



PROGETTO

Riparazione dei danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi

UBICAZIONE

Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia

COMMITTENTE:

UNICAM Università degli Studi di Camerino

Piazza Cavour 19/f 62032 Camerino MC

P.I.: 00291660439

C.F.: 81001910439



Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Gian Luca Marucci

Coordinamento Progetto:

Prof. Ing. Graziano Leoni

Supporto al R.U.P. per:

Indagini strutturali:

Prof. Ing. Alessandro Zona
Ing. Michele Morici
Evolvea s.r.l. - Gruppo Filippetti

Indagini geologiche:

Geol. Marcello Maccari

Analisi storica:

Prof. Arch. Gaia Remiddi

Analisi conoscitiva delle componenti materico-costruttive:

Prof. Arch. Enrica Petrucci
Dott. Graziella Roselli
Arch. Diana Lapucci

Progettazione opere di restauro architettonico:

Prof. Arch. Enrica Petrucci

Progettazione opere strutturali:

Seitec Seismotechnologies srl
Prof. Ing. Luigino Dezi
Ing. Alessandro Balducci

Progettazione opere impiantistiche:

ANTAS S.p.a.

Coordinamento della sicurezza in fase di progettazione:

Arch. Guido Martini

Collaboratori:

Ing. Lucia Barchetta
Ing. Leonardo Cipriani
Arch. Noemi Lapucci
Ing. Claudia Canuti
Geomore s.r.l.

TITOLO

Progetto Esecutivo Relazione Geotecnica

ELABORATO:

D

0 0 5 (3)

DISCIPLINA

STRUTTURE

REVISIONE	DATA:	OGGETTO:	REDATTO:	VERIFICATO:	APPROVATO:	SCALA:
rev_00	05/09/2022	EMISSIONE DEL PROGETTO	AG	AB	LD	
rev_01	__/__/__					
rev_02	__/__/__					
rev_03	__/__/__					NOME FILE:
rev_04	__/__/__					D-005.3_Relazione Geotecnica



INDICE

1 Premessa	2
2 Descrizione dell'opera.....	2
3 Caratterizzazione geotecnica	7
4 Modellazione geotecnica	10
4.1 Principali caratteristiche geotecniche	10
4.2 Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici	11
5 Verifica del sistema di fondazione	11

RELAZIONE GEOTECNICA

1 Premessa

La presente relazione costituisce la relazione geotecnica per il sistema di fondazioni del Palazzo Ducale Da Varano, sito nel Comune di Camerino.

2 Descrizione dell'opera

L'intervento previsto prevede la riparazione dei danni e il miglioramento sismico del complesso edilizio del Palazzo Ducale Da Varano, sito in via Del Bastione 1, nel Comune di Camerino.



Figura 2.1 - Vista aerea del fabbricato

Il complesso edilizio oggetto di intervento è posto nel centro storico di Camerino ed è parte integrante della cinta muraria con le sue murature di valle. Queste, impostate ai piedi della scarpata

strutturale che borda il pianoro su cui insiste il centro storico, sono state costruite quasi in aderenza alla parete arenacea sviluppandosi, per poco più di 20 metri, dal piano dell'Orto Botanico fino al piano di piazza Cavour da dove inizia, per ulteriori altezze comprese tra 17 e 20 metri, la porzione di fabbricato completamente fuori terra.

Il fabbricato si compone di più aggregati di forma pressoché rettangolare ed interconnessi tra loro, secondo la disposizione indicata in Figura 2.2. Si possono riconoscere i seguenti 5 corpi:

1. "Case vecchie" del 1250, oggi contenente l'Aula degli Stemmetti;
2. La torre e la parte di muro contiguo, appartenenti alla prima cinta di mura camerinese;
3. Il palazzo di Venanzio della prima metà del 1300;
4. Il "Palazzo novo" di Giulio Cesare (Quadriportico) della seconda metà del 1400;
5. Le "Logge" con la scala a chiocciola e gli speroni che reggono il cortile, risalenti al 1527.

