
COMUNE DI LUCCA

PROVINCIA DI LUCCA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DELLE SERRE ORTO BOTANICO.
CUP J61E24000200004

≡ **PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-
ECONOMICA**

Relazione Tecnica
Casermetta

PFTE_1GEN_CSR_RT_SP_010_00

25-016

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	21/04/2026	PRIMA EMISSIONE	004S	001S	001A

COMMITTENTE:
Comune di Lucca
RUP Ing. Stefano Angelini

TEAM DI PROGETTAZIONE
Studio INTRE

Studio INTRE
Tel. 0583 491507
info@studiointre.it
P.IVA 02197070465



INTRE®

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	PRINCIPI GENERALI, INDAGINI E STUDI.....	3
3	CONTENUTI E SCELTE PROGETTUALI.....	3
3.1	Esigenze, requisiti e prestazioni.....	3
3.2	Valutazioni sulla fattibilità.....	4
3.3	Verifica delle interferenze.....	4
3.4	Inserimento urbanistico.....	4
3.5	Pianificazione delle indagini.....	5
3.6	Motivazione delle scelte tecniche.....	5
3.7	Articolazione in lotti.....	7
3.8	Dimensionamento preliminare.....	7
4	TEMATISMI SPECIALISTICI DELLA PROGETTAZIONE.....	8
4.1	Geologia e idrologia.....	8
4.2	Mobilità e traffico.....	8
4.3	Misure di monitoraggio ambientale.....	9
4.4	Vincoli e territorio.....	9
4.5	Interferenze.....	10
4.6	Piano di gestione delle materie.....	10
4.7	Bonifica ordigni bellici.....	11
4.8	Aspetti architettonici e funzionali.....	11
4.9	Aspetti strutturali.....	11
4.10	Aspetti impiantistici.....	12
4.11	Cantierizzazione e sicurezza.....	13
4.12	Espropri.....	13
5	INTERVENTI SULL'ESISTENTE: RESTAURO E RISANAMENTO.....	14
5.1	Stato di consistenza.....	14
5.2	Ricerche e metodologie di intervento.....	14
5.3	Descrizione dell'intervento da eseguire.....	15

1 PREMESSA

Il presente elaborato descrive le peculiarità tecniche del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) inerente ai lavori di manutenzione straordinaria della Casermetta San Regolo, immobile di rilevanza storico-culturale situato nel Comune di Lucca e parte integrante dell'Orto Botanico. La redazione di questo documento si rende indispensabile a seguito delle valutazioni sulla vulnerabilità sismica, dalle quali è emersa una condizione di sicurezza statica e strutturale non adeguata alle destinazioni d'uso in essere. L'intento della relazione è quello di analizzare e motivare gli aspetti specialistici e progettuali necessari al ripristino di idonei standard di sicurezza e fruibilità, tutelando al contempo il pregio monumentale dell'opera.

2 PRINCIPI GENERALI, INDAGINI E STUDI

La progettazione assume come principi generali la riduzione del rischio strutturale e sismico, la conservazione dei caratteri storico-architettonici del manufatto, il ripristino della piena fruibilità pubblica e la compatibilità degli interventi con il contesto monumentale delle Mura Urbane e dell'Orto Botanico di Lucca.

Le scelte progettuali derivano dalle risultanze della valutazione di vulnerabilità sismica, che ha evidenziato criticità riferite in particolare agli orizzontamenti lignei, alla copertura e ai cinematismi locali di ribaltamento fuori piano delle murature. Le murature portanti risultano invece, nel complesso, idonee sotto il profilo statico globale, ferma restando la necessità di interventi localizzati di collegamento e contrasto dei meccanismi locali.

Il quadro conoscitivo comprende rilievi geometrici eseguiti con strumentazione laser scanner, indagini endoscopiche sulle murature, prove sclerometriche sulle malte e caratterizzazione meccanica degli elementi lignei mediante prove in situ. La campagna diagnostica ha consentito il raggiungimento di un Livello di Conoscenza LC2, con Fattore di Confidenza FC pari a 1,20.

Gli studi specialistici condotti includono:

- Rilievi di natura geometrica realizzati mediante tecnologia laser scanner.
- Ispezioni murarie endoscopiche e prove di tipo sclerometrico sulle malte, che hanno denotato resistenze a compressione modeste (media inferiore a 1.4 N/mm²).
- Caratterizzazione meccanica degli elementi in legno tramite metodologie di prova in situ, essenziali per determinare il grave stato di deficit prestazionale delle coperture (classe inferiore a D18) e la tenuta dei solai in abete (classe C24).

3 CONTENUTI E SCELTE PROGETTUALI

3.1 Esigenze, requisiti e prestazioni

L'intervento recepisce le esigenze definite nel Documento di Indirizzo alla Progettazione(DIP), con particolare riferimento alla necessità di intervenire prioritariamente sulla sicurezza strutturale dell'immobile, alla razionalizzazione dell'assetto funzionale degli spazi e alla sistemazione dell'impianto di climatizzazione, quali condizioni per restituire stabilmente la Casermetta alle funzioni istituzionali dell'Orto Botanico.

Il requisito principale è l'incremento dei livelli di sicurezza strutturale e sismica fino a condizioni compatibili con la destinazione d'uso pubblica, con la presenza di visitatori e operatori e con l'affollamento connesso alle attività di biglietteria, didattica, convegni ed eventi culturali.

Ulteriori requisiti riguardano la sicurezza d'esercizio, l'accessibilità e la fruibilità degli spazi, la conservazione del bene storico-architettonico, la compatibilità degli interventi con il contesto monumentale, la funzionalità e flessibilità d'uso, la qualità ambientale interna e la manutenibilità delle soluzioni adottate.

La prestazione strutturale attesa è stata verificata secondo i criteri applicabili alle costruzioni esistenti previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, con dimostrazione del superamento delle criticità riscontrate nella valutazione di vulnerabilità sismica. Le prestazioni d'esercizio sono

state valutate rispetto alla continuità dei percorsi accessibili, alla funzionalità degli accessi, inclusi ascensore e scale, e all'assenza di interferenze gestionali incompatibili con gli usi previsti.

In relazione alla sicurezza antincendio, gli elementi lignei strutturali del solaio di piano e della copertura sono previsti con trattamento mediante vernici trasparenti intumescenti, con la finalità di ritardare la carbonizzazione del legno e concorrere al raggiungimento del requisito di resistenza al fuoco connesso alle specifiche condizioni d'uso.

3.2 Valutazioni sulla fattibilità

La fattibilità dell'intervento è stata valutata considerando le caratteristiche storico-architettoniche della Casermetta San Regolo, la sua collocazione all'interno del Baluardo San Regolo e dell'Orto Botanico, nonché le condizioni strutturali emerse dalle indagini e dalle verifiche. Il manufatto è soggetto a vincolo storico-monumentale, come attestato dalla Relazione Storica di Vincolo protocollata SR-TOS 14/03/2022 CO.RE.PA.CU. DECRETO 45.

La Casermetta è integrata in un sistema monumentale e paesaggistico di elevato valore, connesso sia alle Mura rinascimentali di Lucca sia all'Orto Botanico fondato nel 1820. La compatibilità dell'intervento deriva dall'adozione di soluzioni mirate e proporzionate, orientate al principio di minima invasività e alla conservazione della leggibilità tipologica del bene.

