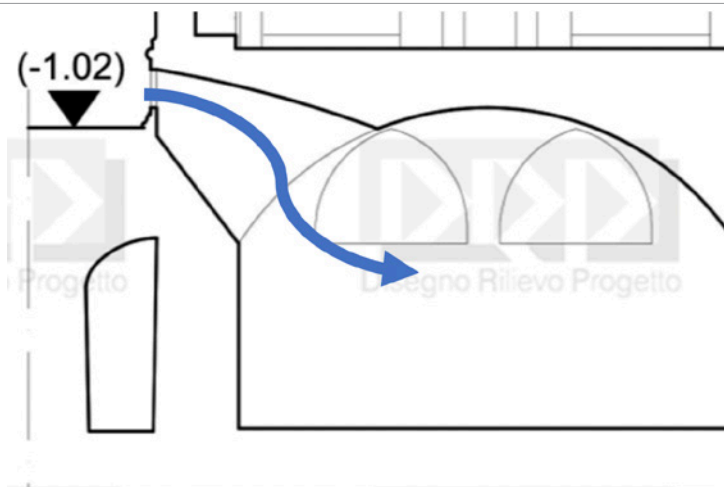


(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 3A**

Voce	Descrizione		
	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	EPS	Polystyrene foam slab production	2,72E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	XPS	Polystyrene production, extruded, CO <sub>2</sub> blown	3,52E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Schiuma poliuretanica	Polyurethane production, rigid foam	4,30E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Lana di Roccia	Stone wool production, packed	1,48E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Fibra di Vetro	Glass fibre production	1,28E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	CNT® Charge Neutralization Technology	Electronics production, for control units	3,32E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	<p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>		
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	Si rimanda ad una valutazione economica con il futuro progettista a seguito dell'analisi della fattibilità di isolamento nell'ambito delle diverse geometrie.		
Eventuali immagini/mappe			

## SCHEMA INTERVENTI N° 3B

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione locali piano interrato</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 3B: installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata</b>
Descrizione dello stato di fatto	Il piano interrato ospita le canalizzazioni dell'aria calda e i quadri elettrici; inoltre, presenta aperture per l'aerazione. Globalmente, si rileva uno stato di conservazione dei locali discreto; tuttavia, per poter gestire l'aerazione dei locali e il controllo dell'umidità si suggerisce l'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata.
Motivazione dell'intervento	L'analisi dello stato di fatto suggerisce un intervento di riqualificazione che garantisca la possibilità di gestire in maniera controllata i ricambi orari mediante un sistema di ventilazione meccanica, previa valutazione delle reali necessità di aerazione dei locali a seconda della destinazione d'uso futura.
Descrizione della soluzione	Sebbene i locali interrati siano attualmente aerati tramite numerose aperture sul piano giardino, nelle parti più interne l'aerazione potrebbe essere carente e favorire l'accumulo di umidità. Per una migliore qualità dell'aria e per il controllo dell'umidità, anche al fine di preservare i materiali e le apparecchiature tecniche installate nei locali, è raccomandabile migliorare l'aerazione con sistemi di ventilazione meccanica.
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	Vista l'estensione e le necessità di salubrità e preservazione dei locali, si propone un sistema meccanico per garantire la naturale circolazione d'aria nei locali non direttamente aerati, tramite tubazioni con ventole di scarico.
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale: <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: sistema di ventilazione</li> <li>• Database Ecoinvent: ventilation system production, decentralized, 6 x 120 m<sup>3</sup>/h, steel ducts</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 9,55E + 03 kg CO<sub>2</sub>-Eq/unit</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per l'intervento complessivo è di 15.000 €.
Eventuali immagini/mappe	



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 3B**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	

## SCHEMA INTERVENTI N° 4

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Implementazione di un Building Energy Management System (BEMS)</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale"
Opzione	<b>Opzione 4: installazione di un sistema di controllo e gestione BEMS degli impianti energetici</b>
Descrizione dello stato di fatto	Non si rileva la presenza di alcun BEMS per la gestione degli impianti del complesso della Villa, bensì di un sistema di accensione temporizzato.
Motivazione dell'intervento	<p>Garantire una gestione integrata e un controllo efficiente degli impianti (climatizzazione, ventilazione, illuminazione, ecc.) mediante implementazione di un BEMS. Tali sistemi consentono di ridurre i costi di gestione (mediante la regolazione dei parametri operativi), di controllare i picchi di consumo e di ottimizzare le tempistiche in caso di manutenzione/guasto.</p> <p>I BEMS permettono di gestire le diverse tipologie di impianti secondo criteri che coniugano le condizioni operative all'uso effettivo degli edifici, per creare le condizioni di comfort desiderate contenendo al minimo il consumo di energia termica ed elettrica.</p>
Descrizione della soluzione	<p>Il BEMS introduce l'intelligenza artificiale all'interno dell'edificio e abilita modalità innovative di automazione, gestione e controllo da remoto degli impianti.</p> <p>Si compone di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• una parte hardware, basata su sensori intelligenti IoT e tradizionali che controllano il corretto funzionamento degli impianti e il conseguimento di ottimali condizioni ambientali interne. In particolare, si prevede l'installazione dei seguenti sensori: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energia: multimetri sia a livello di edificio sia al livello di singole zone termiche, sensori di presenza per la gestione dell'illuminazione, sensori di luminosità, sensori di produzione di energia rinnovabile (i.e. fotovoltaico), portate d'aria dei sistemi di ventilazione/riscaldamento);</li> <li>- Ambiente e Benessere degli occupanti: sensori di misura della CO<sub>2</sub>, VOC, dell'umidità relativa, temperatura e velocità dell'aria (a livello di ciascun ambiente ritenuto significativo e di ciascun ambiente occupato in maniera permanente);</li> <li>- Acqua: contabilizzazione H<sub>2</sub>O (potabile/irrigua), misura della raccolta dell'acqua piovana/di recupero.</li> </ul> </li> <li>• I suddetti sensori dovranno essere previsti per zona termica, per singolo ambiente o, laddove ritenuto significativo, per piano (a seconda delle funzioni/destinazioni d'uso).</li> <li>• una parte software, basata su una piattaforma in cloud che monitora e ottimizza in tempo reale i consumi energetici attraverso l'applicazione di algoritmi di intelligenza artificiale che definiscono un modello energetico predittivo dell'edificio ed implementano strategie di gestione ottimizzata.</li> </ul> <p>Grazie al BEMS è possibile monitorare, controllare e regolare gli impianti anche da remoto, garantendo il massimo controllo delle condizioni di comfort interne e definire delle strategie di gestione dell'energia e riduzione dei costi operativi grazie alla disponibilità di informazioni in tempo reale.</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>L'architettura del BEMS è basata su tecnologie IoT e AI ed è organizzata gerarchicamente a strati, seguendo il naturale percorso del dato nel suo processo di trasformazione in "informazione".</p> <p>Un gateway IoT si occupa dell'integrazione OT (dispositivi, macchinari, sensori a livello "campo") con la parte IT, ovvero con la piattaforma tipicamente su Cloud.</p> <p>I dati raccolti dai vari asset vengono elaborati, filtrati e resi uniformi dal gateway, in modo che possano essere processati dalla piattaforma e dagli algoritmi di Intelligenza Artificiale in essa contenuti. Il cerchio si chiude con la condivisione, per mezzo del gateway, delle informazioni di ottimizzazione sotto forma di comandi, set point, orari di funzionamento.</p> <p>Da un punto di vista architetturale, il sistema si articola in una parte in cloud (piattaforma software e intelligenza artificiale) e una parte di interfacciamento all'impianto che risiede "in campo" ed è composta da un insieme di dispositivi, ognuno deputato allo svolgimento di una specifica funzione.</p> <p>A livello logico, si individuano diversi blocchi funzionali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• acquisizione dati: dispositivi dedicati o sistemi informativi di terze parti che forniscono dati utili al sistema per monitorare e analizzare lo stato dell'impianto e il consumo dei vari componenti;</li> <li>• gateway aggregatore: dispositivo dotato di intelligenza che ha il compito di raccogliere tutti i dati ricevuti, analizzarli ed effettuare un'operazione di armonizzazione e uniformazione dei dati stessi;</li> <li>• trasmissione dati: dispositivo preposto alla creazione di un canale di comunicazione sicuro e privato tra gli apparati residenti in campo e la piattaforma;</li> <li>• piattaforma di analisi dati: software accessibile tramite specifiche credenziali mediante cui effettuare il monitoraggio e l'analisi dei dati al fine di poter valutare correttamente lo stato degli impianti ed apportare azioni correttive/migliorative.</li> </ul>

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 4**

Voce	Descrizione
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>L'utilizzo del BEMS permette al gestore dell'immobile non solo di controllare da remoto tutti gli impianti gestiti e le condizioni ambientali interne, ma di ottenere anche numerosi benefici come ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maggiore affidabilità e durata degli impianti;</li> <li>• monitoraggio efficace del consumo di energia;</li> <li>• riduzione dei costi di manutenzione;</li> <li>• maggiore efficacia nella programmazione della manutenzione ordinaria e straordinaria;</li> <li>• un miglior controllo del microclima interno e delle condizioni di comfort;</li> <li>• accesso alle certificazioni ambientali ed energetiche (es ISO50001 e ISO14001);</li> <li>• implementazione dell'Efficienza Energetica Attiva negli Edifici basata sulla norma EN15232 (sostituita recentemente dalla ISO 52120)</li> </ul>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opzione: BEMS- Building Energy Management System</li> <li>• Database Ecoinvent: electronics production, for control units</li> <li>• Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 3,32E + 01 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</li> </ul>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	La previsione di spesa per questo intervento è di 35.000 € per la fornitura e installazione dei materiali.
Eventuali immagini/mappe	<p>Il diagramma illustra l'architettura del BEMS. Un database 'History DB' fornisce lo 'Initial state' all'unità 'Optimization'. 'Weather forecasts' e 'Solar radiation pre-processing' (che riceve dati dalla 'History DB') sono input per l'unità 'Optimization'. L'unità 'Optimization' genera 'Control signals' inviati al 'Building lab' (che contiene l'HVAC system). Il 'Building lab' invia 'Measurements' di ritorno alla 'History DB'. L'unità 'Parameter calibration' riceve dati dalla 'History DB' e fornisce input all'unità 'Optimization'.</p>
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	L. Croci, S. Viani, et altri, "Sviluppo, sperimentazione e analisi dei risultati dell'impiego di sistemi di gestione energetica residenziale al variare dei profili di consumo in differenti contesti" RSE, Ricerca di Sistema, Rapporto n. 21010133, Milano, 2021.

## SCHEMA INTERVENTI N° 5A

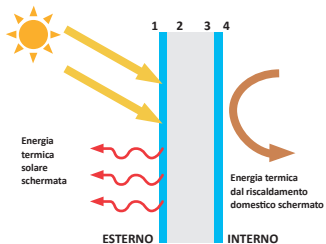
Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione dei serramenti</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 5A: installazione di una vetrocamera su telaio esistente (aree espositive al piano rialzato, piano primo e locali ai piani mezzanini)</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>Dal rilievo effettuato, ai piani rialzato, primo e ai piani mezzanini emerge la presenza di serramenti a vetro singolo e telaio ligneo con vetustà differente e vari elementi di degrado.</p> <p>In particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• per quanto riguarda le aree espositive al <b>piano rialzato</b> (ad eccezione della Loggia di Amore e Psiche), si rilevano n° 24 infissi in legno a vetro singolo con scuri interni a legno decorato (FL1) e n° 6 (FL4) infissi in legno a vetro singolo; inoltre è presente una porta di accesso alla villa sul fronte nord, costituita da n° 1 infisso interno di legno a vetro singolo composto da ante con specchiatura inferiore opaca e sopra-luce vetrati (FL3);</li> <li>• per quanto riguarda le aree espositive al <b>piano primo</b>, si rilevano n° 31 infissi in legno a vetro singolo con scuri interni in legno decorato (FL2), con tende oscuranti avvolgibili esterne – molto deteriorate – e n° 5 infissi in legno a vetro singolo (FL4); inoltre, si rileva in prossimità della scala di accesso al piano superiore n° 1 infisso interno in legno con tessere in vetro legate a piombo (FL7);</li> <li>• per quanto riguarda il <b>piano primo mezzanino</b>, si rilevano n° 10 infissi in legno a vetro singolo (FL4), n° 10 infissi in legno con tessere in vetro legate a piombo (FL7) e n° 2 infissi in legno con tessere in vetro legate a piombo con scuri interni (FL6);</li> <li>• per quanto riguarda il <b>piano secondo mezzanino</b>, si rilevano n° 4 infissi in legno con tessere in vetro legate a piombo (FL7), n° 16 infissi in legno con tessere in vetro legate a piombo con scuri interni (FL6), n° 14 infissi in legno vetro singolo con scuro interno (FL5) e n° 2 infissi in legno vetro singolo (FL4).</li> </ul> <p><i>Nota: sui vetri degli infissi ai piani rialzato e primo si rileva la presenza di elementi metallici esterni orizzontali con funzione meramente decorativa, per i quali risulta opportuno verificare con la Soprintendenza l'eventuale necessità di conservazione.</i></p>
Motivazione dell'intervento	Miglioramento della performance termica dell'involucro edilizio ottimizzando le prestazioni di isolamento delle componenti vetrate anche in ottica di garantire un maggiore controllo del comfort interno e del microclima per le aree espositive, nonché un risparmio energetico.
Descrizione della soluzione	<p>Si propone:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>la sostituzione di tutti i vetri singoli presenti nelle aree espositive al piano rialzato, piano primo e nei locali ai piani mezzanini con infissi a vetrocamera, adeguando il telaio originario in ottica di conservazione. A tal fine, si prevede lo smontaggio e il restauro dei telai lignei originali prima della ricollocazione nella posizione originale;</li> <li>a scopi di ricerca si propone di valutare, anche in una porzione limitata dell'edificio (es. ufficio del Conservatore della Villa situato al piano rialzato), l'applicazione di pellicole con pigmenti fotoluminescenti (e.g. blu egizio, fosfori persistenti o perovskiti) nello strato interno della vetrocamera. Tale soluzione consentirebbe di migliorare il controllo della radiazione solare incidente, consentendo il miglioramento del comfort visivo e favorendo il raffrescamento passivo degli ambienti interni. Tale tecnologia consentirebbe inoltre la riduzione dei consumi per l'illuminazione grazie alla capacità del materiale di riemettere nel visibile a seguito dell'esposizione alla radiazione solare (fino a 30 min/1 ora di emissione);</li> <li>per la sostituzione di profili e guarnizioni degli infissi si propone di utilizzare materiali Versalis certificati ISCC Plus tramite approccio Mass Balance, ottenuti da feedstock alternativi, per un miglioramento dell'isolamento e delle prestazioni di impermeabilizzazione del telaio esistente mediante sigillatura, riducendo le dispersioni senza variare le caratteristiche estetiche originarie del serramento in ottica conservativa.</li> </ol>



