

# MINISTERO DELLA CULTURA

**DIREZIONE REGIONALE MUSEI EMILIA-ROMAGNA**  
**Sede Bologna**

Via Belle Arti n.58 - 40126 Bologna (BO)

## **Fortezza rinascimentale di San Leo - Rimini**

**Verifica del rischio sismico e riduzione della vulnerabilità, restauro**  
***Fase C - Progetto esecutivo***

Programma di finanziamento di cui all' art.1 comma 140 della Legge 11 Dicembre 2016, n. 232.

Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2017  
e bilancio pluriennale per il triennio 2017-2019

Responsabile Unico del Procedimento: Dott.ssa Elena Rossoni  
Gruppo di Progettazione RTP:

Ing. Giovanni Cangì (mandatario)  
Via della Quercia,3/D - 06012 Città di Castello (PG)

Arch. Linda Pettinelli (mandante)  
Ing. Luca Fontanelli (mandante)  
Ing. Alessandro Petrani (mandante)  
Geologo Dott. Alessandro Ricciardi (mandante)  
Ing. Camillo Antonucci (mandante e giovane professionista)

CUP: F22F21000530001 - CIG: 9043945383

Il mandatario:  
Ing. Giovanni Cangì

RELAZIONI

### **1. RELAZIONI**

***RELAZIONE GENERALE SUGLI INTERVENTI***

**1.1**



## Sommario

- 1) *Premessa*
- 2) *Natura e idoneità degli interventi*
- 3) *Criteri generali*
- 4) *Interventi specifici*
  - A) *Strutture del mastio:*
    - a) *Ala settentrionale*
    - b) *Corpo centrale*
    - c) *Ala meridionale*
  - B) *Bastione settentrionale*
  - C) *Bastione meridionale*



1) Premessa

La presente relazione tratta aspetti inerenti all'incarico per la *“Valutazione della verifica della vulnerabilità sismica al Livello LV-2 e LV-3 e della progettazione definitiva ed esecutiva strutturale ed architettonica compreso il Coordinamento per la Sicurezza in fase di progettazione, la redazione della relazione geologica con opzione di affidamento del coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione nonché della direzione lavori a seguito dell'approvazione del progetto esecutivo”*, in ordine all'intervento di *“Verifica del rischio sismico e riduzione della vulnerabilità, restauro”* della Fortezza Rinascimentale di San Leo (RN), conferito dal MIC - Direzione Regionale Musei dell'Emilia Romagna, in base al Programma di finanziamento di cui all' art.1 comma 140 della Legge 11 Dicembre 2016, n. 232 - Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2017 e bilancio pluriennale per il triennio 2017-2019.

Codice Unico Progetto (CUP) F22F21000530001

Codice Identificativo Gara (CIG) 9043945383

Gli elaborati sono stati predisposti dal raggruppamento di professionisti incaricato dalla DRM a conclusione di una accurata campagna di indagini supportata da un rilievo critico generale e di dettaglio dell'intero complesso.

Il raggruppamento che ha operato è così costituito:

mandatario:

Ing. Giovanni CANGI, nato a Città di Castello (PG) il 23 novembre 1959, ivi residente in Via G. Pascoli n°3, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Perugia con il n° A842, codice fiscale CNGGNN59S23C745V, partita IVA 01540030549, che agisce quale capogruppo mandatario del Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (RTP), costituito dai seguenti mandanti:

1) Arch. Linda Pettinelli, nata a Città di Castello (PG) il 4 dicembre 1982, ivi residente in Via dei Conti n°2, iscritta all'Ordine degli Architetti della provincia di Perugia con il n° 1335, codice fiscale PTTLND82T44C745Y, partita IVA 03210000547;

2) Ing. Luca Fontanelli, nato a Città di Castello (PG) il 21 agosto 1982, ivi residente in località Titta, Via della Concordia n° 30, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Perugia con il n° A3350, codice fiscale FNTLCU82M21C745X, partita IVA 03247070547;

3) Ing. Alessandro Petrani, nato a Città di Castello (PG) il giorno 11 gennaio 1978, ivi residente in Via Montecassino n°31, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Perugia con il n° A2783, codice fiscale PTRLSN78A11C745Z, partita IVA 02926220548;

4) Dott. Alessandro Ricciardi (Geologo), nato a Mercatello sul Metauro il 3 luglio 1971, residente a Città di Castello, località Candeggio, vocabolo Casale n. 19, codice fiscale: RCC LSN 71L03 F135X, Partita IVA: 03192190548;

5) Ing. Camillo Antonucci, nato a Umbertide (PG) il 3 agosto 1982, residente a Città di Castello, Viale Umbria n°32, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Perugia con il n° A4037, codice fiscale NTNCLL82M03D786J, partita IVA 03423700545;

Il raggruppamento si è formalmente costituito con Atto del Notaio Citti Massimiliano in Città di Castello (PG), registrato a Perugia il giorno 16 settembre 2022 al numero 21584 serie 1T, a seguito della

aggiudicazione definitiva dei servizi tecnici di cui sopra, avvenuta con Decreto Dirigenziale n. 36 DRM-ERO del 04.08.2022, a firma del Direttore generale Arch. Giorgio Cozzolino.

Assieme all'atto di costituzione il Raggruppamento, tramite il capogruppo mandatario ing. Giovanni Cangini, ha provveduto alla stipula di polizza fidejussoria ai sensi dell'art. 103, comma 1, del D.LGS. 50/2016 a copertura del buon esito dei servizi tecnici imputati.

La polizza è stata emessa in data 05/09/2022 dalla Società HDI Assicurazioni al n. 1329423893.

Nello specifico l'affidamento del servizio prevedeva tre fasi così suddivise:

- **Fase A:** Valutazione della Verifica di Vulnerabilità al Livello LV-2 e LV-3
  - Sottofase 1: Conoscenza del Fabbricato e piano delle indagini strutturali sullo stesso;
  - Sottofase 2: Modellazione Strutturale e Verifiche di Vulnerabilità;
  - Sottofase 3: Proposte di Intervento Strutturale, valutazione economica degli interventi proposti, attribuzione della classe di rischio sismico del Bene a seguito dell'ipotesi dell'intervento.