Le verifiche disponibili indicano che le principali criticità interessano la copertura, gli orizzontamenti e i cinematismi locali delle murature. L'intervento è pertanto ritenuto fattibile in quanto circoscritto alla risoluzione delle vulnerabilità accertate, senza introdurre trasformazioni generalizzate o alterazioni sostanziali dell'immagine architettonica del manufatto.

3.3 Verifica delle interferenze

La verifica delle interferenze evidenzia la presenza di criticità operative correlate alla collocazione della Casermetta in un'area di fruizione pubblica, interessata dal transito dei visitatori dell'Orto Botanico e dall'utilizzo del percorso sulle Mura Urbane. Tali condizioni richiedono un'organizzazione del cantiere idonea a separare l'area di lavoro dagli spazi aperti al pubblico.

Sono inoltre presenti interferenze con presidi provvisori già installati a seguito delle condizioni di rischio strutturale, che dovranno essere coordinate con le fasi di smontaggio e ricostruzione delle strutture lignee. Ulteriori interferenze riguardano il vano ascensore interno, per il quale il progetto strutturale prevede dettagli di raccordo con la struttura metallica esistente, e l'impianto di illuminazione ancorato all'intradosso della copertura lignea, da rimuovere e mettere in sicurezza prima dell'avvio delle lavorazioni.

Durante le fasi di sostituzione della copertura e di movimentazione delle capriate dovranno essere individuate aree dedicate al carico e scarico, delimitate e interdette a terzi durante le operazioni. L'impiego della gru dovrà essere programmato in modo da ridurre i tempi di stazionamento e limitare le interferenze con i servizi pubblici e con il percorso di visita.

3.4 Inserimento urbanistico

Sotto il profilo dell'inquadramento urbanistico, l'area oggetto di intervento è disciplinata dagli strumenti programmatori del Comune di Lucca, segnatamente il Regolamento Urbanistico (approvato con D.C.C. n. 19 del 15 marzo 2012) e il Piano Operativo (adottato con D.C.C. n. 103 del 26 ottobre 2021).

In base al Regolamento Urbanistico, il complesso dell'Orto Botanico, in cui è inserita la Casermetta San Regolo, ricade nella Zona Omogenea A, Ambito CS.6 del Centro Storico. Nello specifico, le aree sono qualificate come "Spazi verdi pubblici" e risultano assoggettate alle prescrizioni dell'art. 92.1 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA). Tali norme prescrivono la difesa e l'incremento del verde esistente, subordinando l'utilizzo degli immobili presenti all'effettivo uso a complemento della funzione principale pubblica dell'area.

A livello di Piano Operativo (Elaborato QP.IVa - Art. 15), il comparto è classificato come "Giardini e spazi a verde pubblico connotativi della città antica", ricadendo precisamente nella sub-articolazione "C.08 - Giardini storici a carattere pubblico". Questa specifica zonizzazione vincola le categorie di intervento ammissibili al superamento delle barriere architettoniche, alla manutenzione straordinaria e al restauro e risanamento conservativo. Tali disposizioni confermano la piena conformità

urbanistica dell'intervento in progetto, il quale si configura proprio come intervento di manutenzione straordinaria finalizzato alla salvaguardia statica e all'adeguamento della Casermetta (destinazione a sala espositiva museale, biglietteria e uffici), senza contemplare modifiche dei parametri edilizi originari quali sagoma e volume complessivo.

3.5 Pianificazione delle indagini

Il grado di approfondimento delle indagini è stato definito in relazione alla natura dell'opera, alla sua appartenenza al patrimonio storico-architettonico e alla necessità di valutare le condizioni statiche e sismiche dell'edificio esistente. Le attività diagnostiche hanno riguardato la conoscenza geometrica, materica e strutturale del manufatto, con l'obiettivo di supportare le scelte progettuali relative al consolidamento e al miglioramento sismico.

Il quadro delle indagini comprende rilievi laser scanner, verifiche endoscopiche sulle murature, prove sclerometriche sulle malte e prove in situ per la caratterizzazione degli elementi lignei. Le indagini hanno condotto al Livello di Conoscenza LC2 e all'adozione del Fattore di Confidenza FC = 1,20, coerentemente con l'impostazione delle verifiche strutturali sugli edifici esistenti.

Le prove sulle malte hanno restituito resistenze medie a compressione inferiori a 1,4 N/mm², indicative di malta con resistenza modesta. La caratterizzazione degli elementi lignei ha classificato il legno di abete dei solai in classe C24, mentre le travi in castagno delle capriate principali e dell'orditura secondaria della copertura hanno evidenziato prestazioni fortemente carenti, inferiori alla classe minima D18, con diffuso degrado da insetti xilofagi.

3.6 Motivazione delle scelte tecniche

Le scelte tecniche poste a base del progetto derivano dalla necessità di risolvere le carenze statiche degli orizzontamenti e della copertura, contrastare i cinatismi locali di ribaltamento fuori piano e migliorare il comportamento d'insieme della scatola muraria. L'intervento si configura come un insieme di opere puntuali e coordinate, fondate sugli esiti delle indagini e delle verifiche strutturali.

La sostituzione integrale della copertura è motivata dallo stato di degrado, dalla non omogeneità degli elementi lignei, dalla presenza di componenti di riutilizzo, dai rinforzi pregressi e dai puntellamenti localizzati. Il recupero puntuale degli elementi principali non risulta idoneo a garantire un livello di sicurezza uniforme; la nuova copertura, analoga per geometria, forma e schema statico a quella esistente, consente invece di ripristinare un comportamento strutturale chiaro e controllabile.

L'inserimento del cordolo sommitale in calcestruzzo armato, delle catene con capochiave e dei collegamenti d'angolo consente di migliorare il collegamento tra murature e copertura, contrastando le spinte e i meccanismi locali.

La scelta del cordolo in calcestruzzo armato è ricondotta alle caratteristiche della muratura esistente, costituita da pietrame e laterizio pieno, con spessori significativi e tessitura irregolare. Tale elemento permette di ottenere un collegamento continuo e una ripartizione efficace delle azioni, inglobando le discontinuità della sommità muraria e migliorando l'integrazione con la nuova struttura lignea.

Il rinforzo del solaio intermedio mediante profili metallici di rompitratta è finalizzato ad aumentare la capacità portante senza alterare in modo invasivo la configurazione esistente.

Nei due vani dei bagni al piano primo, dal punto di vista delle scelte architettoniche e funzionali l'adozione di chiusure scorrevoli a scomparsa (tipo "scrigno") è motivata dalla necessità di eliminare l'ingombro dell'apertura a battente verso l'interno, migliorando l'ergonomia dei vani. La creazione dei "dentelli" murari aggettanti è tecnicamente necessaria per alloggiare il controtelaio della porta scorrevole, e viene ricondotta a una configurazione architettonica ordinata e coerente con l'assetto distributivo dei vani. La ripetizione degli elementi sul fronte contrapposto consente di mantenere un equilibrio compositivo dei fronti interni, evitando discontinuità percettive e garantendo una lettura complessivamente omogenea dell'intervento.