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 5A**

Voce	Descrizione
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>a. La tecnologia proposta – vetrocamera su telaio esistente – è costituita da due lastre di vetro bassi emissivi (fronte nord/est/ovest) e/o selettivi (fronte sud), sigillati ermeticamente sul perimetro e separate da un layer costituito da uno spazio sotto-vuoto. Gli spessori dei 3 strati dovranno essere determinati a seguito di un approfondimento tecnico sull'adattabilità del telaio originario e della trasmittanza termica richiesta in fase di modellazione (fase 2). L'applicazione di tali soluzioni consente generalmente il conseguimento delle seguenti prestazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FS (fattore solare): ca. 46%;</li> <li>- TL (trasmissione luminosa): ca. 67%;</li> <li>- E (emissività): 0.1;</li> <li>- U (trasmittanza termica): 1.5-2.0 W/m<sup>2</sup>K, rispetto ad un valore indicativo di ca. 5 W/m<sup>2</sup>K un tradizionale vetro singolo standard.</li> </ul> <p>b. L'applicazione di pellicole fotoluminescenti sullo strato interno consente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la riemissione del flusso termico verso l'esterno fino a 20 W/m<sup>2</sup>;</li> <li>- l'emissione di un flusso luminoso fino a 1-2 lumen;</li> <li>- la riduzione del fenomeno di abbagliamento mediante effetti di rifrazione e diffusione della luce diretta proveniente dall'esterno ad opera dei pigmenti fotoluminescenti dispersi nella pellicola riducendo il fatto di trasmissione solare fino al 70% e lo Spatial Disturbing Glare (SDG) fino all'8% in funzione della concentrazione di pigmenti fotoluminescenti e dell'orario della giornata.</li> </ul> <p><i>Nota: la metrica SDG esprime la frazione (%) delle visuali totali che sperimentano un Daylight Glare Probability (DGP) superiore a 0,38 per più del 5% delle ore occupate, come definito dalla norma europea sulla luce diurna EN 17037:2018.</i></p> <p>c. Per la guarnizione centrale si propongono guarnizioni espanse in gomma EPDM (etilene-propilene-diene), in particolare realizzata con Dutral® BTX 9049 BA/BCA, grado a struttura ramificata dalla migliore processabilità. La gomma EPDM (etilene-propilene-diene) è un polimero privo di insaturazioni nella sua catena principale, questo la rende particolarmente resistente all'invecchiamento. I profili espansi a base EPDM sono considerati la scelta migliore per unire elevate prestazioni meccaniche, di isolamento (conduttività termica &lt; 0.045 W/mK) e stabilità nel tempo. I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG saving % BA fino a -74%;</li> <li>- GHG saving % BCA fino a -100%.</li> </ul> <p>Il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche, come indicato nelle informazioni aggiuntive allegate al prodotto.</p> <p>d. Per le guarnizioni interne ed esterne a vista si consiglia l'utilizzo di profili a base SEBS (gomma termoplastica stirene-butadiene idrogenata) che uniscono caratteristiche di resistenza all'invecchiamento con ottima colorabilità (il profilo può essere adattato nel colore alla cornice di legno). La conduttività termica tipica di profili SEBS è 0.17 W/mK. Versalis produce gomma SEBS sotto il brand name Europrene SOL TH da fonte fossile e da feedstock alternativi (materiali Versalis certificati ISCC Plus, tramite approccio Mass Balance). I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa Bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG saving % BA fino a -80%;</li> <li>- GHG saving % BCA fino a -105%.</li> </ul> <p><i>Nota: il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche, come indicato nelle informazioni aggiuntive allegate al prodotto.</i></p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>


(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 5A**

Voce	Descrizione		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Vetrocamera- doppia	Glazing production, double, $U < 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$3,37\text{E} + 01 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
	Vetrocamera- tripla	Glazing production, triple, $U < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$5,44\text{E} + 01 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
	EPDM	Synthetic rubber production	$2,88\text{E} + 00 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/kg}$
	Europrene	Styrene-butadiene-styrene block	$2,97\text{E} + 00 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/kg}$
	Pellicola fotoluminescente	Pellicola fotoluminescente	$1,59\text{E}-01 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
<p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>			
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vetrocamera e manutenzione/adeguamento telaio esistente: è stata elaborata la stima di costo parametrico tenendo conto dello smontaggio e riparazione dei telai esistenti e l'inserimento della vetrocamera, per un valore di 600 €/mq + 50% circa per le opere di restauro. Tale valore è un dato parametrico omnicomprensivo per il restauro dell'infisso in legno a m<sup>2</sup> con inserimento di vetrocamera.</li> <li>Il totale delle guarnizioni necessarie per la riqualificazione degli infissi dei piani rialzato, primo e mezzanini ammonta a: <ul style="list-style-type: none"> <li>138 Kg di guarnizioni centrali a base EPDM Dutral BTX 9049 BA/BCA (costo indicativo senza posa €553);</li> <li>115 Kg di guarnizioni interne/esterne a base SEBS Europrene SOL TH 2315 BA/BCA (costo indicativo senza posa €573).</li> </ul> </li> </ul>		
Eventuali immagini/mappe			
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Palazzo Gulinelli, Ferrara- Certificazione GBC HB livello Oro  <a href="https://gbcitalia.org/certificazione/gbc-historic-building/gbc-hb-progetti/palazzo-gulinelli/">https://gbcitalia.org/certificazione/gbc-historic-building/gbc-hb-progetti/palazzo-gulinelli/</a></li> </ul> <p>Di seguito si riportano i riferimenti ove reperire le specifiche tecniche dei prodotti Versalis Dutral BTX/BTR ed Europrene SOL TH</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><a href="https://versalis.eni.com/assets/documents/versalis/it/documentazione/brochure/elastomeri/DUTRAL%20grades%20for%20automotive.pdf">https://versalis.eni.com/assets/documents/versalis/it/documentazione/brochure/elastomeri/DUTRAL%20grades%20for%20automotive.pdf</a></li> <li><a href="https://www.versalis.eni.com/en-IT/portfolio/polymers-and-intermediates/elastomers.html">https://www.versalis.eni.com/en-IT/portfolio/polymers-and-intermediates/elastomers.html</a></li> </ul>		

## SCHEDA INTERVENTI N° 5B

Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	Riqualificazione dei serramenti		
Ambito di lavoro	Workstream 1- “Efficientamento energetico-ambientale” Workstream 2- “Materiali innovativi”		
Opzione	Opzione 5B: sostituzione delle chiusure vetrate delle arcate della Loggia Amore e Psiche		
Descrizione dello stato di fatto	Dal rilievo effettuato presso la Loggia di Amore e Psiche emerge la presenza di n°5 arcate vetrate costituite da: <ul style="list-style-type: none"><li>• n° 5 infissi in metallo a vetro singolo di chiusura (FM1)</li><li>• n° 9 infissi in metallo a vetro singolo mobile (FM2)</li></ul>		
Motivazione dell’intervento	L’intervento di sostituzione delle chiusure vetrate è motivato in primis dal rilievo dello stato di deterioramento di alcune delle componenti metalliche nonché delle guarnizioni delle vetrate. Inoltre, è finalizzato al miglioramento della performance energetica dell’involucro edilizio per garantire un adeguato controllo delle condizioni termo-igrometriche interne all’area espositiva in ottica di tutela del patrimonio artistico presente.		
Descrizione della soluzione	Si propone la sostituzione integrale del sistema vetro-telaio, prevedendo l’installazione di nuovi infissi dotati di vetrocamera e di un nuovo telaio a scomparsa per annullare l’impatto architettonico in coerenza con il pregio storico dell’immobile.  <i>Nota: soluzione da approfondire e valutare a seguito di approfondimenti tecnici e di un confronto con la Soprintendenza.</i>		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	La tecnologia proposta è costituita un infisso dotato di: a. una vetrocamera composta da due lastre di vetro bassi emissivi, sigillati ermeticamente sul perimetro e separate da un layer costituito da uno spazio sottovuoto. Gli spessori dei 3 strati dovranno essere determinati a seguito di un approfondimento tecnico sull’adattabilità del telaio originario e della trasmittanza termica richiesta in fase di modellazione (fase 2). L’applicazione di tale soluzione consente generalmente il conseguimento delle seguenti prestazioni: <ul style="list-style-type: none"><li>- FS (fattore solare): ca. 46%</li><li>- TL (trasmissione luminosa): ca. 67%</li><li>- E (emissività): 0.1</li><li>- U (trasmittanza termica): 1.5-2.0 W/m²K, rispetto ad un valore indicativo di ca. 5 W/m²K un tradizionale vetro singolo standard</li></ul> b. un nuovo telaio a scomparsa, a ridotto impatto visivo, che possa ben integrarsi con il contesto architettonico e storico dell’edificio.		
Valutazione della coerenza dell’intervento con la certificazione energetico-ambientale	La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale: <ul style="list-style-type: none"><li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li><li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li></ul> <i>Nota: per una analisi più approfondita dell’adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell’iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Vetrocamera- doppia	Glazing production, double, U<1.1 W/m²K	3,37E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²
	Vetrocamera- tripla	Glazing production, triple, U<0.5 W/m²K	5,44E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²
	Telaio a scomparsa	Telaio completo	8,03E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	EPDM	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell’intervento (per ogni elemento/tot)	I serramenti oggetto di sostituzione sono quelli della Loggia (si veda immagine), costituiti da 4 vetrate fisse con sommità curva (4*16,2 mq), Una centrale apribile (1*18,2 mq), e n.4 infissi apribili sottofinestra (4*2,2 mq). Il costo parametrico, opportunamente maggiorato per la complessità del sito, è di 996 €/m² per tutte le tipologie. La previsione di spesa per l’intervento complessivo è di 92.000 €.		


(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 5B**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificio storico “Il Sedile”, Lecce  <a href="https://www.arkitectureonweb.com/it/-/progetti/sedile-di-lecce-faraone">https://www.arkitectureonweb.com/it/-/progetti/sedile-di-lecce-faraone</a> </li> <li>• Tempio di Augusto, Pozzuoli  <a href="https://www.arkitectureonweb.com/it/-/progetti/tempio-duomo-rione-terra-faraone">https://www.arkitectureonweb.com/it/-/progetti/tempio-duomo-rione-terra-faraone</a> </li> </ul>