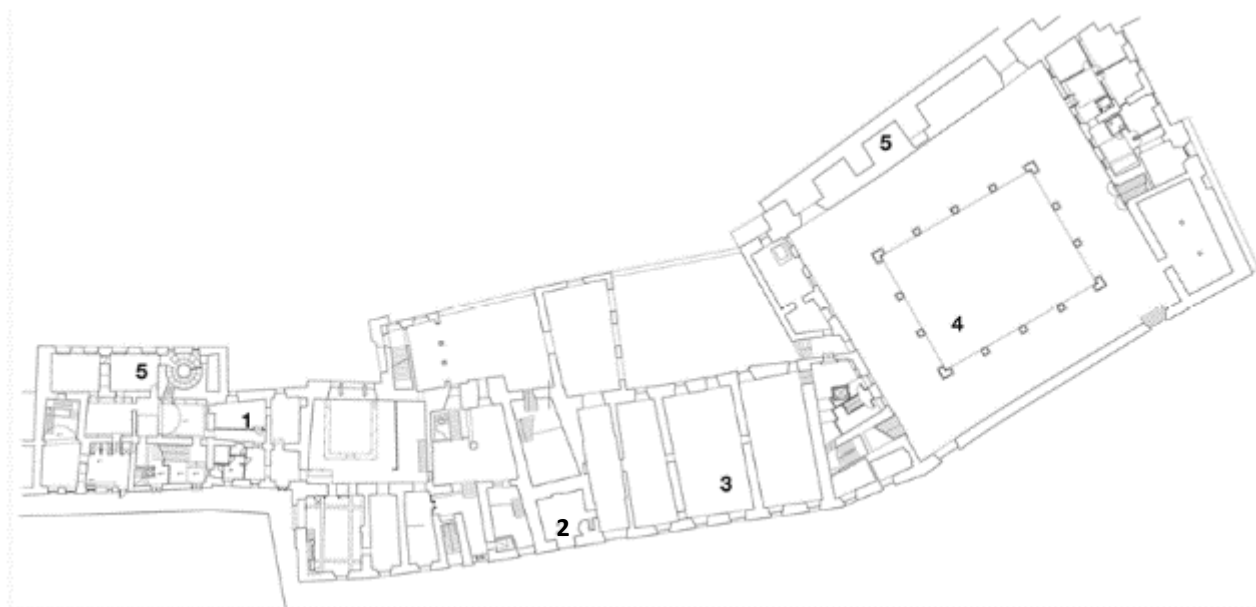


Figura 2.2 – Aggregati che formano il fabbricato

Nel seguito si riportano sinteticamente le principali fasi costruttive del Palazzo.

I fase costruttiva 1220 – 1263

La prima fase costruttiva è legata alla famiglia dei Da Varano che si stanziò nella città di Camerino nel 1252. Il primo blocco del Palazzo è costituito dall'attuale parte nord-est, compresa una torre che era collegata alla vicina cattedrale tramite un ponte.



Nel 1263 Gentile I Da Varano inizia la prima fase di costruzione del Palazzo.

II fase costruttiva 1375 – 1444

Nel 1375 inizia la seconda fase di costruzione del palazzo da parte di Venanzio Da Varano. Nel 1444 Giulio Cesare Da Varano viene acclamato Signore di Camerino e inizia i lavori di accorpamento dei blocchi realizzati in precedenza.

III fase costruttiva 1489 - 1525

Nel 1489 inizia la terza fase di costruzione del con l'Architetto Baccio Pontelli che era in quel periodo nelle Marche per dedicarsi ad importanti commissioni.

Nel 1492 viene terminata la costruzione del cortile e nel 1497, secondo alcuni storici, i lavori del palazzo erano conclusi.

Nel 1502 Camerino viene occupata dai Borgia e diventa Ducato e nel 1525 viene annessa allo Stato Pontificio.

IV fase costruttiva 1568 - 1799

Nel 1568 viene scoperta per intero la facciata del Palazzo verso la piazza demolendo le case di guardia. Nel 1569 al di sotto del Palazzo del Governatore vengono trasferite le carceri rimanendovi fino all'800.