Fase che nello specifico ha riguardato:

- a) Il rilievo critico geometrico-strutturale con restituzione grafica in una serie di elaborati costituiti da piante, prospetti e sezioni con indicazione delle caratteristiche materiche-dimensionali e dello stato di dissesto attraverso la restituzione del quadro fessurativo delle pareti e orizzontamenti;
- b) La Verifica di Vulnerabilità Sismica (VVS) e proposte di intervento per il miglioramento sismico, attraverso:
  - *la raccolta e analisi della documentazione esistente e definizione della storia progettuale, costruttiva e sismica dell'edificio;*
  - *la redazione del "Piano di Indagini";*
  - *l'esecuzione delle prove in base al PdI approvato;*
  - *l'analisi strutturale e verifica di vulnerabilità sismica mediante modellazione strutturale;*
  - *la definizione di scenari di intervento per il miglioramento strutturale,*

conclusasi con la redazione dei seguenti elaborati:

- Relazione illustrativa generale sulle verifiche di vulnerabilità sismica, comprensiva della ricostruzione delle vicende storiche e ricostruzione delle fasi evolutive, dei caratteri costruttivi, analisi dello stato di dissesto e criticità strutturali;
- Relazione sul Piano delle Indagini e documento di sintesi con Report delle prove effettuate e della documentazione d'archivio;
- Rapporti di prova e Relazione geologica;
- Elaborati di rilievo suddivisi in tavole grafiche comprensive di Pianta, Prospetti, Sezioni e dettagli costruttivi;
- Relazione sulla Modellazione Strutturale e sulla Verifica di vulnerabilità sismica con relativi allegati;
- Relazione sulle proposte di Intervento strutturale, valutazione economica e classe di rischio sismico conseguibile in seguito agli interventi.
- **Fase B:** Redazione del progetto definitivo, sulla base dei confronti e degli accordi intercorsi con la S.A. e con l'Ufficio di Soprintendenza di Ravenna, anche attraverso sopralluoghi in situ;
- **Fase C:** Redazione del progetto esecutivo e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione.

Il presente elaborato fa capo alla **Fase C**, Redazione del progetto esecutivo e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e viene redatto a seguito dell'ottenimento delle autorizzazioni da parte della Stazione Appaltante e della SABAP di Ravenna competente per territorio.

Considerato quanto premesso, la presente relazione si riferisce all'elaborazione del progetto esecutivo delle opere ritenute prioritarie ai fini della sicurezza per quanto attiene l'adeguamento statico e il miglioramento sismico attraverso interventi locali, ma con una visione globale delle problematiche strutturali.

Si ribadisce che nell'elaborazione del progetto si è tenuto conto, per quanto possibile, del tema relativo al superamento delle barriere architettoniche, che è stato oggetto di attenzione in tutti gli incontri avvenuti con la Committenza in relazione alla destinazione d'uso dell'edificio. Aspetti funzionali valutati in termini di compatibilità fra gli interventi strutturali previsti e le possibili soluzioni necessarie per garantire l'accessibilità a persone con limitate o impedito capacità motorie.

Il progetto comprende tutti gli elaborati necessari per procedere all'appalto dei lavori in base al nuovo Codice dei contratti pubblici di cui al D. Lgs. N. 36 del 31 marzo 2023.

## 2) Natura e idoneità degli interventi

Ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018 e relativa Circolare esplicativa n.7/2019, le opere previste ricadono nella casistica di *riparazione o intervento locale* in quanto riguardano singole parti e/o elementi della struttura che non andranno a cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e volte a conseguire le seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente, le caratteristiche iniziali di elementi o delle parti danneggiate o deteriorate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare singoli elementi o porzioni limitate della struttura.

Trattandosi di bene monumentale sottoposto a vincolo di tutela si terrà conto anche della D.P.C.M. sulla *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008 - supplemento ordinario n. 54 alla G.U. Serie generale - n. 47 del 26.2.2011 (Percorso di conoscenza per la valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli interventi di miglioramento per le costruzioni in muratura che rientrano nel patrimonio architettonico tutelato)*.

I caratteri costruttivi del complesso monumentale indirizzano pertanto verso un intervento di tipo conservativo che non ne comprometta l'autenticità.

L'insieme degli interventi proposti tiene conto dei risultati delle indagini svolte, dell'articolazione del complesso edilizio e delle problematiche strutturali evidenziate, in base alle quali si sono prospettati diversi scenari valutati dalla Committenza in base alle risorse disponibili e al programma generale di intervento elaborato.

Il progetto esecutivo è stato redatto tenendo conto anche degli interventi già programmati relativi all'adeguamento impiantistico e della prevenzione incendi.

Gli interventi sono compatibili con i caratteri costruttivi originali dell'edificio per materiali e tecniche impiegate, e incidono sulla configurazione strutturale senza modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale.

La strada seguita è quella indicata dalle carenze strutturali rilevate e dallo stato di dissesto osservato e consiste in una serie di opere suddivise secondo le categorie indicate di seguito, estrapolate dal progetto definitivo, consistenti in:

- a) interventi volti a ripristinare la continuità della struttura muraria ed incrementare la resistenza dei setti tramite:
- *opere di scuci-cuci su tutte le pareti e volte lesionate;*
  - *chiusura o riduzione di nicchie e vecchie aperture a tutto spessore a vari livelli;*
  - *rinforzo di piattabande mediante scuci-cuci e ripristino dell'azione di contrasto;*
  - *chiusura a tutto spessore di canne fumarie e cavedi in parete non più utilizzabili;*
  - *iniezioni diffuse di malta di calce idraulica nelle murature di pietrame, in particolare nei tratti di maggiore disgregazione e nei punti di contrasto delle chiavi di trattenuta dei tiranti;*
  - *iniezioni di malta di calce diffuse e localizzate in corrispondenza delle chiavi di trattenuta dei tiranti;*
  - *realizzazione di telai trasversali di irrigidimento a livello del sottotetto;*
  - *ispessimento murario al piano sottotetto del mastio lato nord;*
- b) interventi volti a ridurre le carenze di collegamenti verticali e orizzontali, mediante:
- *inserimento di tiranti nella struttura del Mastio al P.2 dell'ala meridionale a cavallo dei muri trasversali;*
  - *inserimento di tiranti nella struttura del Mastio al P.2 dell'ala settentrionale (sala d'armi);*
  - *disposizione travi rompitratta in copertura nella struttura del Mastio (ambienti lato meridionale) impostate su trave di collegamento dei timpani murari;*
  - *rinforzo di arcarecci mediante applicazione di travi ascellari;*
  - *disposizione di incavallature rompitratta a sostegno degli arcarecci della copertura;*
  - *sostituzione dell'orditura lignea minuta di travicelli ove danneggiata;*
- c) interventi volti a ridurre le azioni trasmesse dagli elementi spingenti:
- *rinforzo capriate lignee di copertura mediante riconfigurazione con protesi in legno e acciaio;*
  - *rinforzo dei nodi e unioni delle capriate attraverso piastrame di acciaio;*
- d) Opere connesse agli interventi strutturali

Non sono previste opere in fondazione in quanto la struttura non manifesta dissesti o criticità riconducibili a problemi di portanza del terreno.

Fra gli interventi prioritari assume particolare rilevanza il miglioramento delle connessioni orizzontali e verticali, a conferma del fatto che il miglioramento sismico si consegue agendo soprattutto sulla configurazione dei vincoli piuttosto che sulla qualità dei materiali, sebbene importante.

In relazione al tipo di analisi strutturale per parti, perfettamente applicabile all'edificio in esame che si caratterizza per non manifestare un chiaro comportamento d'insieme, anche gli interventi sono stati concepiti per risolvere problematiche locali, ma con una visione estesa all'intero edificio, che tiene conto delle interazioni fra i singoli elementi con il resto della fabbrica.

Nell'elaborazione del progetto definitivo e quindi del progetto esecutivo, ci si è posti i seguenti obiettivi:

- Riconoscibilità dell'intervento
- Innovazione delle soluzioni architettoniche, anche in termini di materiali e finiture;
- Fattibilità tecnico-economica in relazione alle risorse disponibili, secondo il criterio del minimo intervento utile;
- Impiego di materiali riciclati anche ai fini della riduzione dei trasporti;
- Minima manutenibilità, curabilità delle strutture.

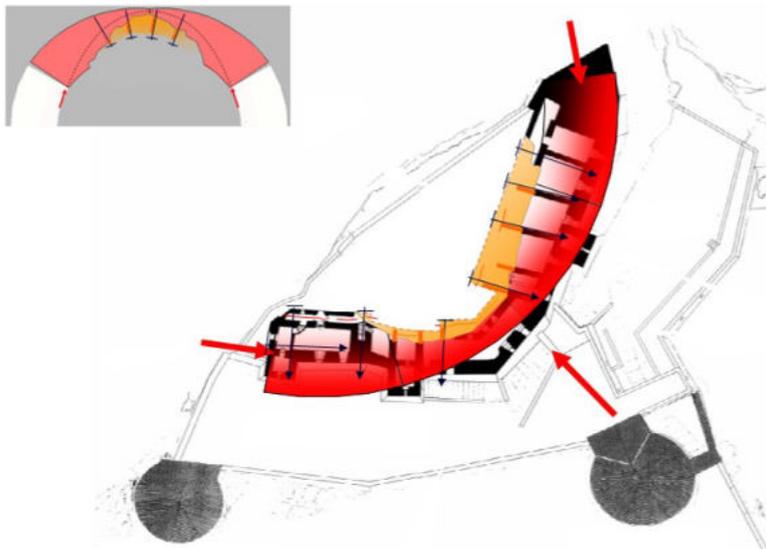
### 3) Criteri generali

A tal fine si è preso spunto dal modello strutturale basato sull'analogia dell'arco illustrato nella relazione generale, come chiave di lettura dei dissesti e dei meccanismi resistenti, per stabilire il criterio guida dell'intervento strutturale.

Il quadro d'insieme degli interventi si suddivide in tre punti fondamentali:

- 1) il potenziamento del meccanismo globale ad arco planimetrico, per ricostituire quell' "effetto diga" descritto nella relazione generale allegata alla verifica di vulnerabilità sismica, che si traduce nella ricomposizione di porzioni di strutture dissestate, di setti murari e di archi e volte, per ridare continuità ed efficacia ad un meccanismo che si affida alla resistenza a compressione delle murature esistenti;
- 2) il contenimento delle strutture e pareti situate sul lato a valle mediante ripristino di elementi di contrasto, quali speroni e rinforzo di setti murari disposti secondo la direzione radiale rispetto alla configurazione degli archi planimetrici. Questo intervento, integrativo al primo, è applicabile in corrispondenza dei muri di spina, per ricostituire una riconfigurazione più adatta ad assorbire le azioni complanari e a stabilizzare le pareti soggette a ribaltamento;
- 3) la trattenuta di pareti e cantonali di corpi a valle che si collocano in posizione avanzata (intradosso dell'arco planimetrico), per i quali non è possibile agire per contrasto, ma solo per trattenuta, con sistemi passivi proporzionati agli obiettivi di sicurezza e durabilità, affidandosi pertanto ad elementi resistenti a trazione di minima invasività, quali sono i tiranti, utili anche a contenere i movimenti fuori del piano del fronte convesso (lato ingresso).

Lo schema grafico seguente riassume le modalità d'intervento sopra descritte.



Criteri generali di intervento:

L'analogia dell'arco permette di definire dei criteri d'intervento riconducibili, nel principio, a quelli utilizzati per il rinforzo e consolidamento degli archi in muratura, ovvero:

- 1) ripristino del meccanismo resistente spontaneo dell'arco planimetrico;
- 2) contenimento delle strutture e pareti a valle mediante rinforzo degli elementi di contrasto (muri di spina) e riduzione delle spinte;
- 3) trattenuta di fronti e cantonali all'intradosso dell'arco dove non è possibile agire per contrasto.