## SCHEDA INTERVENTI N° 5C

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione dei serramenti</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 5C: sostituzione dei serramenti dell'altana</b>
Descrizione dello stato di fatto	Dal rilievo effettuato presso l'altana emerge la presenza di n° 6 infissi in legno a vetro singolo (FL4) privi di scuri/tende interne. Attualmente, il locale non risulta in uso.
Motivazione dell'intervento	L'intervento è finalizzato al miglioramento della performance termo-energetica dell'involucro edilizio e del comfort interno per futuri utilizzi del locale.
Descrizione della soluzione	Si propone la sostituzione integrale del sistema vetro-telaio, in quanto il telaio originario sembrerebbe di un'epoca recente (anni '60), prevedendo: <ol style="list-style-type: none"> <li>la sostituzione del vetro singolo con un infisso dotato di vetrocamera ad elevate prestazioni termo-energetiche;</li> <li>un nuovo telaio in legno per garantire una maggiore tenuta all'aria e impermeabilizzazione;</li> <li>l'installazione di scuri interni per un'adeguata schermatura degli ambienti, al fine di minimizzare il fabbisogno energetico e garantire il comfort interno;</li> <li>e. l'utilizzo di materiali ad elevate prestazioni per la realizzazione delle guarnizioni del profilo di battuta e delle guarnizioni fermavetro.</li> </ol>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La tecnologia proposta è costituita un infisso dotato di:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>una vetrocamera composta da due lastre di vetro bassi emissivi (fronte nord/est) e/o selettivi (fronte sud), sigillati ermeticamente sul perimetro e separate da un layer costituito da uno spazio sottovuoto. Gli spessori dei 3 strati dovranno essere determinati a seguito di un approfondimento tecnico sull'adattabilità del telaio originario e della trasmittanza termica richiesta in fase di modellazione (fase 2). L'applicazione di tale soluzione consente generalmente il conseguimento delle seguenti prestazioni:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- FS (fattore solare): ca. 46%</li> <li>- TL (trasmissione luminosa): ca. 67%</li> <li>- E (emissività): 0.1</li> <li>- U (trasmittanza termica): 1.5-2.0 W/m²K, rispetto ad un valore indicativo di ca. 5 W/m²K un tradizionale vetro singolo standard</li> </ul> </li> <li>un nuovo telaio in legno, per continuità con le caratteristiche architettoniche dell'edificio;</li> <li>scuri interni in legno, per continuità con le caratteristiche architettoniche dell'edificio;</li> <li>per la guarnizione centrale si propongono guarnizioni espanse in gomma EPDM (etilene-propilene-diene), in particolare realizzata con Dutral® BTX 9049 BA/BCA, grado a struttura ramificata dalla migliore processabilità. La gomma EPDM (etilene-propilene-diene) è un polimero privo di insaturazioni nella sua catena principale, questo la rende particolarmente resistente all'invecchiamento. I profili espansi a base EPDM sono considerati la scelta migliore per unire elevate prestazioni meccaniche, di isolamento (conduttività termica <math>\leq 0.045</math> W/mK) e stabilità nel tempo. I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG saving % BA fino a -74%;</li> <li>- GHG saving % BCA fino a -100%.</li> </ul> <p>Il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche, come indicato nelle informazioni aggiuntive allegate al prodotto.</p> </li> <li>Per le guarnizioni interne ed esterne a vista si consiglia l'utilizzo di profili a base SEBS (gomma termoplastica stirene-butadiene idrogenata) che uniscono caratteristiche di resistenza all'invecchiamento con ottima colorabilità (il profilo può essere adattato nel colore alla cornice di legno). La conduttività termica tipica di profili SEBS è 0.17 W/mK. Versalis produce gomma SEBS sotto il brand name Europrene SOL TH, un materiale disponibile anche da feedstock alternativi (materiali certificati ISCC Plus, tramite approccio Mass Balance). I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- BA fino a -80%;</li> <li>- BCA fino a -105%.</li> </ul> </li> </ol> <p><i>Nota: il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche.</i></p>

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 5C**




Voce	Descrizione		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Vetrocamera- doppia	Glazing production, double, $U < 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$3,37\text{E} + 01 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
	Vetrocamera- tripla	Glazing production, triple, $U < 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$5,44\text{E} + 01 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
	Telaio- Legno	Window frame production, wood, $U = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$1,44\text{E} + 02 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/m}^2$
	EPDM	Synthetic rubber production	$2,88\text{E} + 00 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/kg}$
	Europrene	Styrene-butadiene-styrene block	$2,97\text{E} + 00 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/kg}$
	Versalis Dutral	Synthetic rubber production	$2,88\text{E} + 00 \text{ kg CO}_2\text{-Eq/kg}$
	<p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>		
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riqualificazione sistema vetro + telaio: si fa riferimento al costo medio di riferimento per la sostituzione di serramenti in legno con vetrocamera con prestazioni termiche indicate nella presente scheda, quantificabile in 750 €/mq, che considerati i costi accessori e le dovute maggiorazioni si stima una spesa totale di circa €15 mila.</li> <li>• Il totale delle guarnizioni necessarie per la riqualificazione degli infissi dell'altana ammonta a: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 7 Kg di guarnizioni centrali a base EPDM Dutral BTX 9049 BA/BCA (costo indicativo senza posa €26);</li> <li>- 5,4 Kg di guarnizioni interne/esterne a base SEBS Europrene SOL TH 2315 BA/BCA (costo indicativo senza posa €27).</li> </ul> </li> </ul>		
Eventuali immagini/mappe			
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<p>Edificio storico a Bolzano  <a href="https://www.ingenio-web.it/articoli/ristrutturazione-in-chiave-nzeb-di-un-appartamento-in-un-edificio-storico-nel-centro-di-bolzano/">https://www.ingenio-web.it/articoli/ristrutturazione-in-chiave-nzeb-di-un-appartamento-in-un-edificio-storico-nel-centro-di-bolzano/</a></p>		



## SCHEDA INTERVENTI N° 5D

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione dei serramenti</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 5D: riqualificazione serramenti presenti ai locali del piano interrato e in copertura</b>
Descrizione dello stato di fatto	<p>Il rilievo ha consentito di identificare due tipologie di aperture:</p> <p>a. in copertura si rilevano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n° 3 infissi in legno con vetrocamera di tipo "Velux", di recente installazione e in buono stato (FL8);</li> <li>- n° 3 infissi in metallo con vetro singolo del tipo "abbaini" (FM3);</li> <li>- alcune piccole fessure (prese d'aria);</li> </ul> <p>b. presso i locali siti al piano interrato, si rileva n° 1 portone in legno (P) e le seguenti tipologie di aperture a "bocca di lupo":</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n° 13 aperture prive di infisso (F);</li> <li>- n° 7 infissi in legno a vetro singolo (FL4).</li> </ul>
Motivazione dell'intervento	<p>a. In relazione alla <b>copertura</b>, la riqualificazione degli abbaini e la chiusura delle fessure sono necessari al fine di garantire un adeguato livello di isolamento termico complessivo dell'edificio, riducendo le dispersioni verso l'esterno. Per quanto riguarda i serramenti di tipo Velux, non si ritiene necessario alcun intervento, visto il loro buono stato.</p> <p>b. In relazione alle aperture presenti al <b>piano interrato</b>, si ritiene di dover intervenire nell'ottica di una possibile bonifica generale degli ambienti, volta al possibile utilizzo degli stessi come locali tecnici.</p>
Descrizione della soluzione	<p>a. Per gli abbaini in copertura, si propone l'installazione di un serramento dotato di vetrocamera e telaio in legno, in continuità con quanto già realizzato per i Velux. Per le fessure, si propone la chiusura mediante vetro singolo previo controllo dei requisiti di ventilazione necessari nell'area del sottotetto.</p> <p>b. Quanto alle finestre al piano interrato, si prevede la sostituzione degli infissi con installazione di vetrocamera e un nuovo telaio in legno in coerenza con l'architettura storica dell'edificio. Questa soluzione dovrà essere customizzata in funzione degli impianti collocati all'interno dei locali.</p> <p>Inoltre, si propone l'utilizzo di materiali ad elevate prestazioni per la realizzazione delle guarnizioni del profilo di battuta e delle guarnizioni fermavetro.</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La tecnologia proposta per gli elementi da riqualificare sia in copertura (a) sia al piano interrato (b) è costituita in un infisso dotato di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• una vetrocamera composta da due lastre di vetro sigillate ermeticamente sul perimetro e separate da un layer costituito da uno spazio sottovuoto. Gli spessori dei 3 strati dovranno essere determinati a seguito di un approfondimento tecnico sull'adattabilità del telaio originario e della trasmittanza termica richiesta in fase di modellazione (fase 2). L'applicazione di tale soluzione consente generalmente il conseguimento delle seguenti prestazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>- FS (fattore solare): ca. 46%</li> <li>- TL (trasmissione luminosa): ca. 67%</li> <li>- E (emissività): 0.1</li> <li>- U (trasmittanza termica): 1.5-2.0 W/m²K, rispetto ad un valore indicativo di ca. 5 W/m²K un tradizionale vetro singolo standard;</li> </ul> </li> <li>• un nuovo telaio verosimilmente in legno per continuità con le caratteristiche architettoniche dell'edificio;</li> <li>• per la guarnizione centrale si propongono guarnizioni espanse in gomma EPDM (etilene-propilene-diene), in particolare realizzata con Dutral® BTX 9049 BA/BCA, grado a struttura ramificata dalla migliore processabilità. La gomma EPDM (etilene-propilene-diene) è un polimero privo di insaturazioni nella sua catena principale, questo la rende particolarmente resistente all'invecchiamento. I profili espansi a base EPDM sono considerati la scelta migliore per unire elevate prestazioni meccaniche, di isolamento (conduttività termica <math>\leq 0.045</math> W/mK) e stabilità nel tempo. I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG saving % BA fino a -74%;</li> <li>- GHG saving % BCA fino a -100%.</li> </ul> </li> </ul> <p>Il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche, come indicato nelle informazioni aggiuntive allegate al prodotto.</p>


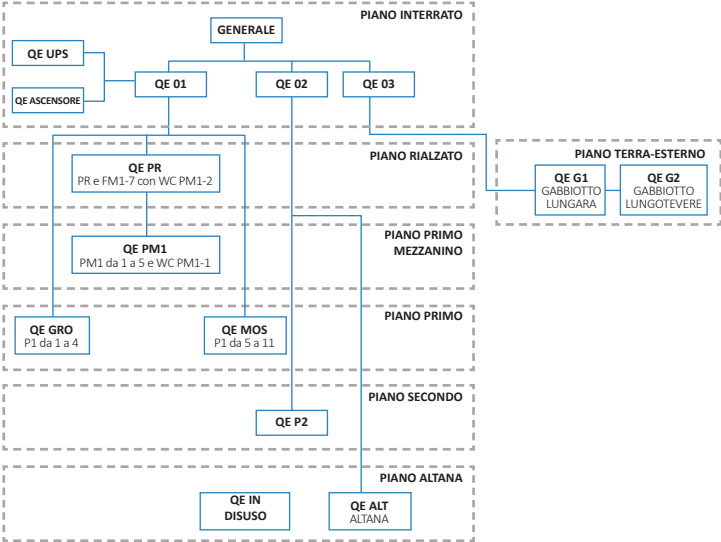
(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 5D**

Voce	Descrizione																					
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<ul style="list-style-type: none"><li>per le guarnizioni interne ed esterne a vista si consiglia l'utilizzo di profili a base SEBS (gomma termoplastica stirene-butadiene idrogenata) che uniscono caratteristiche di resistenza all'invecchiamento con ottima colorabilità (il profilo può essere adattato nel colore alla cornice di legno). La conduttività termica tipica di profili SEBS è 0.17 W/mK. Versalis produce gomma SEBS sotto il brand name Europrene SOL TH da fonte fossile e da feedstock alternativi (materiali Versalis certificati ISCC Plus, tramite approccio Mass Balance). I vantaggi nell'utilizzo di una alternativa bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:<ul style="list-style-type: none"><li>- GHG saving % BA fino a -80%;</li><li>- GHG saving % BCA fino a -105%.</li></ul>Il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche, come indicato nelle informazioni aggiuntive allegate al prodotto.</li></ul> <p><i>Nota: il risparmio di gas serra risulta dal confronto delle emissioni di gas serra del prodotto tradizionale e dello stesso prodotto Balance® con materie prime BA o BCA in cui sono incluse le rimozioni di gas serra biogeniche.</i></p>																					
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li><li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li></ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>																					
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<table><tr><th>Opzione</th><th>Attività Ecoinvent</th><th>Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)</th></tr><tr><td>Vetrocamera- doppia</td><td>Glazing production, double, U&lt;1.1 W/m²K</td><td>3,37E + 01 kg CO<sub>2</sub>-Eq/m²</td></tr><tr><td>Vetrocamera- tripla</td><td>Glazing production, triple, U&lt;0.5 W/m²K</td><td>5,44E + 01 kg CO<sub>2</sub>-Eq/m²</td></tr><tr><td>Telaio- Legno</td><td>Window frame production, wood, U=1.5 W/m²K</td><td>1,44E + 02 kg CO<sub>2</sub>-Eq/m²</td></tr><tr><td>EPDM</td><td>Synthetic rubber production</td><td>2,88E + 00 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</td></tr><tr><td>Europrene</td><td>Styrene-butadiene-styrene block</td><td>2,97E + 00 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</td></tr><tr><td>Versalis Dutral</td><td>Synthetic rubber production</td><td>2,88E + 00 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</td></tr></table> <p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)	Vetrocamera- doppia	Glazing production, double, U<1.1 W/m²K	3,37E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²	Vetrocamera- tripla	Glazing production, triple, U<0.5 W/m²K	5,44E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²	Telaio- Legno	Window frame production, wood, U=1.5 W/m²K	1,44E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²	EPDM	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg	Europrene	Styrene-butadiene-styrene block	2,97E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg	Versalis Dutral	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)																				
Vetrocamera- doppia	Glazing production, double, U<1.1 W/m²K	3,37E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²																				
Vetrocamera- tripla	Glazing production, triple, U<0.5 W/m²K	5,44E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²																				
Telaio- Legno	Window frame production, wood, U=1.5 W/m²K	1,44E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m²																				
EPDM	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg																				
Europrene	Styrene-butadiene-styrene block	2,97E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg																				
Versalis Dutral	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg																				
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<ul style="list-style-type: none"><li>Riqualificazione sistema vetro + telaio: Qui utilizzeremmo il costo medio di riferimento per la sostituzione di serramenti in legno con vetrocamera con prestazioni termiche indicate nella scheda, quantificabile in 750 €/mq, che considerati i costi accessori e le dovute maggiorazioni si stima una spesa totale di circa €20 mila.</li><li>Il totale delle guarnizioni necessarie per la riqualificazione degli infissi dei piani interrato e della copertura ammonta a:<ul style="list-style-type: none"><li>- 11 Kg di guarnizioni centrali a base EPDM Dutral BTX 9049 BA/BCA (costo indicativo senza posa €45);</li><li>- 7 Kg di guarnizioni interne/esterne a base SEBS Europrene SOL TH 2315 BA/BCA (costo indicativo senza posa €37).</li></ul></li></ul>																					
Eventuali immagini/mappe	<div></div>																					
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<p>Edificio storico a Bolzano <a href="https://www.ingenio-web.it/articoli/ristrutturazione-in-chiave-nzeb-di-un-appartamento-in-un-edificio-storico-nel-centro-di-bolzano/">https://www.ingenio-web.it/articoli/ristrutturazione-in-chiave-nzeb-di-un-appartamento-in-un-edificio-storico-nel-centro-di-bolzano/</a></p>																					