Nel 1571 viene eseguito il primo restauro al palazzo, con la realizzazione di cinque contrafforti.

Nel 1728 è eseguito il restauro radicale del palazzo per ospitare l'Università pontificia di Camerino istituita da Benedetto XIII e nel 1740 la biblioteca Valentiniana trova sede nelle stanze che si affacciano sul cortile.

Nel 1799 un forte terremoto sconvolge la città, con minaccia di crollo del muro di facciata verso la Piazza, danni al muro sopra la cancelleria, danni rilevanti alla copertura e al muro verso le stanze di Governo, vari crolli di soffitti, murature e volte interne.

Interventi di Restauro

1760 - 1850

Importanti lavori di restauro e consolidamento del Palazzo Ducale furono realizzati nel 1760 dall'architetto Marchionni, con la messa in opera di catene nei sotterranei, la costruzione dello sperone su vicolo della Salara e la formazione di pilastri e sott'archi nel cortile maggiore.

Nel 1824 furono eseguiti i lavori di rifacimento del selciato di tutto il loggiato e nel 1850 i lavori sulla facciata esterna, con introduzione del balconcino al di sopra del Portale di ingresso, di un finto bugnato ad intonaco e di cornici di intonaco.

1928 - 1968

Nel 1928 la Regia Sovrintendenza delle Marche propone il parziale ripristino del quadriportico, con un progetto dell'architetto Bizzarri e sotto la supervisione dell'allora Soprintendente Serra.

Nel 1950 l'Università acquisisce e modifica alcuni ambienti nel Palazzo, con nuove aule ai lati del corridoio centrale, sopraelevazione di due soffitte con murature in mattoni forati per avere due grandi aule. Ciò comporta un radicale consolidamento statico, con rifacimenti murari a partire da terra e pesanti travature in c.a..

Nel 1957 viene redatto un Progetto di Risanamento, concentrato sui corpi prospettanti il Cortile che presentano problemi strutturali preoccupanti, dovuti ad eventi sismici, geologici e bellici.

Nel 1968 sono riaperte le finestre originali del Cortile precedentemente chiuse, con consolidamento delle riquadrature e ricalcatura dei graffiti sulla parete tra le finestre.

1973- 1980

Nel periodo 1973-76 sono restaurati i prospetti della corte, con opere di impermeabilizzazione e consolidamento murario anche armato delle strutture verticali e orizzontali, di sottofondazione con l'utilizzo di micropali, di riprese di murature e di tiranti e con interventi di consolidamento mediante inserimento di barre di armatura nelle colonne e nelle arcate in pietra, consentendo la rimozione dei contrarchi in muratura sui lati nord-ovest e sud-ovest del portico.

Nel periodo 1977-78 si eseguono lavori di consolidamento e ricostruzione delle volte a crociera, sul lato sud-est, già ricostruite in canna e gesso a seguito del crollo del 1799.



Nel 1979 avviene il restauro della fascia muraria e delle finestre cruciformi soprastanti il loggiato e il rifacimento delle pavimentazioni esterne e del sottoportico.

La facciata prospiciente la piazza, modificata nella seconda metà dell'800 con l'introduzione di un balconcino al di sopra del portale, di un finto bugnato, ad intonaco e di cornici di stucco, viene riportata a vista nel 1980.

I lavori eseguiti nella seconda metà del XIX secolo hanno in sostanza trasformato i prospetti della corte con la rimozione dei contrarchi ed hanno previsto importanti interventi di consolidamento con barre di armatura nelle colonne, negli archi e nelle pareti.

Con i lavori eseguiti dopo il sisma del 1997 sono state infine apportate importanti modifiche interne con sostanziali interventi anche di natura strutturale su pareti, corpi scala, capriate ed architravi, che a seguito delle scosse sismiche del 2016 sono risultati interessati da quadri fessurativi piuttosto significativi e talvolta da crolli locali.

3 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata effettuata sulla base delle prove di indagine riportate nella relazione geologica.