La riprogettazione dell'apparato illuminotecnico è motivata dalla ricerca della massima versatilità d'uso degli ambienti. L'impiego di binari elettrificati sospesi, ancorati ai travicelli della copertura, risponde a una duplice esigenza: la possibilità di orientare e traslare i faretti permette di adattare il flusso luminoso a diverse configurazioni (conferenze, aule didattiche, esposizioni temporanee), garantendo una distribuzione della luce sempre ottimale rispetto all'attività svolta; il sistema a sospensione riduce l'impatto visivo sui componenti storici della copertura, mentre l'inserimento di faretti puntiformi a ridosso del vano ascensore e dei puntatori luminosi tra le finestre ha lo scopo di enfatizzare la matericità delle strutture lignee di sommità, trasformandole in elemento scenografico dell'intero ambiente.

Le motivazioni alla base del rinnovo del sistema HVAC sono connesse al miglioramento dell'efficienza energetica e del benessere termo-igrometrico, in linea con i Criteri Ambientali Minimi (CAM).

L'impianto di climatizzazione estiva e invernale sarà realizzato con un sistema ad espansione diretta del tipo a volume variabile. Le unità interne verranno nascoste nelle "nicchie" sotto i davanzali e mimetizzate con carter lignei.

Oltre alle unità interne esistenti, che verranno sostituite, saranno aggiunte altre due unità interne della stessa tipologia, l'unità esterna, le tubazioni per l'alimentazione del fluido termovettore delle unità interne. Ogni unità preleverà il flusso d'aria interno al locale tramite un ventilatore integrato nella stessa; l'aria attraverserà la batteria di riscaldamento/raffrescamento per poi venire distribuita tramite apposita griglia all'interno dell'ambiente.

Data la natura monumentale del fabbricato e la necessità di operare con la massima cautela rispetto alle preesistenze, la strategia di allacciamento delle unità seguirà criteri di flessibilità e minima invasività. In fase esecutiva, laddove le condizioni tecniche e la mappatura degli impianti esistenti lo consentano, si privilegerà il riutilizzo dei condotti preesistenti. Qualora la distribuzione attuale risultasse non intercettabile, tecnicamente inidonea o eccessivamente degradata, si opterà per soluzioni alternative che prevedano la posa di nuove linee sottotraccia. Tali condutture saranno convogliate, a seconda delle contingenze di cantiere, verso i discendenti pluviali esterni o, con pompe, verso le linee di gronda in prossimità, mediante tracce puntuali della muratura eseguite in modo da garantire la perfetta sigillatura degli innesti e la totale salvaguardia dei paramenti esterni.

Per quanto concerne le due unità di nuova installazione, queste verranno integrate nel sistema mediante la posa sottotraccia di linee di scarico dedicate. Tali condutture correranno internamente alla muratura fino a intercettare i discendenti pluviali esterni in prossimità mediante foro nella muratura.

Ogni unità interna sarà alimentata dall'attuale rete elettrica esistente, mentre le unità nuove saranno alimentate, tramite un apposito interruttore di protezione, da prese elettriche situate nelle sue vicinanze.

Le attuali caldaie alimentate a metano posizionate all'interno del locale tecnico saranno smantellate insieme alle tubazioni non più utilizzate. All'interno del locale tecnico rimarrà, anche, l'attuale boiler ad alimentazione elettrica per la produzione ACS del bagno disabili. L'altro bagno ha un boiler, anch'esso ad alimentazione elettrica, per la produzione ACS già inserito nel locale stesso. I due locali da bagno, saranno riscaldati tramite termoarredi ad alimentazione elettrica.

L'unità esterna a espansione diretta sarà installata in configurazione outdoor, in posizione adiacente al locale tecnico. Il macchinario sarà collocato su un basamento dedicato opportunamente dimensionato per garantire la stabilità del carico e l'assorbimento delle vibrazioni operative.

Al fine di assicurare l'efficienza dello scambio termico e la corretta aerazione della batteria alettata, l'installazione rispetterà rigorosamente i franchi minimi di distanza sia dal fabbricato che dalla schermatura vegetale prevista. Tale soluzione di mimetizzazione, realizzata mediante essenze arboree, sarà posizionata in modo da non interferire con il flusso d'aria (mandata e ripresa) e da garantire l'accessibilità per le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, preservando al contempo il decoro architettonico e l'integrazione paesaggistica del complesso dell'Orto Botanico.

3.7 Articolazione in lotti

In linea con le indicazioni metodologiche contenute nel Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP) e in considerazione della complessità tecnica del recupero della Casermetta San Regolo, l'intervento è concepito come un lotto funzionale unico, ma strutturato internamente secondo una Work Breakdown Structure (WBS) rigorosa, finalizzata a garantire la continuità delle prestazioni dell'Orto Botanico e la sicurezza del cantiere.

L'articolazione operativa si suddivide nelle seguenti fasi specifiche e differenziate per tipologia di intervento:

1. Fase 1: Apprestamenti di cantiere e messa in sicurezza: allestimento delle aree logistiche nel rispetto del contesto monumentale, installazione di ponteggi a protezione totale e verifica dei sistemi di puntellamento provvisorio già in essere.
2. Fase 2: Interventi strutturali: operazioni di decostruzione controllata della copertura ammalorata, realizzazione dei cordoli sommitali, posa delle nuove capriate e rinforzo del solaio intermedio, installazione degli apprestamenti di copertura a scomparsa sottotegola previsti. Questa fase include la gestione delle materie di risulta e il consolidamento delle connessioni murarie.
3. Fase 3: Opere architettoniche e distributive: realizzazione delle nuove partizioni murarie per l'adeguamento dei servizi igienici con installazione dei sistemi scorrevoli a scomparsa, installazione di carter per la mimetizzazione degli impianti di condizionamento.
4. Fase 4: Integrazione tecnologica e impiantistica: Installazione dei nuovi terminali HVAC con relativi carter lignei, posa delle reti di scarico condensa e implementazione del sistema illuminotecnico su binari sospesi e puntatori d'accento.
5. Fase 5: Chiusura e mitigazione ambientale: Posizionamento e schermatura vegetale dell'unità esterna, smantellamento del cantiere e ripristino delle aree verdi limitrofe all'Orto Botanico.

Tale suddivisione in fasi operative è dettata dalla necessità di coordinare le diverse maestranze specializzate, riducendo le interferenze temporali e garantendo che ogni fase (dalla sicurezza statica alla fruibilità funzionale) sia propedeutica alla successiva. Non si ravvisano, allo stato attuale, vincoli di finanziamento che impongano una scissione in lotti funzionali autonomi, pertanto l'appalto è considerato unitario per assicurare la coerenza materica e tecnica delle opere di restauro.

3.8 Dimensionamento preliminare

Gli elementi di dimensionamento preliminare disponibili riguardano prevalentemente gli aspetti strutturali. Le verifiche hanno individuato, nella condizione ante operam, carenze statiche degli orizzontamenti e vulnerabilità locali delle murature. L'analisi cinematica sismica locale ha restituito un grado di sicurezza pari a $\zeta_E = 0,25$ allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, evidenziando la necessità di contrastare i meccanismi di ribaltamento fuori piano.

A seguito degli interventi previsti, il livello di sicurezza espresso dal parametro ζ_E risulta incrementato fino a $\zeta_E = 1,097$. Tale valore è superiore all'incremento minimo di 0,10 richiesto per gli interventi di miglioramento sismico ai sensi del paragrafo 8.4.2 del D.M. 17/01/2018.