Il rinforzo passa pertanto attraverso il potenziamento del meccanismo spontaneo dell'arco, che garantisce la trasmissione degli sforzi attraverso le pareti che disegnano delle ideali curve delle pressioni che attraversano l'intero corpo di fabbrica del mastio.

Per questo motivo le discontinuità presenti costituiscono delle criticità, compensate in parte dagli orizzontamenti, quando di rigidità adeguata, come le volte di pietra o laterizio, mentre si rivelano meno efficaci quando costituiti da diaframmi deformabili.

Le criticità principali si individuano nei muri disallineati posti all'intradosso dell'arco resistente, maggiormente esposti al rischio di ribaltamento. Queste sono le parti su cui è stata rivolta maggiore attenzione.

A questi si aggiungono gli interventi di adeguamento statico che riguardano i singoli corpi di fabbrica, come pure gli interventi diffusi di scuci-cuci, iniezioni di malta e le orditure lignee degli orizzontamenti di piano e di copertura.

4) *Interventi specifici:*

Il progetto esecutivo riguarda parte degli interventi di adeguamento statico e miglioramento sismico previsti nel progetto definitivo, individuati in base alle priorità e alle risorse economiche disponibili in questa fase. Per un quadro generale degli interventi si rimanda quindi alla documentazione relativa alla verifica di vulnerabilità sismica e al progetto definitivo consegnata alla Stazione Appaltante, che costituisce parte integrante e punto di riferimento per l'elaborazione del presente progetto.

Nello specifico gli interventi oggetto di appalto riguardano:

A) *Strutture del mastio:*

Procedendo per ordine si descrivono gli interventi previsti sulla struttura del mastio, suddivisa in tre parti, come descritti nella relazione illustrativa generale, considerando le problematiche specifiche in riferimento al modello costitutivo a tre "conci" ideali di cui si compone il modello dell'arco equivalente.

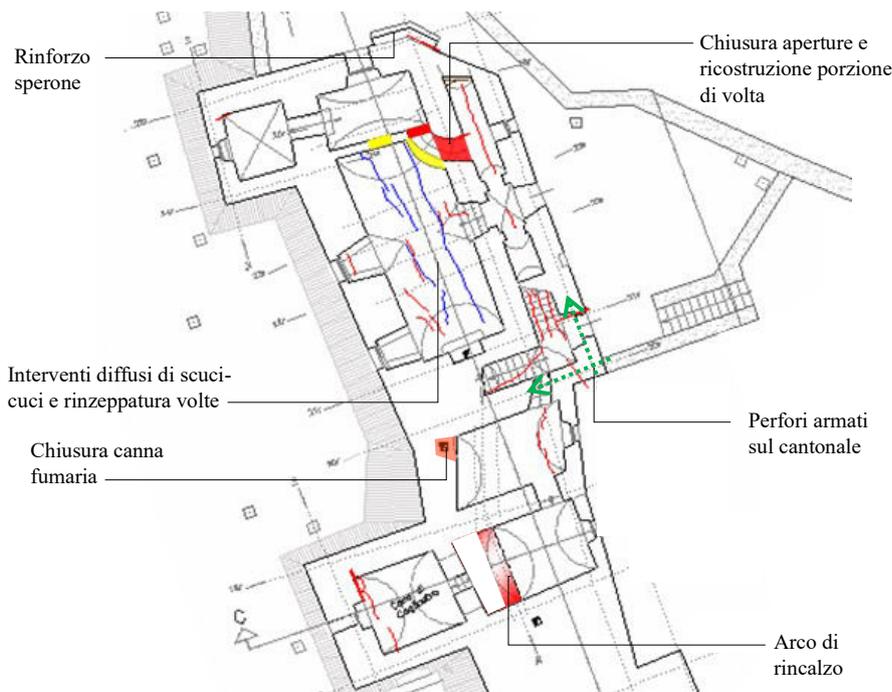
a) *Ala settentrionale*

- *Piano terra*

L'ala settentrionale richiede in primis un intervento di riconfigurazione delle sale al P.T rialzato, dove a causa dei crolli avvenuti sul lato settentrionale sono stati ricavati dei passaggi secondari funzionali alla distribuzione delle celle, con demolizione di muratura, realizzazione di nuove aperture e forte indebolimento della struttura muraria.

Si andrà pertanto a ripristinare la continuità del muro maestro e a riaprire una vecchia porta centrale tamponata; operazione che permetterà di ricostruire anche una porzione di volta a botte che era stata tagliata per creare il passaggio laterale verso la cella.