In particolare, per caratterizzare i terreni presenti nel sottosuolo è stata effettuata una ricerca documentale, riuscendo a reperire n° 11 sondaggi a carotaggio continuo (di cui 1 attrezzato per Down Hole), a cui sono state aggiunte n° 3 stazioni di misura HVSR.

L'individuazione di alcuni affioramenti del substrato, presenti all'interno del fabbricato ed evidenziati con il rilevamento geologico, e l'interpretazione delle indagini geognostiche reperite ha consentito di ricostruire l'assetto litostratigrafico locale senza dover eseguire ulteriori sondaggi o scavi geognostici.

Per la caratterizzazione geofisica è stata utilizzata la metodologia sismica, attraverso lo studio della propagazione delle onde elastiche; il risultato dell'indagine è dato dalla stima della velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio tra il piano campagna o la base di imposta delle fondazioni ed i successivi 30 metri di terreno ($V_s 30$), oppure, qualora il bedrock sismico ($V_s > 800 \text{ m/s}$) risulti a profondità inferiori a 30 metri, nello spessore di terreno compreso ($V_{s,eq}$). Ciò è necessario per contribuire a definire, sulla base del D.M. 17 gennaio 2018, la categoria del suolo di fondazione da cui derivare parametri e coefficienti sismici da adottare nella progettazione strutturale.

Nel caso specifico è stata utilizzata la prova Down Hole realizzata per gli studi di microzonazione sismica di livello 3 redatti per conto dell'amministrazione comunale di Camerino. Tale prova è stata integrata da registrazioni del rumore sismico ambientale (indagine sismica passiva), detto anche microtremore, la cui elaborazione con la metodologia dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) ha consentito anche di misurare la frequenza fondamentale del terreno.

Dall'elaborazione dei dati delle prove anzi dette e dalla loro interpolazione è stato costruito il modello sismostratigrafico sulla base del quale sono state valutate le V_s per ciascun sismostrato. Come si può vedere dal modello riportato in Figura 3.1, nell'ambito di uno stesso sismostrato si riscontrano delle differenze di velocità dovute al detensionamento dei litotipi per la loro prossimità al piano campagna o per lo stato di fratturazione ed alterazione; in particolare nella zona dell'Orto

Botanico gli strati marnosi mostrano una velocità più bassa, in quanto prossimi al piano campagna, rispetto a quanto rilevato sulla verticale di Piazza Cavour dove sottostanno ad uno spessore di oltre 20 metri di arenarie.