## SCHEDA INTERVENTI N° 6

Voce	Descrizione												
Tipologia di intervento	<b>Adeguamento impianto elettrico</b>												
Ambito di lavoro	Workstream 1- “Efficientamento energetico-ambientale” Workstream 2- “Materiali innovativi”												
Opzione	<b>Opzione 6: adeguamento impianto elettrico</b>												
Descrizione dello stato di fatto	Si rileva uno stato di fatto eterogeneo, frutto di interventi parziali e successivi nel tempo con conseguente compresenza di diverse tecnologie (da approfondire in sopralluogo tecnico dedicato).												
Motivazione dell’intervento	L’adeguamento e verifica dell’impianto elettrico è necessario e funzionale all’implementazione degli interventi di efficientamento energetico dell’immobile (es. nuovo sistema di generazione/impianto di illuminazione/sistema gestione dei sistemi energetici/idrici ecc.).												
Descrizione della soluzione	<ul style="list-style-type: none"><li>Adeguamento dell’impianto elettrico di porzioni o dell’intero fabbricato, compatibilmente con i vincoli architettonici e i nuovi impianti proposti.</li><li>Verifica e certificazione dell’impianto.</li></ul>												
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Ai fini dell’adeguamento dell’impianto, si propone di utilizzare prodotti da economia circolare contenenti materiale riciclato (es. Versalis Revive e/o da fonti rinnovabili (es. Versalis Balance) per scatole elettriche, in collaborazione con main player del settore (Schneider, Btcino, Vimar, ecc.).</p> <p>Tali prodotti possono contenere materiale riciclato (es. Versalis Revive: gamma di prodotti a diversa base polimerica come polietilene, elastomeri e stirenici, caratterizzati dalla presenza di una quantità variabile di materiale proveniente da riciclo) e/o da fonti rinnovabili (es. Versalis Balance: intermedi e polimeri con caratteristiche e performance identiche a quelle dei prodotti tradizionali. A seconda della materia prima utilizzata si possono ottenere prodotti Bio Attributed (BA) e Bio-Circular Attributed (BCA) realizzati partendo da bionaftha, e Circular Attributed (CA) realizzati con recycled oil (r-Oil) ottenuto dal processo di riciclo chimico dei rifiuti di plastica mista).</p> <p>I materiali utilizzabili possono essere: Edistir RT 441 M, Edistir RT 441 M BCA, Revive PS RT 33010.</p> <p>La conducibilità termica dei tre materiali è riportata di seguito:</p> <table><tr><th>Prodotto</th><th>Densità ISO 1183</th><th>Conducibilità termica ISO 8302</th></tr><tr><td>Edistir RT 441M</td><td>1.04 g/cm³</td><td>0.17 W/(Km)</td></tr><tr><td>Edistir RT 441M BCA</td><td>1.04 g/cm³</td><td>0.17 W/(Km)</td></tr><tr><td>Versalis Revive PS RT 33010</td><td>1.04 g/cm³</td><td>Dato al momento non disponibile</td></tr></table> <p>Per i prodotti Edistir HIPS, i vantaggi nell’utilizzo di una alternativa Bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti: BCA fino a -95%.</p> <p><i>Nota: al fine di approfondire la tipologia e l’entità di intervento, si ritiene necessario uno studio di maggiore dettaglio ed ulteriore sopralluogo da parte di tecnici specializzati, per l’elaborazione di un progetto di maggiore complessità previa analisi dei vincoli architettonici presenti.</i></p>	Prodotto	Densità ISO 1183	Conducibilità termica ISO 8302	Edistir RT 441M	1.04 g/cm³	0.17 W/(Km)	Edistir RT 441M BCA	1.04 g/cm³	0.17 W/(Km)	Versalis Revive PS RT 33010	1.04 g/cm³	Dato al momento non disponibile
Prodotto	Densità ISO 1183	Conducibilità termica ISO 8302											
Edistir RT 441M	1.04 g/cm³	0.17 W/(Km)											
Edistir RT 441M BCA	1.04 g/cm³	0.17 W/(Km)											
Versalis Revive PS RT 33010	1.04 g/cm³	Dato al momento non disponibile											
Valutazione della coerenza dell’intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li><li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li></ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell’adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell’iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>												
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<ul style="list-style-type: none"><li>Opzione: Polystyrene</li><li>Attività Ecoinvent: polystyrene production, high impact</li><li>Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 3,63E + 00 kg CO<sub>2</sub>-Eq/kg</li></ul> <p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali</i></p>												

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 6**

Voce	Descrizione
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>Al fine di fornire una stima approssimativa degli interventi, si segnala quanto segue:</p> <p>a. adeguamento dell'impianto elettrico di porzioni o dell'intero fabbricato, compatibilmente con i vincoli architettonici e i nuovi impianti proposti, e verifica e certificazione dell'impianto: €100.000-€150.000 (si conferma dato indicato in relazione fondi PNRR).</p> <p>b. per la parte di materiali, si segnala che per una scatola elettrica sono necessari circa 200-300 grammi di prodotto a seconda della grandezza della scatola stessa. Per le scatole elettriche per interruttori &lt;50 grammi. Di seguito i materiali utilizzabili e relativi prezzi:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Edistir RT 441 M = 1,7 €/kg</li><li>- Edistir RT 441 M BCA = 3,0 €/kg</li><li>- Revive PS RT 33010 = 1,9 €/kg</li></ul>
Eventuali immagini/mappe	<div></div> <div></div>

## SCHEDA INTERVENTI N° 7

Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	Riqualificazione impianto di illuminazione		
Ambito di lavoro	Workstream 1- “Efficientamento energetico-ambientale”		
Opzione	Opzione 7: riqualificazione impianto di illuminazione		
Descrizione dello stato di fatto	Si rileva uno stato di fatto eterogeneo, frutto di interventi parziali e successivi nel tempo con conseguente compresenza di diverse tecnologie.		
Motivazione dell’intervento	<p>Miglioramento delle prestazioni energetiche per garantire l’efficientamento dei sistemi di illuminazione presenti con tecnologie ad elevata efficienza.</p> <p><i>Nota: al fine della proposta di intervento, è necessario approfondire le future destinazioni d’uso dei locali attualmente non adibiti ad aree espositive (i.e. ex uffici/depositi/altana).</i></p>		
Descrizione della soluzione	<p>Si propongono le seguenti opzioni possibili di intervento:</p> <p>Riqualificazione del sistema di illuminazione mediante riprogettazione dell’impianto e utilizzo di corpi illuminanti con tecnologia LED ad elevata efficienza associato all’implementazione di un sistema di gestione per i locali del piano rialzato non già interessati dalla riqualificazione e per il piano primo, limitatamente alle aree espositive.</p> <p><i>Nota 1: l’intervento proposto è orientato a conseguire un risparmio energetico per l’illuminazione ambientale dei locali della Villa; specifici interventi volti alla valorizzazione delle collezioni esposte e delle opere d’arte richiede uno studio di dettaglio ulteriore da realizzare con il supporto di tecnici altamente specializzati e con Soprintendenza.</i></p> <p><i>Nota 2: nell’ambito dell’area adibita ad ufficio e di ulteriori altri locali ritenuti idonei, si propone in via sperimentale di installare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• lampade LED circadiane. Si tratta di sistemi “intelligenti” che variano l’intensità luminosa e lo spettro di luce a seconda del momento della giornata, supportando il ritmo circadiano e la salute psicologica attraverso una combinazione di fonti di luce naturale e artificiale;</li><li>• sensori di presenza al fine di regolare il sistema di illuminazione in relazione al regime occupazionale e al contributo di luce naturale.</li></ul>		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Sulla base del progetto di riqualificazione già eseguito nel corso del 2024 su parte del piano rialzato, si propone di estendere l’intervento anche ai locali non riqualificati del piano rialzato e al piano primo.</p> <p>Anche la tipologia di lampade installate sarà la medesima utilizzata al piano rialzato. In una prima analisi si prevede l’installazione di:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• n. 15 nuovi punti luce al piano rialzato, di cui n. 2 piantane luce diffusa + emergenza, le restanti piantane angolari con faretti orientabili;</li><li>• n. 36 nuovi punti luce al piano primo, di tipo piantane angolari con faretti orientabili;</li><li>• n. 5 faretti su binario esistente (sala espositiva);</li><li>• nuove strisce LED su scala e corridoi di collegamento.</li></ul>		
Valutazione della coerenza dell’intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li><li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li></ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell’adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell’iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	LED	Light emitting diode production	2,64E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	Sensore presenza	Electronics production, for control units	3,32E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell’intervento (per ogni elemento/tot)	Per l’intervento complessivo si stima una spesa di 155.000 €.		

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 7**



Voce	Descrizione	
Eventuali immagini/mappe	Illuminazione rinnovata al piano rialzato:	
		
	Piantana angolare con faretti orientabili	Nuove piantane luce diffusa + emergenza



## SCHEDA INTERVENTI N° 8

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Riqualificazione della copertura</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 8: riqualificazione della copertura</b>
Descrizione dello stato di fatto	Dal rilievo e dalle riprese effettuate con drone, la copertura risulta globalmente in discrete condizioni, al netto di alcune porzioni in cui i coppi appaiono leggermente deteriorati.
Motivazione dell'intervento	Garantire una maggiore durabilità dell'attuale copertura, nonché al miglioramento delle prestazioni della stessa, ottimizzandone le potenzialità di raffrescamento passivo nel rispetto dei vincoli dell'immobile storico.
Descrizione della soluzione	Si propone: a. una bonifica e pulizia preliminare della vegetazione infestante rilevata; b. la sostituzione dei coppi esistenti con coppi anticati ad elevato albedo, in corrispondenza delle porzioni maggiormente deteriorate.  <i>Nota: approfondire opportunità di mantenere/riqualificare superficie vetrata rilevata in copertura all'angolo sud-est.</i>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	a. L'intervento proposto prevede l'applicazione diffusa di prodotti diserbanti di origine naturale per contrastare le erbe infestanti annuali e perenni in ambiente urbano e industriale. Il prodotto proposto è Sunpower, autorizzato dal Ministero della Salute come prodotto fitosanitario a esclusivo uso professionale. Il suo principio attivo, l'acido pelargonico, deriva da fonti rinnovabili e biodegradabili (olii vegetali). Non causa resistenze ed è attivo su malerbe che hanno sviluppato resistenze ad altri erbicidi. Può essere utilizzato per contrastare la crescita delle piante infestanti spesso causa di danni estetici e strutturali, nonché potenziali ostacoli alla circolazione stradale, metropolitana e ferroviaria. Sono in corso studi ed approfondimenti per l'utilizzo certificato del prodotto in aree monumentali ed archeologiche. b. La soluzione proposta prevede di installare, a scopi di ricerca e nell'ambito di limitate porzioni della copertura, coppi "anticati" caratterizzati dal medesimo aspetto estetico di quelli originari ma dotati di elevato albedo (riflettanza solare: 58÷67%; emittanza termica: 88%) grazie all'integrazione di biossido di titanio. L'obiettivo è quello di ottimizzare le prestazioni di riflettanza solare della copertura in modo tale da contribuire alla mitigazione di fenomeni climatici locali (es. isola di calore urbana), al confort interno e al risparmio energetico, evitando il sovrariscaldamento della superficie esposta specialmente nella stagione estiva. Dati di letteratura indicano la possibilità di conseguire una riduzione delle ore di sovrariscaldamento fino al 30%, con un risparmio estivo fino al 50%.
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale: • GBC HB (Green Building Council Historic Building) • LEED O&M (Operation & Maintenance)  <i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i>
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	• Opzione Coppi ad elevato albedo • Attività Ecoinvent: clay roof tile • Impact Assessment (IPCC2021- GWP100): 3,66E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	• il costo della soluzione sperimentale di tegole piane + coppi anticati ad elevato albedo proposta è pari a ca. 100 €/mq (esclusa manodopera, che comunque incide per ca. il 40% nel caso di intervento di sostituzione puntuale) • diserbante Sunpower: i costi indicativi di utilizzo per metro lineare sono pari a 12 €/L

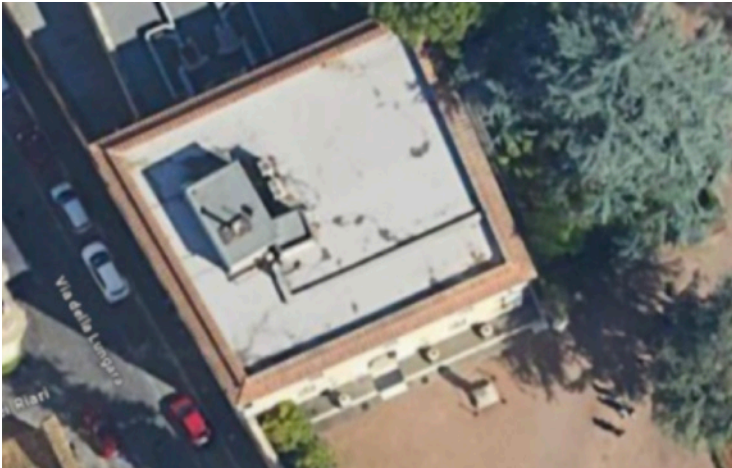
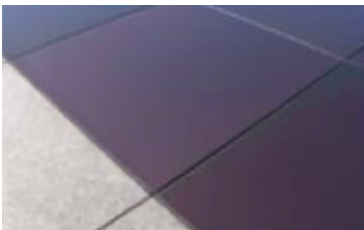