Il dimensionamento preliminare delle opere è stato sviluppato attraverso un'analisi quantitativa mirata a validare la fattibilità delle soluzioni proposte, garantendo al contempo la coerenza economica dell'intervento rispetto alle finalità pubbliche della Casermetta. Per quanto riguarda la componente meccanica, la scelta progettuale di fondo è stata quella di non apportare modifiche sostanziali alla configurazione attuale del sistema di distribuzione. In questa fase di fattibilità, si è proceduto replicando per posizione e numero la dotazione dei terminali esistenti e aggiungendo due unità sotto le finestre del prospetto nord.

Tale approccio permette di mantenere l'assetto impiantistico collaudato, prevedendo semplicemente la sostituzione dei vecchi apparecchi con unità ad espansione diretta. Queste ultime sono state selezionate con una potenza nominale coerente con le volumetrie dei locali e uno spessore massimo di dodici centimetri, dimensione necessaria per garantirne l'integrazione a scomparsa nei carter lignei senza alterare la spazialità degli ambienti.

Parallelamente, il sistema di smaltimento delle acque di condensa è stato dimensionato mediante l'impiego di tubazioni in PVC da venti millimetri, la cui posa è stata calcolata con pendenze tali da minimizzare l'impatto sui paramenti murari e assicurare un deflusso efficace verso l'esterno.

Sotto il profilo dell'integrazione elettrica e illuminotecnica, il progetto ha definito lo sviluppo dei binari elettrificati sospesi e dei puntatori d'accento, sulla base dei livelli di illuminamento richiesti per le diverse attività previste, assicurando che l'assorbimento complessivo sia compatibile con le sezioni delle canalizzazioni esistenti e con la fornitura energetica del plesso.

Tale approccio quantitativo si estende anche alle opere architettoniche, dove il dimensionamento delle nuove contropareti è stato rigorosamente definito per alloggiare i controtelai delle porte scorrevoli a scomparsa.

4 TEMATISMI SPECIALISTICI DELLA PROGETTAZIONE

4.1 Geologia e idrologia

Il sito oggetto di intervento, situato nel settore sud-orientale del centro storico di Lucca in adiacenza alle Mura Urbane, è caratterizzato da un assetto geologico tipico della piana lucchese, contraddistinto da depositi alluvionali di età olocenica. Sulla base delle indagini specialistiche condotte nell'area dell'Orto Botanico, il sottosuolo presenta una successione stratigrafica composta prevalentemente da sedimenti sciolti con granulometrie variabili, che conferiscono al terreno un'elevata permeabilità per porosità.

Sotto il profilo idrogeologico, l'area è interessata dalla presenza di una falda idrica superficiale ospitata nei depositi alluvionali, la cui circolazione è influenzata sia dalle dinamiche di ricarica meteorica che dalle variazioni dei livelli dei corpi idrici limitrofi. Le indagini idrogeologiche eseguite hanno permesso di definire con precisione lo stato di quiete della piezometria e le risposte del sistema acquifero alle sollecitazioni di emungimento, con particolare riferimento ai coni di richiamo generati dai pozzi ad uso idropotabile presenti nelle immediate vicinanze (pozzo GEAL).

Le risultanze delle prove di emungimento confermano la capacità di filtrazione del mezzo e la stabilità idraulica del sito, fornendo i parametri necessari per la corretta gestione delle acque di cantiere e per la verifica delle condizioni di stabilità delle fondazioni della Casermetta in relazione alle possibili variazioni del regime idrico sotterraneo.

Per ulteriori approfondimenti tecnici e dati di dettaglio sulle dinamiche di falda, si rimanda integralmente alla specifica relazione allegata ("Indagini idrogeologiche presso l'Orto Botanico di Lucca", Ottobre 2015" a cura di Studio di Geologia Barsanti, Sani & Associati).

4.2 Mobilità e traffico

L'intervento sulla Casermetta San Regolo, pur non incidendo direttamente sulle infrastrutture di trasporto urbano, richiede una rigorosa disciplina della mobilità interna all'area monumentale e una gestione puntuale delle interferenze tra le attività di cantiere e la fruizione pubblica dell'Orto Botanico e delle Mura Urbane. In coerenza con le prescrizioni generali che verranno adottate in fase di cantiere, la strategia di cantierizzazione è improntata alla minimizzazione degli impatti ambientali e alla massima tutela del flusso dei visitatori.

L'organizzazione logistica prevede che l'area di cantiere sia chiaramente delimitata e segregata rispetto ai percorsi pedonali aperti al pubblico. L'accessibilità carrabile per i mezzi d'opera avverrà attraverso i varchi autorizzati del Baluardo, privilegiando percorsi che riducano al minimo la sovrapposizione con le zone a maggiore densità di visita. Per garantire la continuità dell'esperienza museale e della passeggiata storica sulle Mura, verranno istituite segnalazioni direzionali e, ove necessario, bypass temporanei protetti. Nelle fasi di lavoro più critiche, come quelle che prevedono carichi sospesi o movimentazioni mediante gru, sarà obbligatorio l'impiego di personale di assistenza a terra per la gestione in sicurezza dei transiti pedonali nelle aree limitrofe al raggio d'azione delle macchine.

4.3 Misure di monitoraggio ambientale

Le relazioni di partenza prevedono che, al termine dei lavori, sia effettuato un monitoraggio post-cantiere finalizzato a verificare l'assenza di danni o alterazioni permanenti del sito, sia sotto il profilo ambientale sia sotto quello architettonico. Le aree circostanti la Casermetta, inclusi percorsi di accesso e zone limitrofe del Giardino Botanico, dovranno essere ricondotte allo stato originario, con attenzione alla conservazione del paesaggio storico.

Durante la fase di dismissione del cantiere è previsto il recupero dei materiali ove possibile e lo smaltimento dei materiali non riutilizzabili in conformità alla normativa ambientale, con particolare riguardo alle strutture lignee e ai materiali provenienti dalle parti rimosse della copertura.

Inoltre, con riferimento agli aspetti ambientali e di sostenibilità dell'intervento, il progetto recepisce i Criteri Ambientali Minimi (CAM) applicabili agli interventi edilizi pubblici, tenuto conto della natura del fabbricato, delle opere previste e del livello di approfondimento proprio della fase progettuale.

Le soluzioni adottate sono pertanto orientate a favorire la durabilità e la manutenibilità delle opere, la corretta gestione dei materiali rimossi, la riduzione degli impatti derivanti dalle attività di cantiere e la compatibilità con il contesto storico, paesaggistico e ambientale dell'Orto Botanico di Lucca.

La verifica puntuale dei requisiti CAM, delle modalità di applicazione e delle evidenze documentali richieste è demandata alla specifica relazione specialistica, alla quale si rimanda integralmente.

4.4 Vincoli e territorio

La Casermetta San Regolo è inserita nel complesso monumentale delle Mura Urbane di Lucca e nell'ambito dell'Orto Botanico. Il manufatto è soggetto a vincolo storico-monumentale, come indicato nella Relazione Storica di Vincolo protocollata SR-TOS 14/03/2022 CO.RE.PA.CU. DECRETO 45.