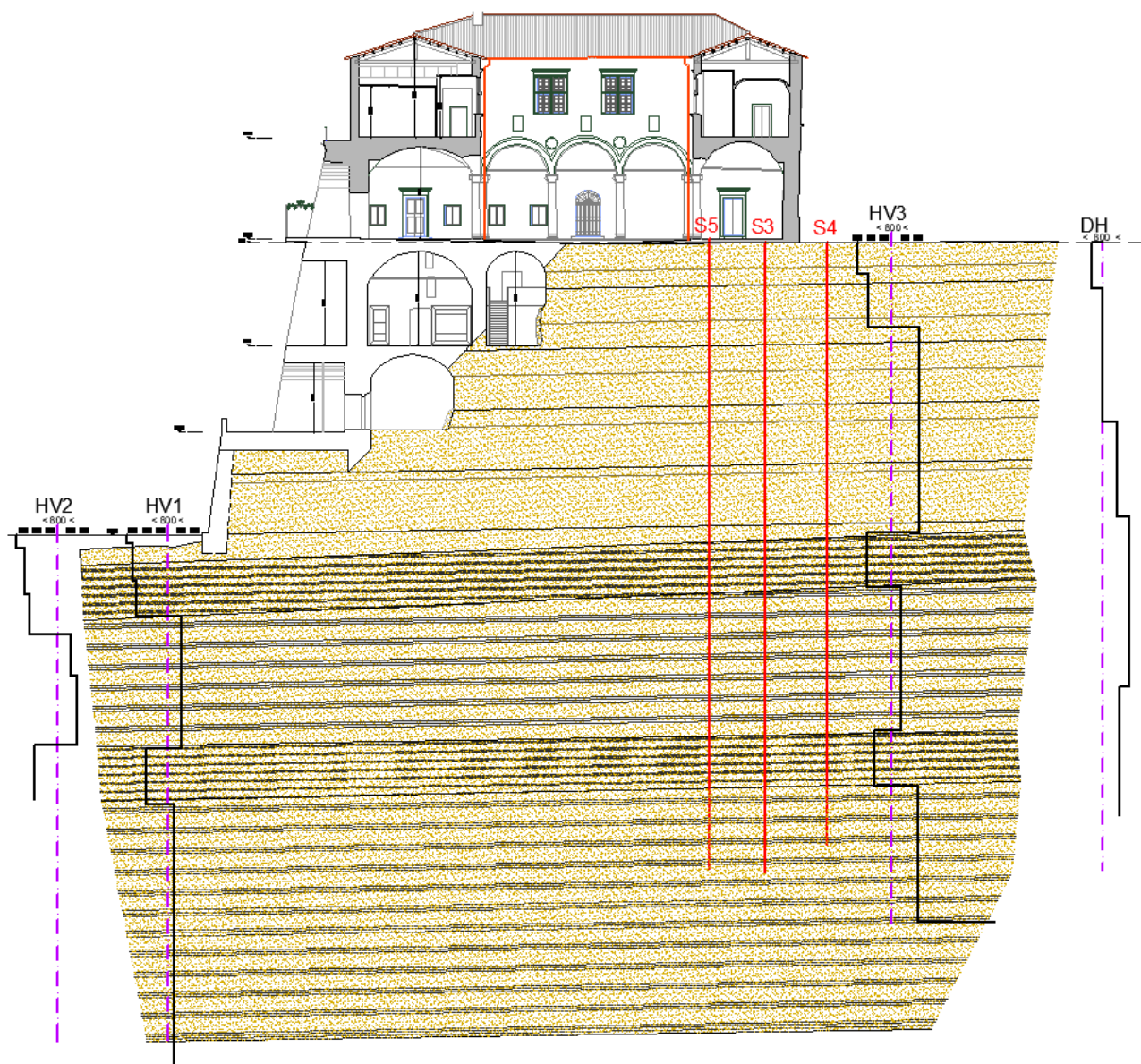


Figura 3.1 - Modello sismostratigrafico del terreno

Riguardo la definizione della categoria di suolo di fondazione secondo la formula 3.2.1 delle NTC, poiché le murature di fondazione poggiano direttamente sui litotipi del substrato, non è stato tenuto conto, rispetto ai profili delle velocità delle onde di taglio emerse dalle prove Down Hole e

HVSR, dei primi 2-3 metri di terreno corrispondenti prevalentemente a riporti e/o colluvioni. Al di sotto di questi si rileva, per ulteriori 2-4 metri di spessore, il substrato alterato con velocità delle onde di taglio comprese tra 300 e 420 m/s per la zona dell'Orto Botanico e di 450 m/s per la zona di Piazza Cavour, e quindi la parte pressoché integra del substrato dove le velocità delle onde di taglio superano, anche se di poco, gli 800 m/s. All'interno della porzione integra si individuano, nondimeno, alcuni livelli di spessore medio di 5 metri che presentano velocità delle onde di taglio intorno a 500 m/s.

L'oggettiva valutazione di queste inversioni di velocità ha indotto, in fase di analisi, a valutare una profondità del substrato sismico rispetto al piano delle fondazioni superiore a 40 metri; ciò ha portato a definire la velocità delle onde di taglio secondo il parametro $V_{s,30}$.