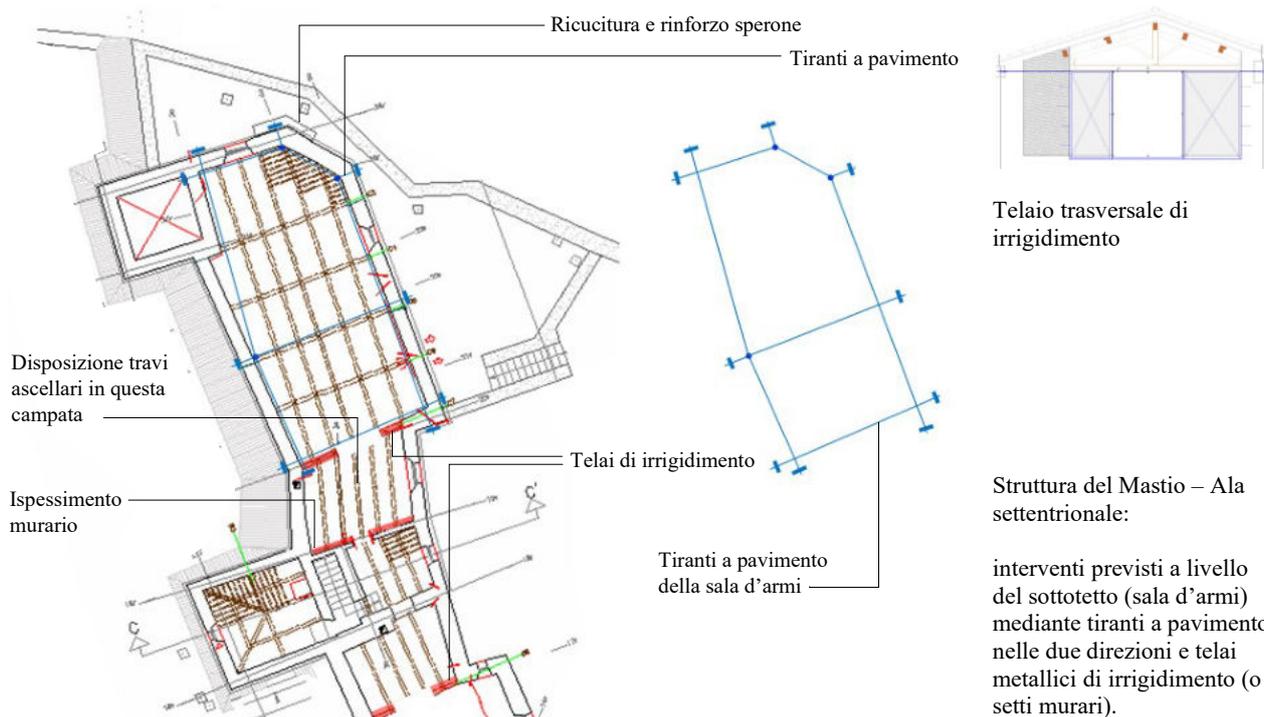
Allo stesso livello, di fronte alla cosiddetta cella Cagliostro, verrà realizzato un arco di ricalzo a sostegno del muro in falso che sostiene la scala di collegamento con il P.1°; esiste lo spazio per inserire il sottarco nel modulo della volta rialzata che ricalca il vano scala; il tutto in riferimento allo schema seguente e agli elaborati grafici allegati.



Struttura del Mastio, Ala settentrionale: interventi previsti a livello del piano terra mediante cuci-scuci e ripristino della configurazione originaria e realizzazione sottarco di rinforzo della scala.

### - Piano secondo e copertura

Nel sottotetto, in corrispondenza della Sala d'Armi, andranno inseriti dei tiranti a livello del pavimento, secondo una geometria più articolata che punta a creare una "cerchiatura interna", utile a contrastare il ribaltamento del fronte orientale e per trattenere la parete di testata a ridosso della scarpata. Sullo stesso lato si andrà a rinforzare lo sperone murario che si presenta distaccato a tratti dalla parete e quindi poco efficace. Nel sottotetto, a causa della evidente carenza di pareti di controvento trasversali, si andrà ad ispessire il muro in corrispondenza dell'ingresso della Sala d'Armi (attualmente di una testa di mattone) e a rinforzare la parete trasversale 20r. L'intervento, di tipo conservativo e reversibile, consiste nella realizzazione di un telaio di rinforzo in acciaio e legno di cui si forniscono le caratteristiche e i dettagli negli elaborati grafici allegati.



Telaio trasversale di irrigidimento

Struttura del Mastio – Ala settentrionale:

interventi previsti a livello del sottotetto (sala d'armi) mediante tiranti a pavimento nelle due direzioni e telai metallici di irrigidimento (o setti murari).

Su questa ala del fabbricato sono emerse delle criticità che derivano anche dal sottodimensionamento delle orditure lignee di copertura, che denunciano limiti evidenti nei confronti del carico neve, stimato localmente in circa 200 daN/mq; problema diffuso che riguarda anche gli altri tetti del fabbricato.

Si interverrà sugli arcarecci dell'unica campata dove risultano non verificati, attraverso la disposizione di travi ascellari in legno.

### b) Corpo centrale

La struttura centrale del mastio, confinata fra l'ala settentrionale e quella meridionale, presenta gli stessi problemi in copertura, oltre all'assenza di muri di irrigidimento trasversali.

Le verifiche sismiche locali e la verifica globale, per quanto significativa, confermano questo problema, che riguarda soprattutto il piano terra, costituito dall'ampio locale del book-shop. In questa struttura a suo tempo sono stati eliminati alcuni muri trasversali che assicuravano una importante funzione stabilizzante.

Il quadro fessurativo del soffitto voltato disegna una linea di strappo che è da mettere in relazione a queste carenze, cui si aggiunge l'azione spingente esercitata dai muri in falso delle celle sovrastanti.

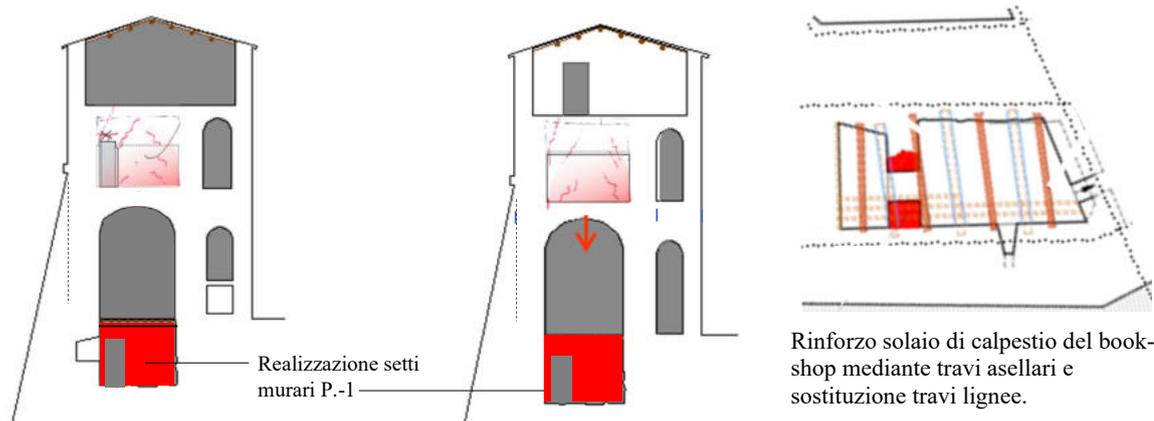
Ciò premesso le opere di rinforzo si dovranno articolare in modo diverso ai vari livelli.