Il valore storico dell'edificio deriva dalla sua appartenenza al sistema delle Mura rinascimentali e dal rapporto con il Baluardo San Regolo, nel settore meridionale della cerchia muraria. La data 1605 riportata sullo stemma della fronte urbana costituisce un riferimento significativo per la lettura storica del manufatto.

Il valore culturale è ulteriormente rafforzato dall'integrazione della Casermetta nel sistema dell'Orto Botanico, fondato nel 1820, e nel Museo Botanico "Cesare Bicchi". La trasformazione da presidio militare a spazio di supporto alla fruizione scientifica, museale e culturale rappresenta un elemento essenziale della stratificazione storica del complesso.

L'intervento sulla Casermetta San Regolo si inserisce in un contesto territoriale e monumentale caratterizzato da un sistema stratificato di tutele, che ne condizionano le scelte progettuali e le modalità operative. In conformità con quanto riportato nel DIP, l'area e i manufatti sono assoggettati ai seguenti vincoli:

- **Vincolo Storico-Architettonico e Monumentale:** Il complesso dell'Orto Botanico e la Casermetta San Regolo sono sottoposti a tutela ai sensi del D.Lgs. 42/2004 (Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio). Tale vincolo impone che ogni intervento sia finalizzato alla conservazione dell'integrità materiale del bene e alla protezione dei suoi caratteri tipologici e costruttivi. Nello specifico, le opere di manutenzione straordinaria devono garantire la reversibilità delle soluzioni adottate e l'uso di materiali compatibili con la compagine muraria storica, assicurando il mantenimento dei valori culturali e storici espressi dal manufatto nel corso della sua evoluzione da presidio militare a sede scientifica.
- **Vincolo Paesaggistico e Ambientale:** L'intero ambito ricade all'interno delle Mura Urbane di Lucca, area di eccezionale valore paesaggistico e identitario. Ai sensi della Parte Terza del Codice dei Beni Culturali, l'area è soggetta a autorizzazione paesaggistica per ogni trasformazione che alteri lo stato dei luoghi o l'aspetto esteriore dei monumenti. Il progetto risponde a tale vincolo attraverso una strategia di mitigazione visiva degli impianti (come le schermature delle unità esterne e l'uso di carter lignei per i terminali interni) e una gestione rigorosa del cantiere volta a prevenire alterazioni del profilo paesaggistico del Baluardo San Regolo.
- **Tutele Naturalistiche e Verde Storico:** Un vincolo preminente riguarda la salvaguardia del patrimonio botanico. Il complesso ospita esemplari arborei monumentali censiti e protetti, la cui tutela è prioritaria rispetto alle attività di cantiere. Come indicato nelle specifiche del DIP, la progettazione deve prevedere misure puntuali per la protezione degli apparati radicali e

delle chiome durante le fasi di movimentazione dei materiali e dei mezzi. Ogni intervento idraulico o di scavo deve essere preventivamente valutato per evitare interferenze con l'assetto idrogeologico che sostiene l'ecosistema dell'Orto.

- **Vincolo Archeologico:** Data la collocazione del sito sul sistema fortificato e all'interno del centro storico, sussiste il rischio di intercettare depositi di interesse archeologico in fase di scavo (es. per le condotte di condensa o sottoservizi). Pertanto, l'intervento deve prevedere il regime di sorveglianza archeologica in corso d'opera, secondo le disposizioni della competente Soprintendenza, al fine di documentare eventuali evidenze emergenti e garantire la tutela del sottosuolo storico.

4.5 Interferenze

Il censimento delle interferenze riguarda principalmente tre ambiti: la fruizione pubblica dell'Orto Botanico e delle Mura Urbane, la presenza di presidi provvisori di puntellamento e le interferenze interne con impianti e strutture esistenti.

La gestione delle interferenze costituisce un aspetto centrale della fattibilità operativa dell'intervento, data la collocazione del fabbricato in un contesto monumentale ad alta frequentazione pubblica.

In merito alla messa in sicurezza e alle interferenze strutturali, le preliminari valutazioni di vulnerabilità sismica hanno evidenziato criticità statiche e sismiche significative. Di conseguenza, l'edificio è stato preventivamente evacuato e messo in sicurezza mediante l'installazione di estesi puntellamenti provvisori. Il cantiere dovrà operare in stretto coordinamento con tali presidi durante le fasi di smontaggio e rimontaggio delle strutture. Durante l'esecuzione delle opere si presterà inoltre particolare attenzione all'interferenza strutturale con le opere interne preesistenti, nello specifico il vano ascensore e le scale in acciaio, prevedendo idonei dettagli di raccordo. Ulteriore interferenza puntuale è rappresentata dall'inserimento dei capochiave, che comporterà il necessario discostamento dalla facciata dei pluviali esistenti e, in due casi, anche il loro spostamento, al fine di lasciare adeguato spazio ai capochiave stessi.

Per quanto riguarda la tutela degli elementi storici e decorativi, l'intervento adotta procedure specifiche per la salvaguardia degli elementi di pregio. Il progetto prevede infatti lo spostamento e la successiva ricollocazione della targhetta storica posta sul fronte Sud, operazione che avverrà previa esecuzione dei consolidamenti meccanici strutturali, quali l'inserimento di catene e capochiave. Analogamente, trattandosi di elementi storici e decorati, i travicelli sottogronda saranno rimossi con metodologie atte a garantirne l'integrità, catalogati e stoccati in un'area idonea e protetta, per la loro successiva riallocazione a completamento della struttura portante della copertura.

L'interferenza maggiore dal punto di vista logistico è rappresentata dalla vicinanza di aree destinate a pubblici servizi, tra cui il percorso di visita dell'Orto Botanico e le aree pubbliche di passeggio sulle Mura Urbane. Per mitigare tali criticità, verrà allestita una ponteggiatura perimetrale configurata come una "scatola chiusa", dotata di pannellature schermanti, reti di protezione e mantovane progettate per impedire la caduta accidentale di materiali e detriti verso l'esterno. Durante le fasi di cantiere più critiche, come la sostituzione delle capriate lignee, verranno individuate specifiche aree esterne dedicate esclusivamente alle manovre di approvvigionamento; tali zone saranno opportunamente segnalate e interamente interdette al passaggio di terze persone. Infine, la gestione logistica dei mezzi d'opera, con particolare riferimento all'impiego della gru e dei mezzi di sollevamento, sarà governata da una programmazione temporale rigorosa, volta a ottimizzare i tempi di stazionamento, garantendo la sicurezza e minimizzando il disturbo ai visitatori e alla continuità dei servizi dell'area.

4.6 Piano di gestione delle materie

La gestione delle materie è descritta nelle relazioni di partenza in termini generali. I materiali derivanti dalle lavorazioni, qualora non riutilizzabili, dovranno essere smaltiti nel rispetto della normativa ambientale, privilegiando il recupero e il riciclo ove possibile. Particolare attenzione è prevista per le strutture lignee e per i materiali da costruzione provenienti dalle vecchie travature e dalle parti rimosse della copertura.

La movimentazione dei materiali, quali cemento, rinforzi in acciaio e travi lignee, dovrà essere organizzata in modo da ridurre i tempi di sosta, ottimizzare i flussi di traffico e garantire la sicurezza delle aree circostanti, con specifico riguardo al Giardino Botanico.