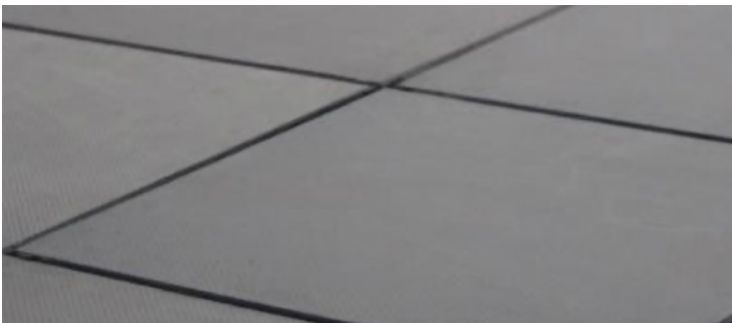

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 8**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	<div></div> <div></div> <div><div><div>Tile A</div><div>Tile B</div><div>Tile C</div><div>Tile D</div></div></div> <div><div>Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico</div><div>Anna Laura Pisello, Thermal-energy analysis of roof cool clay tiles for application in historic buildings and cities, Sustainable Cities and Society, 19, 2015, 271-280. Thermal-energy analysis of roof cool clay tiles for application in historic buildings and cities- ScienceDirect</div></div>

## SCHEDA INTERVENTI N° 9A

Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	<b>Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche</b>		
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"		
Opzione	<b>Opzione 9A: applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium</b>		
Descrizione dello stato di fatto	Dal rilievo effettuato, la copertura dell'Auditorium risulta composta da un lastricato piano in buono stato di conservazione, dotato di parapetto perimetrale.		
Motivazione dell'intervento	Produzione di energia elettrica per gli usi finali del complesso museale (es. illuminazione esterna delle facciate e/o del giardino).		
Descrizione della soluzione	<p>La soluzione prevede il collegamento dell'impianto al punto di connessione a servizio della villa in modalità di autoconsumo.</p> <p>Al fine di minimizzare l'impatto visivo e favorire la massima integrazione con l'edificio è possibile selezionare:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>moduli colorati con tonalità simili a quelle del piano attuale, installati su zavorre con minima inclinazione;</li> <li>moduli colorati con tonalità simili a quelle del piano attuale, installati in orizzontale, lasciando liberi camminamenti per manutenzioni e accesso;</li> <li>moduli in vetro con silicio monocristallino integrato calpestabili.</li> </ol>		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Le soluzioni proposte presentano contenuti crescenti di innovazione e integrazione con l'edificio. In particolare:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>soluzione di tipo totalmente tradizionale, con la sola accortezza della colorazione del modulo con tonalità simili a quelle dell'attuale piano di calpestio, per mimetizzare l'impianto. La porzione occupata dai pannelli è limitata per via degli ombreggiamenti reciproci, i camminamenti e con lo scopo di limitare il carico delle zavorre. I pannelli sarebbero di tipologia tradizionale con efficienza del 22%, per una efficienza di picco nell'ordine di 15 kWp (n. 34 moduli circa), con una produzione annua stimata di circa 20 MWh annui;</li> <li>soluzione che garantisce maggiore mimetizzazione della precedente, stesse limitazioni di spazio per via della necessità di accesso e riduzione dei carichi. In termini di efficienza e potenza di picco la soluzione sarebbe simile a quanto indicato nel punto precedente, salvo scontare una producibilità minore del 10% circa per via dell'inclinazione;</li> <li>soluzione che garantisce massima integrazione con l'edificio e un gradevole effetto estetico. L'impianto è praticamente irriconoscibile e costituisce di fatto il nuovo piano di calpestio della terrazza. La colorazione può essere selezionata. La minore efficienza dei moduli (circa metà rispetto ai tradizionali) è più che recuperata dalla maggiore superficie occupata (praticamente l'intera terrazza fatta salve le aree più ombreggiate), per una potenza di picco stimata in prima analisi di circa 20 kWp e produzione totale di circa 24 MWh annui (utilizzo di circa 130 moduli).</li> </ol>		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Pannello fotovoltaico	Photovoltaic panel production, multi-Si wafer	2,18E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Pannello fotovoltaico	Photovoltaic panel production, single-Si wafer	2,83E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>Il costo di installazione per le tre soluzioni proposte viene stimato come segue:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>30.000 €</li> <li>40.000 €</li> <li>100.000 €</li> </ol>		

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 9A**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	    
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	George Washington University, Virginia (USA) <a href="https://onyxsolar.com/george-washington-university">https://onyxsolar.com/george-washington-university</a>

## SCHEDA INTERVENTI N° 9B


Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	<b>Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche</b>		
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"		
Opzione	<b>Opzione 9B: applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o Foresteria</b>		
Descrizione dello stato di fatto	Le coperture risultano globalmente in buone condizioni, al netto di alcune porzioni in cui i coppi appaiono leggermente deteriorati.		
Motivazione dell'intervento	Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile per diversi usi finali (es. illuminazione esterna delle facciate e/o giardino).		
Descrizione della soluzione	Si propone la sperimentazione, nell'ambito di piccole porzioni di copertura, di coppi fotovoltaici innovativi, quali ad esempio il «Coppo Invisible Solar», formato da un corpo unico, indivisibile, dotato di un'altissima resistenza che nasconde e protegge le celle fotovoltaiche inglobate al suo interno. All'interno del modulo sono incorporate delle normali celle di silicio monocristallino. La superficie, opaca alla vista e trasparente per i raggi solari, permette alla luce di entrare ed alimentare le celle.		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La soluzione proposta nasce appositamente per essere integrata nell'ambito di centri storici e beni vincolati al fine di ridurre al minimo l'impatto estetico e architettonico. Si tratta di una tecnologia sostenibile in quanto realizzata con materiali atossici.</p> <p><b>Specifiche modulo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensioni 46 x 19 x 15 x h 8 cm</li> <li>• Potenza nominale ca. 7 Wp</li> <li>• Peso 1 kg</li> <li>• Carico statico massimo 500 kg</li> </ul> <p><b>Esempio di dimensionamento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenza nominale 1 kWp</li> <li>• Area di installazione ca. 9 mq</li> </ul>		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<b>Opzione</b>	<b>Attività Ecoinvent</b>	<b>Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)</b>
	Coppo fotovoltaico	Photovoltaic ceramic tile	5,25E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	Coppo fotovoltaico	Photovoltaic ceramic tile	3,10E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kWh
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>Per l'area considerata di ca. 9 mq e potenza nominale di 1 kw, si ipotizza l'installazione di ca. 140 moduli Invisible Solar con incluso apposito sistema di connessione per creare stringhe e diodi MC4, per un costo ca. 6.700 €.</p> <p>Nell'offerta è stato stimato in via preliminare 1 diodo ogni 10 moduli. Una stima più precisa potrà essere fornita in una fase più avanzata del progetto.</p>		

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 9B**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	<div data-bbox="667 398 1035 607">  </div> <div data-bbox="667 645 1035 799">  </div> <div data-bbox="1098 398 1374 573">  </div> <div data-bbox="1066 611 1406 831"> <p>2018 - Installazione pilota a Pompei all'interno del Parco Archeologico di Pompei, presso la Domus dei Vettii (Progetto "Smart Archeological Park" - Ministero dei Beni Culturali/CNR)</p> </div>
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<a href="https://www.invisiblesolar.it/">https://www.invisiblesolar.it/</a>




## SCHEDA INTERVENTI N° 9C

Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	<b>Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche</b>		
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"		
Opzione	<b>Opzione 9C: applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monoliti a scopo rappresentativo/comunicativo</b>		
Descrizione dello stato di fatto	Le coperture di edifici di pregio, così come gli spazi esterni sono caratterizzati da elevato valore artistico e architettonico, quindi con limitata disponibilità per la generazione di energia da fonti rinnovabili.		
Motivazione dell'intervento	Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile associata a messaggi comunicativi.		
Descrizione della soluzione	Con lo scopo di evitare la collocazione degli impianti su strutture di pregio, si propone l'installazione di Totem o Monoliti fotovoltaici con il doppio obiettivo di generare energia rinnovabile e veicolare messaggi/comunicazioni ai visitatori.		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Si propone di installare dei Monoliti LED in aree esterne di passaggio e con buona esposizione solare.</p> <p>Il Monolite LED combina energia sostenibile e visualizzazione digitale, offrendo un modo efficace per comunicare con gli utenti e dimostrare l'impegno in materia di responsabilità sociale.</p> <p>I monoliti sono autoalimentati e in grado di produrre da 1 a circa 2,5 MWh annui. Sono dotati di pannello monocristallino ad alta efficienza doppio vetro, garantisce un design pulito e continuo, escludendo la presenza di cornici. Due lastre di vetro temperato assicurano massima stabilità meccanica ed eccezionale resistenza agli agenti atmosferici. L'utilizzo del vetro al posto del backsheet offre un ulteriore vantaggio, in quanto, questo materiale, non propaga le fiamme in caso di incendio.</p> <p>Particolarmente adatto in contesti di elevato pregio architettonico, permette anche una maggiore verticalità degli impianti, grazie ad una tenuta estrema alle forze dei venti.</p> <p>Le celle performano di più grazie alla maggiore resistenza e il pannello risulta meno vulnerabile a segni di usura, come le cosiddette bave di lumaca. Il doppio vetro, inoltre, rende l'oggetto riciclabile al 100%.</p>		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dai seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> <li>• SITES</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Pannello fotovoltaico	Photovoltaic panel production, single-Si wafer	2,83E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>2</sup>
	LED	Light emitting diode production	2,64E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	Telaio	Telaio completo	8,03E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	Inverter	Inverter production, 0.5kW	4,53E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/unit
	Lettore Multimediale	Electronics production, for control units	3,32E + 01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>La stima di costo complessivo di intervento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 1 Monolite con LedWall informativo: €18 mila</li> <li>• n. 1 Cubo Fotovoltaico: €45 mila</li> </ul>		
Eventuali immagini/mappe			
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Collaborazione tra Rotary International Distretto 2090 e Dynamo Energies, Castello di Solfignano, il 25 Giugno 2022.</li> <li>• Landscape Festival 2023- I Maestri del Paesaggio, nel palinsesto di Bergamo Brescia Capitale Italiana della Cultura 2023.</li> </ul>		

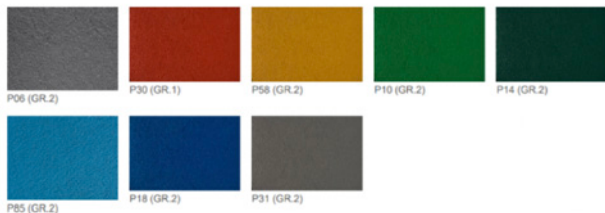
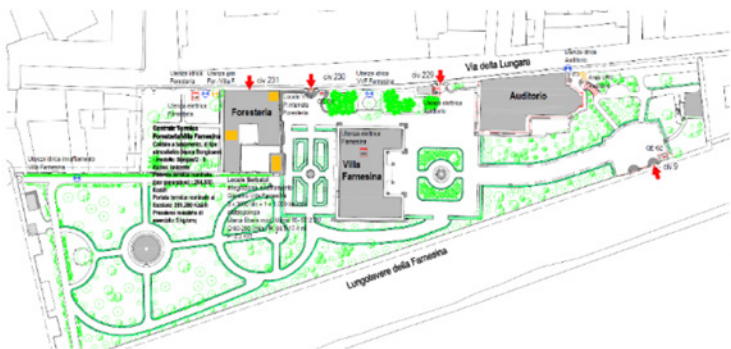
## SCHEMA INTERVENTI N° 10