In questa fase l'intervento sarà limitato al Piano interrato e al sottotetto, in linea con quanto previsto sull'ala nord, funzionale agli interventi da eseguire a seguito di ulteriori finanziamenti al P.T. e P.1°, quando si potranno realizzare gli archi di ricalzo e altre opere previste nel progetto generale.

- *Livello interrato*

La realizzazione degli archi di ricalzo richiede un intervento preliminare a livello del piano seminterrato, dove è necessario ricostruire porzioni di pareti dissestate su cui impostare le nuove spallette. In ogni caso il solaio del book-shop è attualmente puntellato e le murature sottostanti in condizioni precarie e tali da richiedere un opportuno provvedimento mediante integrazione e sostituzione delle travature lignee.

I setti al piano interrato assumono anche la funzione di contrafforti interni, a prescindere dal successivo potenziamento del meccanismo resistente.



Ricostruzione pareti 12r e 13r per rinforzo del basamento e in previsione del potenziamento dei meccanismi complanari in direzione trasversale sulla proiezione delle pareti in falso. I nuovi setti a livello interrato, oltre a sostenere il precario solaio in legno, funzionano come contrafforti interni contro le azioni trasversali.

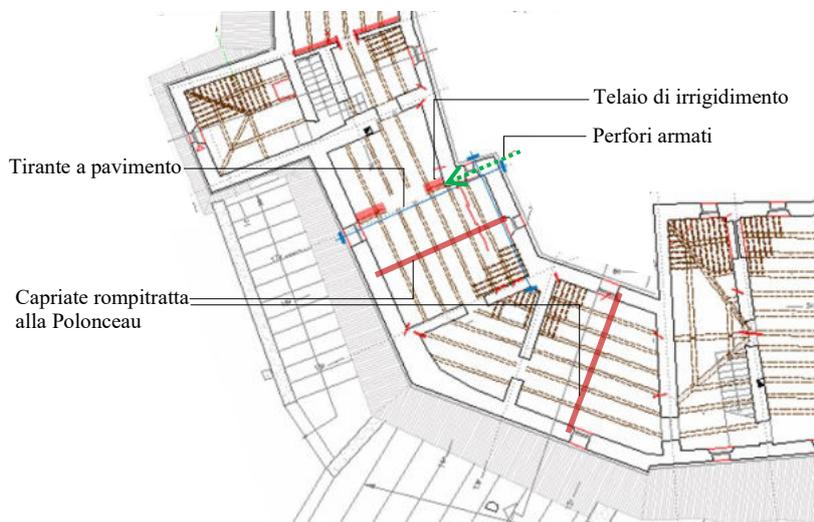
- *Piano secondo e copertura*

In copertura il problema della portanza degli arcarecci, simile a quello dell'ala settentrionale, si risolve attraverso la disposizione di incavallature rompitratta in legno e acciaio alla Polonceau, secondo lo schema riportato di seguito.

Per contenere le sezioni entro dimensioni ragionevoli, sia per motivi estetici, sia per esigenze di cantiere e di trasporto dei materiali, si prevede l'impiego di sezioni composte in legno e acciaio, realizzate con profilato UPN affiancati ed elementi lignei applicati di lato e uniti trasversalmente.

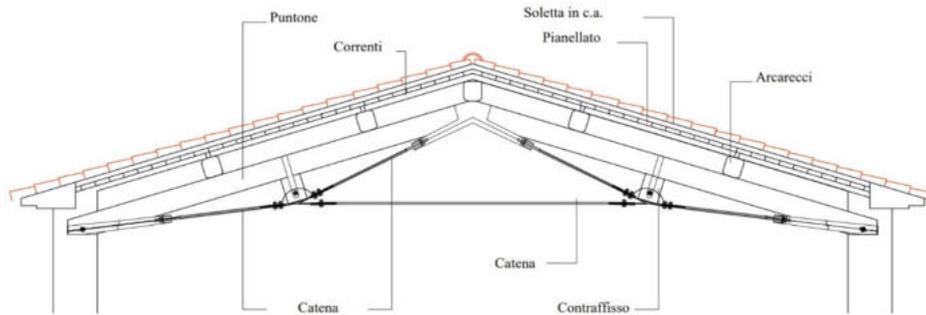
Come per l'ala settentrionale si ricorrerà alla disposizione di un telaio di irrigidimento trasversale nell'allineamento 17r sotto la capriata esistente, come rappresentato nell'elaborato grafico allegato.

Infine la realizzazione di alcuni perfori armati per il rinforzo del cantonale (17r- 5c) costituisce un altro provvedimento efficace per rinforzare uno dei punti più compromessi della struttura muraria.



Struttura del mastio, Corpo centrale:

interventi previsti a livello del sottotetto mediante disposizione di tiranti e telaio metallico di irrigidimento trasversale oltre a opere di scuci-cuci.

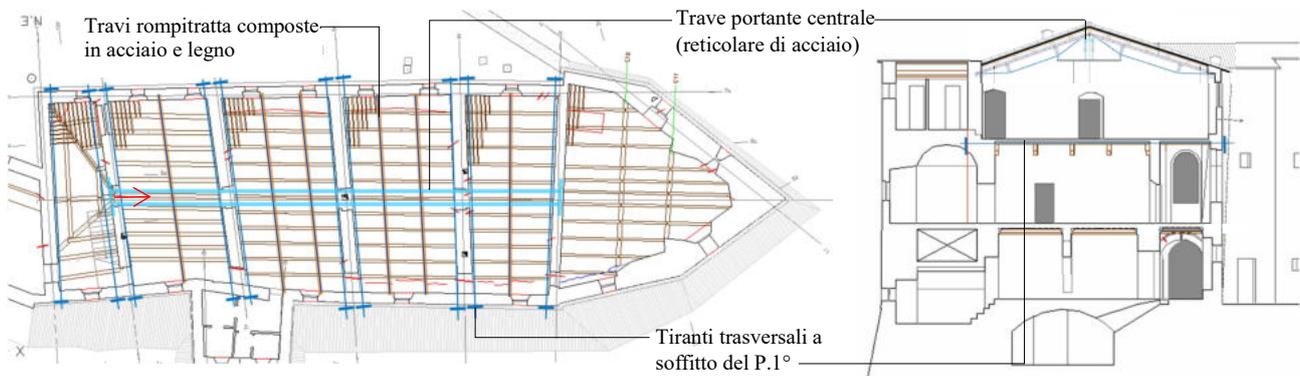


Configurazione tipo delle capriate rompitratta in legno e acciaio

c) *Ala meridionale*

L'ala meridionale si distingue dalle altre parti della struttura per forma e dimensioni. Nel complesso presenta una migliore configurazione in relazione alla geometria piuttosto che delle maglie murarie e per la presenza di muri di controvento trasversali.