Durante la fase di esecuzione, verrà individuata e approntata un'area di cantiere specificamente destinata alla gestione dei rifiuti prodotti. Tale attività sarà condotta garantendo la rigorosa differenziazione dei materiali da costruzione e demolizione e il loro corretto conferimento in filiera, in piena osservanza delle prescrizioni dettate dal D.lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambiente), assicurando così la tutela ambientale e la conformità normativa dell'intero processo.

4.7 Bonifica ordigni bellici

In riferimento al quadro normativo vigente in materia di salute e sicurezza nei cantieri, con specifico riguardo alla valutazione del rischio di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi, si ritiene l'attivazione delle procedure di bonifica sistematica non pertinente per l'intervento sulla Casermetta San Regolo. Tale determinazione scaturisce in primo luogo dalla natura conservativa delle opere previste, le quali si focalizzano sul restauro delle strutture in elevazione, sul rifacimento della copertura e sulla riconfigurazione funzionale degli spazi interni, senza comportare alcuna alterazione delle fondazioni esistenti o scavi in profondità.

L'analisi storica e documentale condotta sul sito non evidenzia inoltre criticità belliche pregresse, quali bombardamenti documentati o stoccaggi di materiale esplosivo, che possano configurare un rischio residuo significativo nell'area dell'Orto Botanico e delle Mura Urbane. Poiché l'area è stata oggetto di costante monitoraggio e gestione nel corso dei decenni senza che siano mai emerse evidenze di tale natura, e non essendo previste opere di scavo in sede vergine o a quote inferiori a quelle già impegnate dalla fabbrica esistente, si conclude per la non necessità di procedere con indagini strumentali preventive. Resta inteso che, qualora durante le fasi di cantiere dovesse verificarsi un rinvenimento fortuito, la direzione dei lavori procederà all'immediata sospensione delle attività e all'attivazione dei protocolli di legge previsti per la messa in sicurezza del sito.

4.8 Aspetti architettonici e funzionali

La Casermetta San Regolo si colloca al livello superiore del complesso, in corrispondenza del camminamento delle Mura, con affaccio sull'Orto Botanico. L'accesso avviene dalla passeggiata muraria, mentre il collegamento con il giardino sottostante è garantito da scale e ascensore, confermando il ruolo dell'edificio quale cerniera tra città, Mura e Orto.

L'organismo edilizio è integrato con la struttura del baluardo e con il terrapieno murario. Le sue caratteristiche costruttive sono coerenti con il sistema tecnico delle Mura, con murature in laterizio e pietra, rapporto diretto con ambienti voltati e percorsi interni, presenza di spazi sotterranei e connessioni con le sortite.

Dal punto di vista funzionale, l'immobile ospita la biglietteria dell'Orto Botanico, servizi igienici, spazi per convegni, attività didattiche e concessioni temporanee. Una porzione del settore nord è separata mediante tamponatura removibile ed è adibita a ufficio in uso all'associazione A.Di.P.A. per la durata del rapporto concessorio.

L'intervento mantiene l'aspetto esterno del fabbricato senza modifiche significative, conservando le facciate storiche e prevedendo l'inserimento dei soli capochiave a paletto delle catene di contrasto. Le modifiche sono concentrate sugli spazi e sugli elementi strutturali interni, senza alterare la struttura originaria oltre quanto necessario per il ripristino della sicurezza e per la valorizzazione funzionale.

4.9 Aspetti strutturali

Gli aspetti strutturali costituiscono il nucleo principale dell'intervento. Le verifiche hanno evidenziato che il solaio di piano, pur non presentando cedimenti manifesti, non risulta pienamente idoneo a sostenere i sovraccarichi previsti per l'attuale destinazione d'uso. La copertura, caratterizzata da elementi lignei non omogenei, di riutilizzo e in condizioni precarie, rappresenta la componente maggiormente vulnerabile.

Le pareti in muratura mista di laterizio pieno e pietrame presentano spessori di circa 55 cm al piano terra, ridotti a circa 30 cm sul fronte Mura, e circa 95 cm al piano interrato. Le verifiche statiche globali delle murature risultano soddisfatte, ma il comportamento sismico locale evidenzia la tendenza

all'innescio di cinematismi fragili di ribaltamento, dovuti principalmente all'assenza di cordoli o catene di trattenuta in testa.

Il progetto prevede il rifacimento integrale della copertura con nuova struttura lignea analoga a quella esistente per forma, geometria e schema statico; il rinforzo del solaio intermedio mediante profili metallici di rompitratta; l'inserimento di cordoli sommitali e catene con capochiave; il collegamento localizzato dei cantonali delle pareti prospicienti le Mura Urbane mediante inghisaggio di barre metalliche incrociate.

A seguito degli interventi, le carenze statiche degli orizzontamenti risultano affrontate mediante rinforzo del solaio e sostituzione della copertura, mentre i meccanismi locali di ribaltamento vengono contrastati tramite cordolo, catene e collegamenti d'angolo. Il livello di sicurezza sismica espresso dal parametro ζE viene incrementato fino a $\zeta E = 1,097$.

4.10 Aspetti impiantistici

Il progetto di adeguamento impiantistico della Casermetta San Regolo è orientato al miglioramento del comfort termo-igrometrico e dell'efficienza energetica, nel rigoroso rispetto della tutela architettonica del manufatto. La strategia adottata prevede il rinnovo del sistema di climatizzazione esistente senza alterarne l'assetto distributivo originale; la soluzione progettuale si basa infatti sulla sostituzione dei terminali attuali con nuove unità ad espansione, mantenute nelle medesime posizioni. Tali macchine verranno inserite all'interno di carter lignei appositamente dimensionati, che fungono da elemento di mediazione estetica e protezione meccanica. Il sistema è concepito per garantire prestazioni ottimali sia nella stagione invernale che in quella estiva, con una gestione delle condense affidata a una rete capillare di tubazioni sottotraccia che convogliano i fluidi verso l'esterno senza interferire con l'apparato delle facciate.

Data la natura monumentale del fabbricato e la necessità di operare con la massima cautela rispetto alle preesistenze, la strategia di allacciamento delle unità seguirà criteri di flessibilità e minima invasività. In fase esecutiva, laddove le condizioni tecniche e la mappatura degli impianti esistenti lo consentano, si privilegerà il riutilizzo dei condotti preesistenti. Qualora la distribuzione attuale risultasse non intercettabile, tecnicamente inidonea o eccessivamente degradata, si opterà per soluzioni alternative che prevedano la posa di nuove linee sottotraccia. Tali condutture saranno convogliate, a seconda delle contingenze di cantiere, verso i discendenti pluviali esterni o, con pompe, verso le linee di gronda in prossimità, mediante tracce puntuali della muratura eseguite in modo da garantire la perfetta sigillatura degli innesti e la totale salvaguardia dei paramenti esterni.

Per quanto concerne la componente illuminotecnica, è prevista la rimozione e la messa in sicurezza dell'impianto attuale, ancorato all'intradosso della copertura lignea, prima dell'avvio delle opere strutturali. Al suo posto, verrà installato un sistema a binari elettrificati sospesi che garantisce la massima flessibilità operativa per le funzioni museali e didattiche. Questa soluzione consente di posizionare corpi illuminanti LED ad alta efficienza e puntatori d'accento in grado di valorizzare le tessiture murarie e le strutture della copertura, assicurando al contempo un controllo preciso dei livelli di illuminamento e una sensibile riduzione dei consumi energetici, in linea con i Criteri Ambientali Minimi (CAM).