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Spazi esterni</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 10: riqualificazione della pavimentazione esterna</b>
Descrizione dello stato di fatto	Da un rilievo preliminare, la pavimentazione risulta realizzata su substrato in asfalto scarsamente permeabile e ricoperta da inerti naturali.
Motivazione dell'intervento	Necessità di ripavimentare i percorsi esterni al fine di evitare che la ghiaia possa essere trasportata dai visitatori all'interno degli ambienti della Villa, con conseguente danneggiamento dei pavimenti. Inoltre, in ottica di ricerca, si propone di testare una soluzione volta all'ottimizzazione delle prestazioni del materiale di finitura per la mitigazione del microclima e il miglioramento della qualità dell'aria locali.
Descrizione della soluzione	<p>In coerenza con la valenza storica e architettonica del complesso, la soluzione proposta prevede:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• un eventuale consolidamento del corpo stradale sottostante;</li> <li>• il rifacimento della pavimentazione mediante installazione di un substrato drenante e inerti naturali di colore simile a quello esistente e a ridotto impatto ambientale, realizzata con prodotti da riciclo e/o fonti rinnovabili;</li> <li>• la realizzazione della nuova pavimentazione con integrazione di materiali a ridotto impatto ambientale, da posarsi sopra al substrato in asfalto mediante incollaggio con poliuretano;</li> <li>• lo studio e l'ottimizzazione, in ottica di sperimentazione, delle proprietà di tale nuova pavimentazione in termini di (i) riflettanza solare, per garantire un maggiore comfort ambientale degli utenti in prossimità dell'edificio, e (ii) proprietà fotocatalitiche, per garantire una migliore qualità dell'aria.</li> </ul> <p><i>Nota: l'intervento deve essere coordinato con altri interventi che prevedano azioni di scavo (es. scavi per collegamenti di nuove unità impiantistiche nella Villa e nel giardino circostante). Inoltre, potrebbe coniugarsi con la riqualificazione e ammodernamento dell'impianto elettrico per l'installazione di impianto di illuminazione per la valorizzazione architettuale a led degli spazi esterni.</i></p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>Si prevede:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lo svolgimento di un'indagine tecnica per la verifica dello stato del corpo stradale sottostante;</li> <li>• la realizzazione della nuova pavimentazione con integrazione di materiali da riciclo ed economia circolare, da posarsi sopra al substrato in asfalto mediante incollaggio con poliuretano.</li> </ul> <p>Si propone pavimentazione in gomma EPDM (etilene-propilene-diene), polimero privo di insaturazioni nella sua catena principale, quindi particolarmente adatto ad applicazioni sia indoor che outdoor, poiché molto resistente agli agenti atmosferici. I motivi per cui scegliere una pavimentazione a base EPDM sono l'elevatissima resistenza all'invecchiamento ed agli agenti atmosferici, la facile colorabilità e stabilità della colorazione nel tempo, il suo essere antiusura e antiscivolo. La goffratura superficiale che viene data in lavorazione nonché l'installazione "a scheda d'asino" consentono un buon scorrimento dell'acqua, aggiungendo agli altri vantaggi quelli di una pavimentazione drenante. Si vedano alcuni esempi di aspetto superficiale e possibili colorazioni (vedi sezione figure); la gamma colori è a puro titolo indicativo, poiché le caratteristiche del materiale permettono grande flessibilità nella scelta delle finiture.</p> <p>Può essere realizzata con materiale Versalis Dutral sia da feedstock alternativi (materiali certificati ISCC Plus, tramite approccio Mass Balance). Per i prodotti Dutral EPDM, i vantaggi nell'utilizzo di una alternativa Bio-attribuita in termini di GHG savings sono i seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BA fino a -74%;</li> <li>- BCA fino a -100%.</li> </ul> <p>La pavimentazione in EPDM potrebbe prevedere l'integrazione, in via sperimentale, di pigmenti come, ad esempio, biossido di titanio e fotoluminescenti (es. blu egizio), che consentirebbe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'incremento della radiazione riflessa fino al 10-20%;</li> <li>- la riduzione della temperatura superficiale fino a 4-5°C;</li> <li>- la riduzione della temperatura dell'aria in prossimità della pavimentazione fino a 2°C;</li> <li>- la riduzione degli inquinanti NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> fino anche al 5%.</li> </ul>

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 10**

Voce	Descrizione		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>infine, si propone l'installazione di un sistema di illuminazione artistica e monumentale che esalti la qualità architettonica dell'edificio in armonia con il contesto urbano circostante. Tale impianto di illuminazione prevede l'installazione di un sistema di gestione e controllo, in grado di proporre scenari luminosi precostituiti e, talvolta, di variare i flussi di luce artificiale al variare delle condizioni di luce naturale: a questo aspetto sarà dedicato un particolare approfondimento.</li> </ul>		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> <li>SITES</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	EPDM	Synthetic rubber production	2,88E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	Ghiaia	Gravel production, crushed	1,03E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	<p><i>Nota: in questa fase sono riportate le CF di materiali isolanti convenzionali. Da successivi approfondimenti sarà possibile calcolare gli ulteriori benefici conseguibili mediante applicazione di materiali innovativi/sperimentali.</i></p>		
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<p>Prevedendo l'utilizzo di pavimentazione a base Dutral BTX 9049 BA/BCA, si stima un costo di 100 €/m<sup>2</sup> comprensivo di posa in opera. Il costo è stato stimato prevedendo una pavimentazione dello spessore di 10 mm applicata sul sottofondo di asfalto esistente (qualora sufficientemente regolare) mediante schiuma poliuretanica. Il costo complessivo dell'intervento è ca. 480.000 €, tenendo conto di una superficie totale di ca. 4.800 m<sup>2</sup> (piazzali, vialetto di ingresso, retro).</p>		
Eventuali immagini/mappe			

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 10**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	<div data-bbox="668 400 786 423">GAMMA COLORI</div> <div data-bbox="671 439 1278 651">  <p>P06 (GR.2) P30 (GR.1) P56 (GR.2) P10 (GR.2) P14 (GR.2)</p> <p>P85 (GR.2) P18 (GR.2) P31 (GR.2)</p> </div> <div data-bbox="668 667 871 685">La gamma colore è a titolo indicativo.</div> <div data-bbox="668 719 1402 1066">  </div>
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phosphorescent-based pavements for counteracting urban overheating – A proof of concept Ioannis Kousis, Claudia Fabiani, Laura Gobbi, Anna Laura Pisello, Solar Energy, 202, 2020, 540-552.  <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20303388">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20303388</a> \I "f0015</li> <li>Illuminazione monumentale Palazzo Maffei, Verona  <a href="https://www.platformarchitecture.it/illuminazione-di-performance-in-lighting-a-palazzomaffei">https://www.platformarchitecture.it/illuminazione-di-performance-in-lighting-a-palazzomaffei</a></li> <li>Approfondimento prodotti Balance Versalis <a href="https://www.versalis.eni.com/assets/documents/versalis/it/documentazione/brochure/elastomeri/Brochure%20Mass%20Balance.pdf">https://www.versalis.eni.com/assets/documents/versalis/it/documentazione/brochure/elastomeri/Brochure%20Mass%20Balance.pdf</a></li> </ul>

## SCHEDA INTERVENTI N° 11

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Spazi esterni</b>
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"
Opzione	<b>Opzione 11: riqualificazione del giardino storico</b>
Descrizione dello stato di fatto	Il giardino storico è caratterizzato: <ul style="list-style-type: none"> <li>dalla presenza di vecchi esemplari di specie vegetali erbacee e arbustive impiantate nel corso del tempo e da esemplari arborei nella disposizione otto-novecentesca;</li> <li>da viottoli pedonali ricoperti con inerti naturali;</li> <li>da n° 3 fontane ornamentali.</li> </ul>
Motivazione dell'intervento	Ottimizzazione delle proprietà dei materiali di contribuire alla mitigazione del microclima e al controllo della qualità dell'aria.
Descrizione della soluzione	Si propone di riqualificare il giardino storico mediante i seguenti interventi: <ol style="list-style-type: none"> <li>interventi relativi alla parte vegetata, volti alla mitigazione del microclima e al controllo della qualità dell'aria, nel rispetto della disposizione originale storica delle specie vegetali impiantate nel corso del tempo (riferimento: progetto PNRR M1C3). Relativamente all'efficientamento della gestione della risorsa idrica per la parte vegetata, si rimanda alla scheda 12;</li> <li>interventi relativi ai viottoli pedonali per ottimizzarne le capacità drenanti, la riflettanza solare e il miglioramento della qualità dell'aria locale;</li> <li>realizzazione di un impianto di illuminazione a LED che valorizzi il giardino stesso (vedi scheda 7, 9A-9B).</li> </ol>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>In maggior dettaglio, relativamente ai singoli interventi si propone:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>per realizzare gli interventi relativi alla parte vegetata, è necessario: <ul style="list-style-type: none"> <li>approfondire l'analisi botanica delle specie vegetali più adatte agli scopi energetico-ambientale in ottica di conservazione della natura storica del giardino;</li> <li>svolgere uno studio preliminare mediante campagne di monitoraggio microclimatico con stazioni portatili volte a misurare i principali parametri ambientali (i.e. T, UR, R, PM, CO<sub>2</sub>) per definire le condizioni al contorno locali dell'edificio e consentire l'analisi in tempo reale delle emissioni evitate dalla presenza del verde. Tale analisi potrà essere estesa dalla Villa al contesto storico circostante;</li> <li>realizzare interventi mirati e sperimentali, anche solo in porzioni limitate del giardino (es. selezione di nuove specie vegetali).</li> </ul> <p>Per la manutenzione della vegetazione, si propone la sperimentazione di prodotti ecocompatibili (es. Versalis Sunpower, diserbante di origine naturale utilizzato per contrastare le erbe infestanti annuali e perenni in ambiente urbano e industriale. Autorizzato dal Ministero della Salute come prodotto fitosanitario a esclusivo uso professionale. Il suo principio attivo, l'acido pelargonico, deriva da fonti rinnovabili e biodegradabili (olii vegetali). Non causa resistenze ed è attivo su malerbe che hanno sviluppato resistenze ad altri erbicidi. Può essere utilizzato per contrastare la crescita delle piante infestanti spesso causa di danni estetici e strutturali, nonché potenziali ostacoli alla circolazione stradale, metropolitana e ferroviaria. Si propone uno studio, anche a scopi di ricerca, per approfondirne il possibile utilizzo certificato anche in aree monumentali ed archeologiche;</p> </li> <li>per realizzare gli interventi relativi ai viottoli pedonali, si propone lo studio, anche a scopi di ricerca, di finiture in ghiaia naturale ad elevato albedo e con trattamento al biossido di titanio per favorire la purificazione dagli inquinanti;</li> <li>per l'implementazione di un impianto di illuminazione a LED del giardino storico, si rimanda ad un'analisi di dettaglio dei livelli di illuminamento necessari per una fruizione delle aree in orari serali e uno studio coordinato all'illuminazione monumentale dell'architettura.</li> </ol>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> <li>SITES</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>




(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 11**

Voce	Descrizione		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Ghiaia trattata	Gravel treated with titanium dioxide	1,95E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
	LED	Light emitting diode production	2,64E + 02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il costo di una possibile attività di monitoraggio ambientale nell'ambito del giardino storico (considerando 3 gg di monitoraggio, 2 volte l'anno, da parte di 3 operatori con stazioni portatili su due zaini e 1 carrello, con analisi dati) è pari a ca. 18.000 €. Chiaramente in questo caso si tratta di un'attività di tipo sperimentale, integrativa rispetto al dimensionamento del resto delle misure proposte nell'ambito dello studio.</li> <li>• Interventi relativi ai viottoli pedonali per ottimizzarne le capacità drenanti, la riflettanza solare e il miglioramento della qualità dell'aria locale, prevedendo l'utilizzo di pavimentazione a base Dutral BTX 9049 BA/BCA: 100 €/m<sup>2</sup> comprensivo di posa in opera. Il costo è stato stimato prevedendo una pavimentazione dello spessore di 10 mm applicata sul sottofondo di asfalto esistente (qualora sufficientemente regolare) mediante schiuma poliuretanica.</li> <li>• Realizzazione di un impianto di illuminazione a LED: per le superfici di giardini/vialetti complessivamente interessate (circa 10.000 mq), si stima sia necessario utilizzare circa 400 corpi illuminanti per un costo complessivo di circa 200.000 €.</li> <li>• Diserbante Sunpower: i costi indicativi di utilizzo per metro lineare sono pari a 12 €/L.</li> </ul>		
Eventuali immagini/mappe			



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 11**

Voce	Descrizione
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<div data-bbox="552 405 1278 678">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Per il restauro arboreo e dei vialetti: <a href="https://www.fondazionecollodi.it/it/lo-storico-giardino-garzoni#:~:text=Lo%20Storico%20Giardino%20Garzoni%20%C3%A8%20stato%20restaurato%20(restauro%20inaugurato%20nel,Mostre)%20e%20la%20Casa%20delle">https://www.fondazionecollodi.it/it/lo-storico-giardino-garzoni#:~:text=Lo%20Storico%20Giardino%20Garzoni%20%C3%A8%20stato%20restaurato%20(restauro%20inaugurato%20nel,Mostre)%20e%20la%20Casa%20delle</a></li> <li>• Linee guida e norme tecniche per il restauro dei giardini storici- Ministero della cultura APGI- Associazione parchi e giardini d'Italia.</li> </ul>

## SCHEMA INTERVENTI N° 12

Voce	Descrizione		
Tipologia di intervento	<b>Spazi esterni: risorsa idrica giardino</b>		
Ambito di lavoro	Workstream 1- "Efficientamento energetico-ambientale" Workstream 2- "Materiali innovativi"		
Opzione	<b>Opzione 12: ottimizzazione della gestione della risorsa idrica</b>		
Descrizione dello stato di fatto	Si rileva la presenza di n° 3 serbatoi da 3000 lt + una da 1000 lt con elettropompa posizionate all'interno di un locale difficilmente accessibile, a supporto delle operazioni di gestione/manutenzione del giardino storico.		
Motivazione dell'intervento	Incremento dell'efficienza dell'uso e della gestione della risorsa idrica del giardino.		
Descrizione della soluzione	<p>Si propone:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>la realizzazione di un estensivo impianto di irrigazione a goccia per garantire un uso più sostenibile della risorsa idrica, con riserve opportunamente collocate e ripristino delle superfici interessate. A tal proposito, si segnala che Versalis è uno dei principali produttori europei di polietilene ad alta densità per applicazione Drip irrigation e vede tra i suoi clienti i principali produttori italiani ed Europei di tubi per irrigazione. I gradi polietilene per drip irrigation commercializzati da Versalis sono disponibili anche in versione Balance® BCA e CA a ridotto impatto ambientale;</li> <li>la realizzazione di un impianto di temporizzazione, ricircolo e filtraggio dell'acqua per le fontane.</li> <li>lo spostamento delle cisterne in una posizione più facilmente accessibile al fine di interventi di gestione e manutenzione.</li> </ol> <p><i>Nota: in linea con tali soluzioni, sarà necessario implementare un nuovo impianto elettrico a basso consumo, nell'obiettivo di garantire un risparmio nell'uso della risorsa idrica (vedi scheda 6).</i></p>		
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<ol style="list-style-type: none"> <li>Relativamente all'impianto di irrigazione a goccia, si prevede l'installazione di un sistema di gestione centralizzato ad impianto wi-fi con sensori di umidità e collegamento a rilevazione condizioni meteorologiche, unitamente all'installazione di un'opportuna riserva idrica (da posizionare nei locali seminterrati della villa previa verifica con prescrizioni VVF). A tal fine, è fondamentale acquisire valutazioni sulle necessità idriche delle singole specie con il supporto di uno specialista botanico.</li> <li>Per la realizzazione di un impianto di temporizzazione, ricircolo e filtraggio dell'acqua per le fontane si prevede l'inserimento di (i) un sistema di automazione e controllo, (ii) una opportuna riserva idrica (da posizionare nei locali seminterrati della Villa previa verifica con prescrizioni VVF), (iii) un sistema di filtrazione meccanica e chimica per garantirne le caratteristiche chimico-fisiche-biologiche adeguate, che preservino quindi i materiali di rivestimento delle fontane, le pompe ed i componenti impiantistici.</li> <li>La ricollocazione delle cisterne nei locali al piano interrato della Villa (vedi scheda 3A).</li> </ol>		
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> <li>SITES</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a prerequisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>		
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)
	Sistema di irrigazione	Irrigation, drip	2,39E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/m <sup>3</sup>
	Serbatoio	Serbatoio completo	3,54E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Rifacimento dell'impianto di irrigazione con sistema di gestione centralizzato ad impianto wi-fi con sensori di umidità e collegamento a rilevazione condizioni meteorologiche: 40.000 €-60.000 € (dato estratto da relazione fatta per i fondi del PNRR punto B.c.2).</li> <li>Realizzazione di un impianto di temporizzazione, ricircolo e filtraggio dell'acqua per le fontane: 25.000 €-35.000 € (dato estratto da relazione fatta per i fondi del PNRR punto B.c.1).</li> <li>Installazione di 3 nuovi serbatoi da 3.000 lt, per una capacità totale di 9.000 lt e gruppo di sollevamento, in una posizione più facilmente accessibile al fine di interventi di gestione e manutenzione: 25.000 €.</li> </ol>		