I punti deboli sono individuabili sul lato a monte e riguardano la facciata (parete 7c) e il cantonale nord-est (11r-7c), come confermano le verifiche sismiche locali e l'analisi dello stato deformativo oltre agli interventi di consolidamento eseguiti in passato.



Struttura del mastio - corpo meridionale:

- a) disposizione tiranti di trattenuta trasversali a soffitto del 2° livello;
- b) inserimento elementi rompitratta in acciaio e legno con contraffissi appoggiati su una trave reticolare centrale collocata a livello dei timpani murari (elemento che assume anche la funzione di tirante mediano longitudinale e di trattenuta dei puntoni del tetto a padiglione presente verso il corpo centrale).

In copertura le verifiche effettuate non lasciano molti dubbi sulla scarsa consistenza degli arcarecci, che già a vista si presentano piuttosto deformati.

Il provvedimento adottato consiste nella disposizione di travi rompitratta, singole o doppie, in funzione della luce degli ambienti, da realizzare mediante travi composte in acciaio e legno, con tiranti e contraffissi, appoggiate sulle pareti laterali e su una robusta trave centrale, pure questa di struttura reticolare in acciaio, da collocare in corrispondenza del colmo.

L'intervento è compatibile con la notevole altezza degli ambienti e permette di ridare equilibrio al volume interno attraverso la disposizione di grigliati che fungono da controsoffitto centrale; elementi che andranno a mascherare in parte il telaio portante, con la possibilità di essere sfruttati come finiture e per la collocazione degli impianti.

Contro i meccanismi di ribaltamento si andranno ad inserire dei tiranti trasversali accoppiati ai lati delle pareti a livello dei soffitti del P.1° e altri al P.T. trasversali al corridoio di distribuzione, con funzione di contenimento delle spinte contro la parete a monte.

B) Bastione settentrionale

La particolare configurazione dei bastioni che si riflette sull'assetto strutturale complessivo dei corpi di fabbrica, spinge verso soluzioni altrettanto originali e adatte alle specifiche problematiche rilevate.

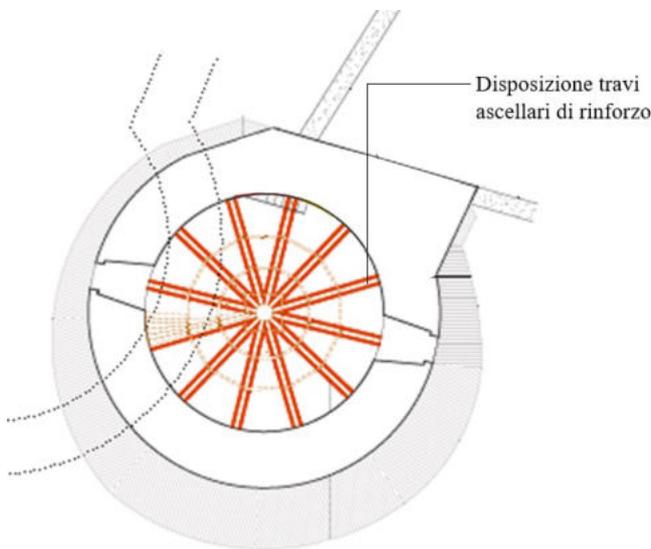
I due bastioni sono simili in apparenza, ma in realtà molto diversi nella forma e nelle dimensioni e, come noto, anche nell'epoca di costruzione.

Per il bastione settentrionale al momento il problema principale deriva dalle carenze di natura statica evidenziate, che riguardano il solaio di calpestio e la copertura in legno.

Il primo è risolvibile attraverso la disposizione di travi ascellari per il rinforzo dell'orditura maestra del solaio in legno costituita da travi radiali impostate nel robusto pilastro centrale.

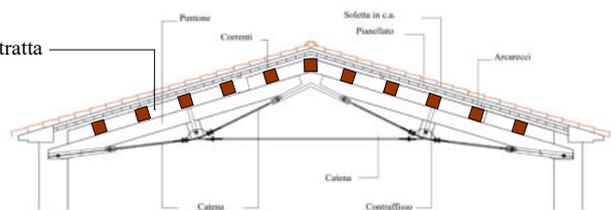
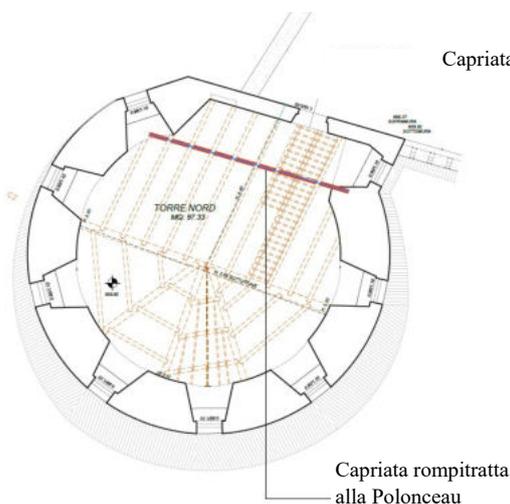
L'intervento richiede anche il rinforzo del pilastro in muratura, che a tratti si presenta disgregato e danneggiato, per cui si dovrà ripristinare in più punti la sezione resistente attraverso opere ordinarie di scuci-cuci, avendo cura di rispettare l'apparecchio murario originario e gli spessori dei filari.