Coerentemente con il pregio storico del manufatto e la natura delle strutture lignee, i collegamenti elettrici di alimentazione saranno realizzati mediante un impianto a vista con cavi trecciati in tessuto (tipo treccia di seta), fissati tramite isolatori in ceramica. Tale soluzione, tipica delle costruzioni storiche, permette di integrare le esigenze impiantistiche moderne con un linguaggio estetico filologico, riducendo al minimo l'impatto visivo e garantendo la totale reversibilità dell'intervento sulla carpenteria della copertura.

Sul fronte della sicurezza antincendio e della protezione delle strutture, l'intervento mira al raggiungimento dei requisiti di resistenza al fuoco necessari per le attività di pubblico spettacolo e ufficio insediate nel plesso. Le strutture lignee del solaio intermedio e della nuova copertura saranno sottoposte a un trattamento protettivo mediante vernici trasparenti intumescenti, applicate in modo da non alterare la leggibilità delle fibre del legno ma capaci di ritardare efficacemente il processo di carbonizzazione in caso di incendio. Tale misura, integrata dalla corretta compartimentazione degli spazi e dalla predisposizione di un adeguato sistema di segnaletica e presidi di primo intervento,

concorre a elevare il livello di sicurezza globale dell'immobile, garantendo la protezione dell'utenza e la salvaguardia del patrimonio storico e scientifico custodito all'interno della Casermetta.

4.11 Cantierizzazione e sicurezza

La gestione dell'area di cantiere è improntata a criteri di massima tutela del contesto monumentale e deve essere attuata attraverso procedure operative vincolanti, finalizzate a mitigare l'impatto delle lavorazioni in un'area caratterizzata da un'elevata frequentazione pubblica. La logistica di cantiere deve necessariamente ottimizzare il trasporto dei materiali per gli interventi di consolidamento, riducendo i tempi di sosta dei mezzi e garantendo la costante sicurezza delle zone circostanti. A tal fine, l'approvvigionamento dei materiali e l'allontanamento delle materie di risulta dalle demolizioni selettive devono essere coordinati mediante una programmazione oraria rigorosa, che concentri le operazioni di carico e scarico nei periodi di minima affluenza, rendendo tali attività sistematiche e non interferenti con la fruizione dell'Orto Botanico e delle Mura Urbane.

Le fasi operative devono essere eseguite in stretto coordinamento con i sistemi di puntellamento provvisorio già in essere, assicurando la stabilità del manufatto durante le delicate operazioni di smontaggio e ricostruzione della copertura. In questa fase, la protezione dei travicelli di gronda storici e decorati rappresenta un obbligo operativo prioritario; tali elementi devono essere preservati attraverso metodologie di segregazione e protezione fisica idonee a garantirne l'assoluta integrità per tutta la durata delle lavorazioni. L'isolamento fisico della Casermetta è affidato a un sistema di ponteggi professionale, che deve agire come barriera continua per prevenire la caduta o la proiezione di materiali verso le aree accessibili al pubblico.

La disciplina dei flussi all'interno del comparto prevede la delimitazione fisica e l'inaccessibilità a terzi di tutte le zone di manovra e di stoccaggio. Ogni movimentazione che preveda l'impiego della gru deve essere preceduta dalla messa in sicurezza dei percorsi pedonali limitrofi e presidiata da personale di terra incaricato di gestire i transiti. La gestione della mobilità di cantiere deve assicurare che la continuità operativa del restauro non pregiudichi mai i requisiti di sicurezza e accessibilità del sito. Tutte le procedure descritte, dalla mitigazione delle polveri alla gestione programmata dei mezzi, costituiscono parte integrante e obbligatoria del protocollo di esecuzione dell'opera, garantendo una restituzione del bene che sia coerente con il valore storico e paesaggistico del Baluardo San Regolo.

Inoltre, in sede di progettazione dell'intervento di rifacimento della copertura, si è proceduto alla definizione delle misure preventive e protettive atte a garantire l'accesso, il transito e l'esecuzione dei lavori in quota in condizioni di sicurezza, in piena ottemperanza al D.P.G.R. 18 dicembre 2013 n. 75/R (Regolamento di attuazione dell'articolo 141, comma 9, della L.R. 65/2014).

Coerentemente con il criterio della minima invasività e con la necessità di tutelare l'integrità architettonica del complesso monumentale, la soluzione progettuale prevede l'installazione di ganci sottotegola (dispositivi di ancoraggio puntuali di Tipo A conformi alla norma UNI EN 795). Tale scelta tecnica è dettata dalla volontà di evitare l'installazione di sistemi fissi maggiormente impattanti dal punto di vista visivo, quali linee vita o apprestamenti emergenti, che risulterebbero incompatibili.

I ganci sottotegola verranno posizionati secondo uno schema funzionale definito nell'ambito dell'Elaborato Tecnico della Copertura (ETC), garantendo la copertura totale delle falde e permettendo agli operatori di operare in sicurezza mediante l'aggancio dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) anticaduta. Questa configurazione assicura il pieno adempimento alle prescrizioni della Legge Regionale 75/R, garantendo la protezione contro le cadute dall'alto senza alterare il profilo estetico e filologico della struttura. Il sistema così predisposto risulta ottimale per le attività di manutenzione ordinaria e ispezione periodica, coniugando l'efficacia protettiva permanente con il massimo rispetto dei vincoli storico-artistici del bene.

4.12 Espropri

La tematica in oggetto non risulta pertinente, posto che l'interesse delle aree cantierabili e delle superfici interessate è di esclusiva pertinenza e disponibilità della Stazione Appaltante.

5 INTERVENTI SULL'ESISTENTE

5.1 Stato di consistenza

La conoscenza dello stato attuale della Casermetta San Regolo deriva dall'integrazione tra analisi documentale, inquadramento storico, rilievi geometrici, indagini materiche e verifiche strutturali. L'edificio si sviluppa su due livelli: un piano terra a pianta rettangolare e una porzione seminterrata parzialmente inserita sotto le Mura Urbane. Il sistema comprende passaggi e canali sotterranei collegati agli spazi della fortificazione.

Le murature sono costituite da tessiture miste di laterizio pieno e pietrame, con spessori significativi, variabili da circa 55 cm al piano terra a circa 95 cm al piano interrato, con riduzione a circa 30 cm sul fronte Mura. Le verifiche statiche globali delle murature risultano soddisfatte, ma permangono vulnerabilità locali connesse ai meccanismi di ribaltamento fuori piano e a carenze di ammassamento in alcune porzioni.

Il solaio del piano primo è formato da orditura lignea rinforzata con soletta collaborante in calcestruzzo armato; le analisi hanno evidenziato che tale orizzontamento non risulta completamente adeguato ai sovraccarichi previsti per l'attuale uso. La copertura presenta elementi lignei eterogenei, in parte di riutilizzo e in condizioni strutturali precarie, con puntellamenti provvisori agli appoggi delle capriate principali, fessurazioni localizzate delle murature e rinforzi metallici pregressi su alcune capriate ammalorate.