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 12**

Voce	Descrizione
Eventuali immagini/mappe	<div data-bbox="555 405 890 853"> </div> <div data-bbox="948 405 1289 853"> </div> <div data-bbox="555 882 1289 1218"> </div> <p data-bbox="555 1223 1289 1267"><i>Estratto della planimetria degli esterni della Villa con indicazione delle aree verdi e dell'attuale collocazione delle cisterne ad uso irrigazione.</i></p> <div data-bbox="561 1292 1289 1839"> </div> <p data-bbox="561 1843 826 1868"><b>Superficie calpestabile di piano: 625,40 mq</b></p>

*Ipotesi di nuova collocazione delle cisterne ad uso irrigazione aree verdi.*

Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico

- Per il ripristino fontane: <https://colosseo.it/parco-green/suono-acqua-progetto-rifunzionalizzazione-fontane-antiche/>
- Linee guida e norme tecniche per il restauro dei giardini storici- Ministero della cultura APGI- Associazione parchi e giardini d'Italia.

## SCHEMA INTERVENTI N° 13

Voce	Descrizione																					
Tipologia di intervento	<b>Mobilità sostenibile</b>																					
Ambito di lavoro	Workstream 3- “Mobilità sostenibile”																					
Opzione	<b>Opzione 13: implementazione servizi di mobilità sostenibile</b>																					
Descrizione dello stato di fatto	Attualmente non sono previsti servizi specifici dedicati a dipendenti/visitatori del complesso.																					
Motivazione dell’intervento	Anche a seguito delle interlocuzioni avute con Accademia Nazionale dei Lincei, risulta auspicabile prevedere un più efficiente collegamento al complesso anche in relazione ai vicini poli museali per facilitare gli spostamenti per/da la Villa Farnesina e i principali nodi di interscambio modale.																					
Descrizione della soluzione	Si propone: a. l’installazione di rastrelliere per bici muscolari e/o elettriche; b. l’attivazione di convenzioni con operatori di bike sharing territoriali; c. la stipula di una convenzione per il car sharing rivolto a: - dipendenti e collaboratori di Villa Farnesina; - erogazione di un voucher omaggio del valore di 5 euro a favore dei visitatori di Villa Farnesina (anche nell’opzione della visita congiunta di Palazzo Barberini e Galleria Corsini); - presenza di Enjoy nella sezione “Come Arrivare” del sito di Villa Farnesina a partire dagli Enjoy Parking dedicati all’interno dell’aeroporto di Fiumicino, Ciampino e Stazione Termini. - fornitura di veicoli full elettric (Xev Yoyo) per eventi specifici legati al mondo Villa Farnesina.																					
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<ul style="list-style-type: none"><li>• Il posizionamento specifico delle rastrelliere per bici muscolari e/o elettriche verrà valutato congiuntamente con Accademia dei Lincei e Soprintendenza.</li><li>• La soluzione di sharing mobility proposta sarà attuata in modo tale da non generare impatti a livello architettonico in quanto saranno allestiti stalli all’esterno di Villa Farnesina.</li><li>• Qualora decidessimo di utilizzare la Xev Yoyo per eventi della Villa, occorrerà effettuare ulteriori approfondimenti per localizzare un parcheggio nelle vicinanze della villa per la custodia del veicolo.</li></ul> Si stima che, del totale di visitatori annui (circa 90.000) di Villa Farnesina, il 5% di essi sceglierà di usufruire del servizio car sharing Enjoy (4.500 utilizzatori circa). Considerato il dato di kilometraggio medio percorso relativo al 2024 (dato progressivo) dagli utilizzatori di Enjoy nella città di Roma pari a 8,5 km, la media annua per km percorsi dai visitatori della Villa che utilizzeranno Enjoy sarà pari a circa 38.250.																					
Valutazione della coerenza dell’intervento con la certificazione energetico-ambientale	La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale: <ul style="list-style-type: none"><li>• GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li><li>• LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li><li>• SITES</li></ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell’adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell’iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>																					
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<table><tr><th>Opzione</th><th>Attività Ecoinvent</th><th>Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)</th></tr><tr><td>Rastrello completo</td><td>Rastrello completo</td><td>5,11E + 00 kg CO<sub>2</sub> -Eq/kg</td></tr><tr><td>Bike sharing</td><td>Transport, passenger, bicycle</td><td>1,22E-02 kg CO<sub>2</sub> -Eq/ person.km</td></tr><tr><td>Bike sharing- E-bike</td><td>Transport, passenger, electric bicycle</td><td>2,70E-02 kg CO<sub>2</sub> -Eq/ person.km</td></tr><tr><td>Car sharing- vettura convenzionale</td><td>Transport, passenger car with internal combustion engine</td><td>3,69E-01 kg CO<sub>2</sub> -Eq/km</td></tr><tr><td>Car sharing- vettura elettrica</td><td>Transport, passenger car, electric</td><td>2,39E-01 kg CO<sub>2</sub> -Eq/km</td></tr><tr><td>Car sharing- Xev YoYo</td><td>Transport, passenger car, electric</td><td>2,39E-01 kg CO<sub>2</sub> -Eq/km</td></tr></table>	Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)	Rastrello completo	Rastrello completo	5,11E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg	Bike sharing	Transport, passenger, bicycle	1,22E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/ person.km	Bike sharing- E-bike	Transport, passenger, electric bicycle	2,70E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/ person.km	Car sharing- vettura convenzionale	Transport, passenger car with internal combustion engine	3,69E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km	Car sharing- vettura elettrica	Transport, passenger car, electric	2,39E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km	Car sharing- Xev YoYo	Transport, passenger car, electric	2,39E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km
Opzione	Attività Ecoinvent	Impact Assessment (IPCC2021 - GWP100)																				
Rastrello completo	Rastrello completo	5,11E + 00 kg CO <sub>2</sub> -Eq/kg																				
Bike sharing	Transport, passenger, bicycle	1,22E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/ person.km																				
Bike sharing- E-bike	Transport, passenger, electric bicycle	2,70E-02 kg CO <sub>2</sub> -Eq/ person.km																				
Car sharing- vettura convenzionale	Transport, passenger car with internal combustion engine	3,69E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km																				
Car sharing- vettura elettrica	Transport, passenger car, electric	2,39E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km																				
Car sharing- Xev YoYo	Transport, passenger car, electric	2,39E-01 kg CO <sub>2</sub> -Eq/km																				

(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 13**

Voce	Descrizione
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	a. Rastrelliere per bici: 400 €-1.000 €. b. A livello economico l'impatto dell'iniziativa sarà limitato alla scontistica previsto dalla convenzione. c. A livello economico l'impatto dell'iniziativa sarà limitato alla scontistica previsto dalla convenzione e all'omaggio legato al voucher.
Eventuali immagini/mappe	
Eventuali riferimenti ad interventi simili in situazioni di pregio architettonico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilità di Enjoy in modalità free floating nei centri storici di Roma, Milano, Torino, Bologna, Firenze, con possibilità di circolare in tutte o alcune zone a traffico limitato.</li> </ul> Dettaglio di accesso a ZTL consentito nelle città in cui è presente Enjoy: <a href="https://enjoy.eni.com/it/roma/istruzioni/car?id_instruction=GRP_07">https://enjoy.eni.com/it/roma/istruzioni/car?id_instruction=GRP_07</a>

## SCHEMA INTERVENTI N° 14

Voce	Descrizione
Tipologia di intervento	<b>Proposte in ambito Food</b>
Ambito di lavoro	Workstream 2- "Materiali innovativi" Workstream 4- "Ulteriori proposte in ambito sostenibilità ed economia circolare"
Opzione	<b>Opzione 14: proposte in ambito Food</b>
Descrizione dello stato di fatto	Attualmente, i locali al piano terra della Foresteria sono adibiti saltuariamente ad uso caffetteria/area rinfresco, in occasione di eventi specifici.
Motivazione dell'intervento	A seguito delle interlocuzioni avute con Accademia Nazionale dei Lincei, risulta auspicabile destinare in maniera permanente i locali al piano terra della Foresteria ad uso caffetteria/area rinfresco.
Descrizione della soluzione	<p>Si propone inoltre la predisposizione di un punto ristoro a marchio Eni (Eni Cafè), locato al piano terra della Foresteria, in cui proporre l'implementazione di soluzioni a basso impatto ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>oggetti e complementi di arredo: sedie, tavoli, lampade di design, ecc. in materiali da economia circolare, ovvero realizzati in materiale riciclato (es. Versalis Revive: gamma di prodotti a diversa base polimerica – come polietilene, elastomeri e stirenici – caratterizzati dalla presenza di una quantità variabile di materiale proveniente da riciclo) e/o da fonti rinnovabili (es. Versalis Balance: intermedi e polimeri con caratteristiche e performance identiche a quelle dei prodotti tradizionali. A seconda della materia prima utilizzata si possono ottenere prodotti Bio Attributed (BA) e Bio-Circular Attributed (BCA) realizzati partendo da bionafta, e Circular Attributed (CA) realizzati con recycled oil (r-Oil) ottenuto dal processo di riciclo chimico dei rifiuti di plastica mista).</li> <li>Tali manufatti saranno realizzati da Finproject (es. società di Versalis) o da aziende partner;</li> <li>prodotti per bar/ristorazione: fornitura di piatti, bicchieri, posate, capsule del caffè, realizzati con bioplastiche biodegradabili (es. Novamont), complementare all'utilizzo di prodotti tradizionali per la ristorazione (principalmente in ceramica);</li> <li>raccolta differenziata dei rifiuti: <ul style="list-style-type: none"> <li>sacchi compostabili per raccolta rifiuti;</li> <li>promozione di un ciclo virtuoso di recupero e riciclo di bicchieri da caffè in collaborazione con Corepla (es. progetto RiVending Versalis).</li> </ul> </li> </ul> <p>In alternativa alla predisposizione di Eni Cafè, si propone l'installazione di vending machines per distribuzione automatica di bevande calde con utilizzo di materiale riciclato (es. Versalis Revive: gamma di prodotti a diversa base polimerica – come polietilene, elastomeri e stirenici – caratterizzati dalla presenza di una quantità variabile di materiale proveniente da riciclo).</p>
Descrizione generale delle caratteristiche tecniche e dettagli di primo livello per installazione	<p>La realizzazione di un punto ristoro a marchio Eni avrà un medio impatto dal punto di vista architettonico, tenuto conto degli interventi di ristrutturazione/adequamento e dell'installazione dei macchinari utili allo svolgimento dell'attività. Tuttavia, nella realizzazione di tali interventi, la priorità sarà quella di preservare gli elementi architettonici di pregio storico-artistico del locale.</p> <p>Si segnala, inoltre, che l'attività sarà subordinata alla verifica circa l'ottenimento di adeguata licenza somministrazione per l'esercizio e possibilità di nestendere le vendite anche a clientela extra rispetto ai visitatori del complesso di Villa Farnesina.</p> <p>In relazione ad Eni Cafè, a partire dal dato di 90.000 visitatori/anno, si ipotizza che circa il 10% scelga di usufruire dei servizi di ristorazione (9.000 circa).</p> <p>Si stima che circa il 30% dei servizi offerti, possa includere l'utilizzo prodotti realizzati in bioplastiche biodegradabili.</p> <p>Considerato il complementare impiego di materiali tradizionali per servizio bar/ristorazione "al banco" (come detto, in ceramica), l'utilizzo di prodotti in bioplastica biodegradabile è prettamente relativo a consumazioni take-away.</p> <p>Esempio: su 9.000 unità annue (bicchieri per bevande calde), circa 2.700 (30%) dei prodotti includerà bioplastiche biodegradabili.</p>
Valutazione della coerenza dell'intervento con la certificazione energetico-ambientale	<p>La misura proposta risulta compatibile con i Requisiti Minimi di Programma previsti dei seguenti protocolli di certificazione energetico-ambientale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GBC HB (Green Building Council Historic Building)</li> <li>LEED O&amp;M (Operation &amp; Maintenance)</li> <li>SITES</li> </ul> <p><i>Nota: per una analisi più approfondita dell'adeguatezza della misura ai fini della certificazione, si rimanda alla successiva fase di pre-assessment, che consentirà la valutazione della coerenza dell'iniziativa in ottica integrata di progetto complessivo e rispetto a pre-requisiti/crediti specifici previsti per le diverse aree tematiche dei protocolli selezionati.</i></p>