Le travi ascellari in legno saranno affiancate a quelle esistenti, incassate a muro lungo il perimetro dell'ambiente e appoggiate in un collare posto alla sommità del pilastro per evitare scassi e indebolimenti della muratura su cui si impostano le travi esistenti.



Schema per la disposizione di travi ascellari di rinforzo del solaio in legno di calpestio del bastione nord.

Seguiranno quindi gli interventi di adeguamento statico in copertura per il rinforzo delle orditure linee secondarie, mediante l'inserimento di una incavallatura rompitratta alla Polonceau, dello stesso tipo previsto per le coperture del mastio, come già descritte in precedenza, costituite da elementi composti in acciaio e legno.



Schema d'intervento sulla copertura del bastione settentrionale mediante inserimento di capriata in acciaio e legno alla Polonceau con funzione di rompitratta a sostegno degli arcarecci delle falde orientali.

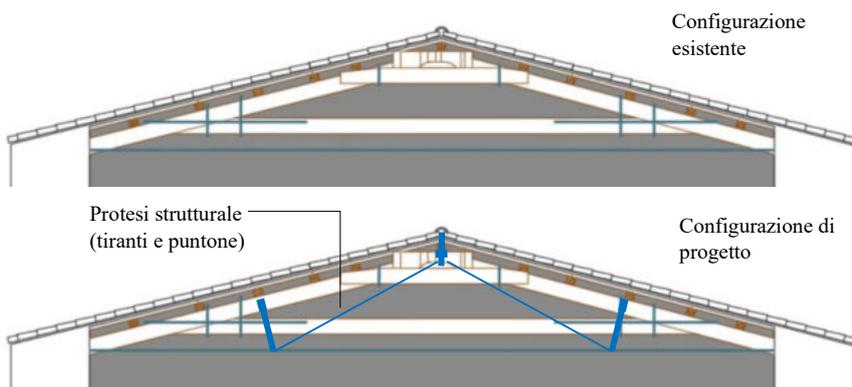
C) Bastione meridionale

Il bastione meridionale presenta maggiori dimensioni rispetto a quello settentrionale, con un basamento alquanto stabile, ma con alcuni problemi rilevati nella struttura di copertura.

Nella relazione di calcolo sono riportati i risultati delle verifiche statiche dei puntoni e della capriata centrale che sostiene l'intera copertura, sottoposta a sollecitazioni gravose sotto il massimo carico neve.

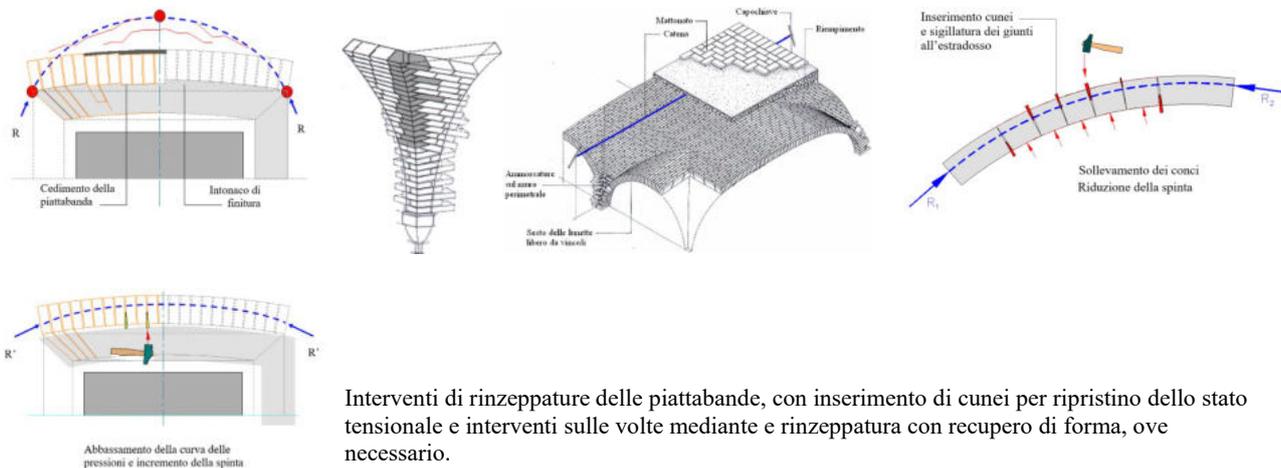
Su questa struttura si interviene con l'inserimento di protesi metalliche atte a trasformare lo schema statico secondo il modello della capriata alla Polonceau, da intendere come presidio di sicurezza in grado di compensare i limiti di funzionamento della struttura esistente.

Lo schema riprodotto di seguito è indicativo del criterio adottato per trasformare la semplice incavallatura con catena metallica in una struttura reticolare che sfrutta gli elementi esistenti integrati con altri atti a formare il reticolo resistente.



Schema indicativo del dispositivo di rinforzo dell'incavallatura mediante protesi metallica atta a trasformare lo schema statico secondo la configurazione alla Polonceau per il rinforzo dei puntoni.

Oltre quanto descritto per i singoli corpi di fabbrica e le porzioni strutturali il progetto prevede una serie di interventi locali su singoli elementi strutturali che serviranno comunque a migliorare la risposta d'insieme. Interventi che vanno dal risanamento di volte, archi, architravi e piattabande ed altri elementi strutturali dissestati attraverso opere minimali ma significative.



Interventi di rinzeppature delle piattabande, con inserimento di cunei per ripristino dello stato tensionale e interventi sulle volte mediante e rinzeppatura con recupero di forma, ove necessario.

Per concludere si specifica che nell'esecuzione dei lavori è stata posta attenzione al rispetto dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) ai sensi del D. Lgs. 50/2016 e s.m.i., sia nella scelta dei materiali che nella individuazione dei centri di approvvigionamento al fine di ridurre tempi e distanze di trasporto.