Sul piano funzionale, la Casermetta ospita biglietteria, servizi igienici, sala per convegni, aula didattica non permanentemente attrezzata, spazi per concessioni temporanee e un ufficio nel settore nord in uso all'associazione A.Di.P.A. L'accessibilità avviene dal portone ligneo storico posto sul lato delle Mura, con collegamento al livello inferiore mediante scale e ascensore di recente realizzazione, i cui lavori strutturali risultano depositati nel 2017.

Tra le problematiche pregresse è documentato l'evento del giugno 2014, quando una tromba d'aria causò la caduta di un albero sulla copertura, rendendo necessario un intervento di rifacimento parziale e consolidamento nel 2015. Le condizioni attuali della copertura e degli orizzontamenti hanno determinato la necessità di nuovi interventi strutturali.

5.2 Ricerche e metodologie di intervento

Il percorso conoscitivo che ha condotto alla definizione della strategia di restauro è stato supportato da un'ampia campagna di indagini multidisciplinari, volte a definire il modello geologico, idrogeologico, storico e strutturale del complesso. Le attività diagnostiche in situ hanno permesso di raggiungere un Livello di Conoscenza LC2, basato su rilievi geometrici eseguiti con strumentazione laser scanner e una serie di prove sperimentali mirate alla caratterizzazione materica e meccanica.

Le ricerche e le indagini svolte hanno interessato la conoscenza geometrica, materica, storica e strutturale della Casermetta. Il rilievo geometrico è stato eseguito mediante laser scanner, mentre le murature sono state indagate con prove endoscopiche e prove sclerometriche sulle malte. Gli elementi lignei sono stati caratterizzati tramite prove in situ, con riferimento alle prestazioni meccaniche delle essenze presenti.

La caratterizzazione delle strutture in elevazione ha previsto l'esecuzione di 13 saggi diretti per ispezioni visive e 9 indagini endoscopiche, che hanno rivelato paramenti murari misti composti da mattoni pieni in laterizio e pietrame di natura calcarea o arenacea, legati da malte di calce aerea. Le prove sclerometriche sulle malte hanno restituito valori di resistenza a compressione modesti, generalmente inferiori a 1.4 N/mm².

Un focus specifico è stato dedicato agli elementi strutturali lignei tramite l'impiego del penetrometro "Wood Pecker". Gli esiti delle **9 prove sclerometriche su legno** hanno permesso di classificare l'abete dei solai in classe **C24**, mentre le membrature in castagno della copertura hanno palesato prestazioni meccaniche severamente deficitarie, ampiamente inferiori alla classe minima **D18**. Tali carenze sono aggravate da un diffuso degrado da insetti xilofagi, confermato dal rilevamento di fori di sfarfallamento e indebolimento delle sezioni. Queste risultanze supportano tecnicamente la necessità di una **sostituzione integrale della copertura**, pur garantendo la salvaguardia della gronda storica

decorata, individuata come elemento tipologico identitario da preservare e inglobare nel nuovo sistema di cordoli sommitali

La metodologia di intervento si fonda sul mantenimento della riconoscibilità storica e tipologica del manufatto, intervenendo in modo mirato sulle componenti strutturalmente carenti. La gronda esistente, costituita da elementi lignei di dimensioni non standard e da un doppio ordine di travicelli sovrapposti e modanati, è individuata come elemento da conservare.

5.3 Descrizione dell'intervento da eseguire

L'intervento globale sulla Casermetta San Regolo è tecnicamente qualificato come manutenzione straordinaria, integrato da opere di consolidamento strutturale e miglioramento sismico. La strategia progettuale nasce dalla necessità di conseguire standard di sicurezza e comfort pienamente compatibili con l'uso pubblico intensivo dell'immobile, operando in un equilibrio costante tra l'esigenza di preservare il valore storico-architettonico della fabbrica e la volontà di potenziarne la funzione strategica all'interno del sistema integrato dell'Orto Botanico e delle Mura Urbane.

Sotto il profilo strutturale, le opere principali prevedono il rifacimento integrale della copertura, che sarà ricostituita mediante una nuova struttura lignea analoga all'esistente per geometria, pendenze e schema statico, ma realizzata con materiali a prestazioni meccaniche controllate. Tale operazione si rende necessaria per risolvere le gravi carenze diagnosticate sulle capriate in castagno originali. La specifica tecnica prevede la conservazione della gronda storica decorata — elemento di pregio da sostenere provvisoriamente durante le lavorazioni — che verrà successivamente rilegata e inglobata nel nuovo cordolo sommitale in calcestruzzo armato. Quest'ultimo agirà come elemento di regolarizzazione delle murature, migliorando l'ingranamento tra i paramenti lapidei irregolari e garantendo una connessione efficace tra le pareti e il nuovo sistema di copertura. Il consolidamento degli orizzontamenti è completato dal rinforzo del solaio intermedio tramite profili metallici di rompitratta, dalla posa di catene metalliche con capochiave per il contrasto delle spinte e dall'ammorsamento localizzato delle pareti prospicienti le Mura mediante barre incrociate inghisate.

In stretta sinergia con gli aspetti strutturali, il progetto architettonico ridefinisce la funzionalità interna della Casermetta. L'attenzione si focalizza sull'ottimizzazione degli spazi di accoglienza e sull'abbattimento delle barriere architettoniche, operando una riconfigurazione degli accessi ai servizi igienici che prevede l'installazione di sistemi scorrevoli a scomparsa per migliorare l'ergonomia dei vani.

La modernizzazione tecnologica dell'edificio si completa con un rinnovo mirato della componente impiantistica. Il sistema di climatizzazione esistente verrà sostituito da una nuova dotazione di terminali ad espansione posizionati strategicamente all'interno di carter lignei di protezione che ne garantiscono la completa integrazione estetica. Parallelamente, l'apparato illuminotecnico sarà totalmente rinnovato attraverso l'installazione di binari elettrificati sospesi a LED, capaci di coniugare un'illuminazione d'accento valorizzante per le strutture storiche con la versatilità necessaria per le attività didattiche e convegnistiche.

La sicurezza antincendio rappresenta un ulteriore pilastro dell'intervento: tutte le strutture lignee, nuove ed esistenti, saranno sottoposte a trattamenti con vernici trasparenti intumescenti trasparenti, garantendo il raggiungimento dei requisiti di resistenza al fuoco prescritti per le attività museali e uffici, pur mantenendo inalterata la percezione materica naturale degli elementi.

L'impatto sull'esercizio, inizialmente rilevante a causa dell'attuale stato di evacuazione preventiva dell'immobile, sarà gestito attraverso una cantierizzazione rigorosa. Le fasi esecutive saranno organizzate per garantire la totale separazione delle lavorazioni dai percorsi pubblici, assicurando la tutela dei visitatori e la salvaguardia degli esemplari botanici monumentali limitrofi. Al termine del processo, la Casermetta sarà restituita alla collettività come un organismo edilizio tecnologicamente avanzato e strutturalmente solido, pronto a svolgere stabilmente le sue funzioni istituzionali di biglietteria, accoglienza, didattica e supporto museale all'interno del prestigioso contesto dell'Orto Botanico di Lucca.