(segue) **SCHEDA INTERVENTI N° 14**

Voce	Descrizione
Valutazione indicativa benefici in termini di sostenibilità mediante approccio LCA	<i>La valutazione LCA relativa alla ristrutturazione del punto ristoro sarà condotta successivamente allo sviluppo del progetto, che definirà i materiali specifici per ristrutturazione dello spazio.</i>
Valutazione economica indicativa dell'intervento (per ogni elemento/tot)	Di seguito una stima economica approssimativa della realizzazione di un punto ristoro Eni Cafè:
	<b>ARREDI</b>
	<b>TOTALE €64.200</b>
	<b>IMPIANTI ELETTRICI + MECCANICI</b>
	<b>TOTALE €53.000</b>

Eventuali immagini/mappe



ipsum enim est in arte  
de physica applicationem scientiae  
principis et in solvendo pro  
humanae societatis cum intellectu  
Physicis et mathematicis

## ALLEGATO TECNICO 2: ASSUNZIONI

### PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA



Di seguito un dettaglio delle assunzioni per gli interventi ipotizzati:

- *Schede 1 - Generatori di calore e terminali di emissione*: il riferimento utilizzato si riferisce a costi parametrici utilizzati nel settore edile per stime di massimali di costo per categoria di attività.
- *Scheda 2A - Riqualificazione sistema di riscaldamento ad aria delle Logge - Coibentazione del sistema sito al piano interrato*:
  - per la soluzione a) che prevede l'impiego di isolante per tubazioni, valvole, accessori e superfici costituito da lastre in elastomero sintetico estruso a cellule chiuse, la stima è stata effettuata tenendo conto di esperienze precedenti;
  - per le alternative b), c) e d) si conferma che l'eventuale esecuzione prevederà lo studio di stampi idonei e una progettazione ad hoc e, pertanto, il costo dei materiali dipenderà da tale progettualità.
- *Scheda 2B - Riqualificazione sistema di riscaldamento ad aria delle Logge - Rifacimento ex novo dell'impianto sito al piano interrato*: la stima tiene conto di interventi analoghi, nell'ambito dei quali il materiale di scambio ha previsto l'utilizzo di acciaio per le tubazioni, lamiere zincate per le canalizzazioni ad aria e rame/alluminio per le batterie di scambio aria acqua.
- *Schede 3A - Riqualificazione locali piano interrato - Isolamento dei solai e applicazione di intonaci adsorbenti*: si rimanda ad una valutazione economica con il progettista sulla base della fattibilità di isolamento nell'ambito delle diverse geometrie.
- *Scheda 3B - Riqualificazione locali piano interrato - Installazione di un sistema di ventilazione meccanica controllata*: la stima è stata effettuata tenendo conto di esperienze precedenti.
- *Scheda 4 - Implementazione di un Building Energy Management System (BEMS) - Installazione di un sistema di controllo e gestione BEMS degli impianti energetici*: indicazioni da prezziari di riferimento per attività o prodotti di utilizzo comune.
- *Scheda 5A - Riqualificazione dei serramenti - Installazione di una vetrocamera su telaio esistente (aree espositive al piano rialzato, piano primo e locali ai piani mezzanini)*:
  - elaborata una stima di costo parametrico tenendo conto dello smontaggio e riparazione dei telai esistenti e l'inserimento della vetrocamera, prevedendo un margine di +50% per opere specifiche di restauro;
  - per la sostituzione di profili e guarnizioni con materiali Versalis Balance, ottenuti da feedstock alternativi, la stima è stata elaborata tenendo conto della quantità di infissi al piano rialzato, primo piano, primo piano mezzanino e secondo piano mezzanino, e considerando una stima del perimetro degli infissi tenuto conto del numero di guarnizioni necessarie per un telaio con vetrocamera singola.
- *Scheda 5B - Riqualificazione dei serramenti - Sostituzione delle chiusure vetrate delle arcate della Loggia Amore e Psiche*: il costo parametrico, opportunamente maggiorato per la complessità del sito, è stato calcolato secondo indicazioni da prezziari di riferimento per attività o prodotti di utilizzo comune.
- *Scheda 5C - Riqualificazione dei serramenti - Sostituzione dei serramenti dell'altana*. La stima tiene conto:
  - del costo medio di riferimento per la sostituzione di serramenti in legno con vetrocamera dalle prestazioni termiche indicate nella scheda di dettaglio;
  - per la stima dei materiali relativi alle guarnizioni, il calcolo è stato effettuato tenendo conto di un perimetro degli infissi stimato e del numero di guarnizioni necessarie per un telaio con vetrocamera singola.



- *Scheda 5D - Riqualificazione dei serramenti - Riqualificazione serramenti presenti ai locali del piano interrato e in copertura:*
  - per la riqualificazione del sistema vetrocamera + telaio si veda il dettaglio della scheda 5C sopra riportato;
  - per la stima dei materiali relativi alle guarnizioni si veda il dettaglio della scheda 5C sopra riportato.
- *Scheda 6 - Adeguamento impianto elettrico:* costi dei materiali stimati in base ad interventi realizzati su progetti precedenti.
- *Scheda 7 - Riqualificazione impianto di illuminazione:* quantificazione effettuata in base a progetti in parte già realizzati nella Villa.
- *Scheda 8 - Riqualificazione della copertura:*
  - il costo della soluzione sperimentale di tegole piane + coppi anticati ad elevato albedo proposta è pari a ca. 100 €/mq (esclusa manodopera, che comunque incide per ca. il 40% nel caso di intervento di sostituzione puntuale). La quotazione di massima di tale attività di ricerca/sperimentali è frutto di analisi preliminari svolte con ricercatori che operano nel settore (o simili);
  - per il bioerbicida Sunpower è stato indicato il costo del prodotto per metro lineare. Si segnala che il prodotto è autorizzato per uso professionale, quindi esclusivamente da personale dotato di patentino per l'impiego.
- *Scheda 9A - Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche - Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza della copertura dell'Auditorium:* indicazioni di budget dai fornitori o da progetti simili (opportunamente adattati ove necessario in base alla nostra esperienza vista la singolarità dell'applicazione).
- *Scheda 9B - Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche - Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in corrispondenza di porzioni della copertura della Villa e/o Foresteria:* da quotazione indicativa richiesta al fornitore dei coppi fotovoltaici "Invisible Solar".
- *Scheda 9C - Utilizzo di tecnologie fotovoltaiche - Applicazione di tecnologie fotovoltaiche in forma di monoliti a scopo rappresentativo/comunicativo:* indicazioni di budget da progetti simili.
- *Scheda 10 - Spazi esterni - Riqualificazione della pavimentazione esterna:* stima effettuata considerando la superficie totale di piazzali, vialetto di ingresso e retro della Villa, e prevedendo una pavimentazione dello spessore di 10 mm applicata sul sottofondo di asfalto esistente (qualora sufficientemente regolare).
- *Scheda 11 - Spazi esterni - Riqualificazione del giardino storico:*
  - monitoraggio ambientale nell'ambito del giardino storico: la quotazione di massima di tale attività di ricerca/sperimentali è frutto di analisi preliminari svolte con ricercatori che operano nel settore (o simili);
  - interventi relativi ai viottoli pedonali: si veda la descrizione relativa alla Scheda 10 sopra riportata;
  - realizzazione di un impianto di illuminazione a LED: si considera la superficie esterna di giardino/vialetti oggetto del progetto di illuminazione. In prima approssimazione per le superfici di giardini/vialetti complessivamente interessate (circa 10.000 mq), si stima sia necessario utilizzare circa 400 corpi illuminanti.;
  - diserbante Sunpower: si veda la descrizione relativa alla Scheda 8 sopra riportata.
- *Scheda 12 - Spazi esterni: Risorsa idrica giardino - Ottimizzazione della gestione della risorsa idrica:* indicazioni da prezziari di riferimento per attività o prodotti di utilizzo comune (opportunamente adattati ove necessario in base alla nostra esperienza vista la singolarità dell'applicazione).

- *Scheda 13 - Mobilità sostenibile - Implementazione servizi di mobilità sostenibile:*
  - rastrelliere per bici: indicazioni da prezziari di riferimento per attività o prodotti di utilizzo comune;
  - convenzione car sharing Enjoy e bike sharing: a livello economico l'impatto dell'iniziativa sarà limitato alla scontistica previsto dalla convenzione.
- *Scheda 14 - Proposte in ambito Food:* costi stimati a partire da interventi simili su aree di grandezza equivalente. Si sottolinea che l'area, e quindi la villa, dalla Carta della Qualità - elaborato G1, C- rientra tra gli "edifici con tipologia edilizia speciale".  
 Nell'ambito degli elementi censiti nell'allegato G1, art. 16 comma 1 lettera c), d), e) delle N.T.A, compresi quelli in sito UNESCO, gli interventi interni sono soggetti all'acquisizione del parere preventivo della Soprintendenza Capitolina.  
 Sono soggetti a parere preventivo della Soprintendenza anche gli interventi esterni. Pertanto, i vincoli ai quali è assoggettato l'immobile sono importanti e potrebbero incidere sui costi realizzativi finali della soluzione proposta.

### Ringraziamenti

*Si ringraziano il Prof. Antonio Sgamellotti (Accademia dei Lincei), il Prof. Franco Cotana (RSE) e l'Ing. Giuseppe Ricci (Eni) per la loro visione e l'impulso strategico, fattori decisivi nell'avvio e nello sviluppo di questo Studio.*

*Un sincero ringraziamento va anche a tutti coloro che, con il loro operato, ne hanno reso possibile la realizzazione, allo studio DRP – DisegnoRilievoProgetto del prof. Arch. Cesare Cundari, arch. Gian Carlo Cundari e prof. arch. Maria Rosaria Cundari per i rilievi effettuati su Villa Farnesina, all'Università degli Studi di Perugia – CIRIAF – EAP Lab per il contributo scientifico fornito.*

### Hanno partecipato alla realizzazione dello studio:

#### Eni

*Alberto Sciandrone, Concetta Ruggiero, Maria Ilde Colasuonno, Paolo Pollesel, Stefano Zanardi, Massimo Mussida.*

#### Plenitude

*Elisa Rovelli, Gianluca Marcotullio, Marco Pomioli, Fabrizio Cattane.*

#### Versalis

*Serena Sagnella, Gloria Bovi, Sandro Parlanti, Martina Maiocchi, Francesca Messaggi, Lucia Palmiotto, Martina Ricci, Francesco Pasquali, Fernando Vincenti.*

#### Enilive

*Marco Costa, Alessandra Conte, Vincenzo Napolitano, Paolo Salvi.*

#### RSE

*Cristina Cavicchioli, Veronica Lucia Castaldo, Alberto Sogni, Lorenzo Croci, Andrea Temporelli, Pierpaolo Girardi, Ramoon Barros Lovate Temporim, Benedetta Marmioli.*

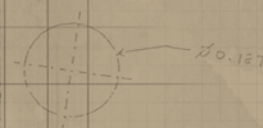
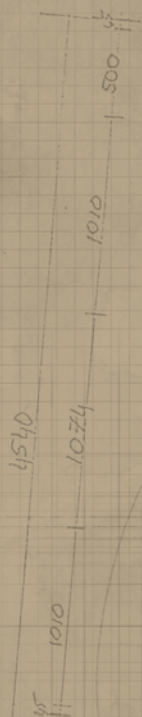
#### Accademia Dei Lincei

*Virginia Lapenta, Azzurra Deodato, Domizia Chiarini, Gabriele Taddeo*

*Da parte di RSE lo studio è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico nell'ambito del Piano Triennale 2025-2027 (DM MASE n.388, 06-11-2024), in ottemperanza al D.M. 12 aprile 2024.*

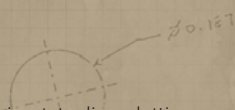


ippagur urim yf iay iirile  
 de phugica apphicationem, pientiae  
 pntidipiz et in pntendo pro  
 humanae pntidipiz cum intellectus  
 Phugiciz et mathematica



$$\begin{aligned}
 &E(20) = \frac{1}{6} \\
 &E(20) = \frac{3}{6}
 \end{aligned}$$

Tuncit iirile, pntidipiz pntidipiz  
 pntidipiz pntidipiz pntidipiz  
 pntidipiz pntidipiz pntidipiz  
 pntidipiz pntidipiz pntidipiz



Le immagini riportate di prodotti commerciali si intendono presentate esclusivamente quali esempi,  
 senza alcuna finalità di promozione commerciale.

Finito di stampare nel mese di marzo 2025.



ipsum enim ut in arte  
de physica applicatione, perinde  
proindeque et in solvendo pro  
tamenque perindeque in intellectu  
physica et mathematica



$$\begin{aligned} \text{No. 127} \\ \text{S:1} \\ \text{E:1} \\ \text{E:1} \end{aligned}$$

Tu enim ut in arte  
perindeque et in solvendo pro  
tamenque perindeque in intellectu  
physica et mathematica