Nel caso particolare, nello spessore di terreno compreso tra la base fondale ed il substrato sismico si calcolano, applicando la formula 3.2.1 delle NTC ai dati di cui sopra, le seguenti velocità medie:

$$1) V_{seq} = 637 \text{ m/s}$$

$$2) V_{seq} = 716 \text{ m/s}$$

Dalle prove geofisiche eseguite si rilevano, quindi, dei differenti comportamenti del terreno alle sollecitazioni sismiche che tuttavia convergono, nella valutazione globale del sistema geologico, a definire un terreno di fondazione di **categoria B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Dato che il complesso edilizio oggetto di intervento comprende una scarpata di altezza inferiore a 30 metri posta al culmine di un versante contraddistinto da una pendenza media inferiore a 15°, in base alla tabella 3.2.III del cap. 3.2 delle NTC la zona è ascrivibile alla categoria **T1** applicando, in riferimento alla tabella 3.2.V del cap. 3.2 delle NTC, un valore del coefficiente di amplificazione topografica **$S_T = 1,0$** .

4 Modellazione geotecnica

Dai rilievi geologici, dalle stratigrafie dei sondaggi reperite nonché dall'indagine geofisica è stato possibile effettuare la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo che viene riportata nelle relative sezioni allegate alla relazione geologica. In particolare si rileva la presenza del substrato, classificabile come roccia lapidea tenera, costituito dai litotipi arenacei stratificati della *Formazione delle Arenarie di Camerino*. Questa, mascherata localmente dalla cinta muraria, risulta affiorante in più punti all'interno dei numerosi vani che formano la porzione seminterrata dal Palazzo Da Varano.

4.1 Principali caratteristiche geotecniche

I valori medi dei principali parametri geotecnici dei terreni investigati, interessati dalle murature di fondazione, vengono desunti dall'elaborazione dei risultati delle prove di laboratorio e prove penetrometriche dinamiche reperite, riguardanti altre progettazioni ricadenti nelle aree limitrofe e su terreni in tutto comparabili.

Nel complesso si possono così riassumere:

- Litotipo 1: Substrato poco alterato - integro (Arenarie)

γ = peso di volume = 2,33 – 2,45 g/cm³

ϕ = angolo di attrito = 36° - 44°

C_u = coesione non drenata = 10,26 - 23,34 Kg/cm²

E_s = modulo di elasticità = >600 kg/cm²

ν = coefficiente di Poisson = 0,3

- Litotipo 2: Substrato poco alterato - integro (Argille marnose)

γ = peso di volume = 2,15 – 2,29 g/cm³

ϕ' = angolo di attrito efficace = 30° - 37°

C' = coesione drenata = 0,2 - 0,7 Kg/cm²

C_u = coesione non drenata = 2,75 - 4,29 Kg/cm²

E_{ed} = modulo di compressibilità = 230-250 kg/cm²

ν = coefficiente di Poisson = 0,3

4.2 Elaborazione dei valori geotecnici caratteristici

I dati geotecnici di ciascun litotipo individuato sono stati elaborati secondo il concetto dei valori caratteristici ed espressi in termini statistici, considerando una distribuzione normale per ϕ , e una distribuzione log-normale per c ed E come 5° percentile. Questi dati sono raccolti nelle tabelle riportate in allegato alla relazione geologica.

Di seguito si riassumono i principali valori geotecnici elaborati, precisati in caratteristici (x_k) e di progetto (x_d).

- Litotipo 1: Substrato poco alterato - integro (Arenarie)

	ν	γ t/mc	D_r %	ϕ	E kg/cmq	C_u kg/cmq	E_d kg/cmq
x_k	0,3	2,4			1573,91	12,31	
x_d	0,3	2,4			1259,13	8,80	

- Litotipo 2: Substrato poco alterato - integro (Argille marnose)

	ν	γ t/mc	D_r %	ϕ	E kg/cmq	C_u kg/cmq	E_d kg/cmq
x_k	0,3	2,2		20,1	0,19	3,12	
x_d	0,3	2,2		16,3	0,16	2,23	

5 Verifica del sistema di fondazione

Per tutti i corpi di fabbrica che compongono il complesso edilizio oggetto di intervento si riscontra una tipologia di fondazione superficiale, costituita da murature in pietrame intestate nel substrato (arenarie litoidi ben cementate) ed in appoggio alla scarpata strutturale che borda il centro storico di Camerino.

Riguardo le lesioni sulle strutture murarie, queste non sono imputabili a fenomeni di cedimento del terreno di fondazione il quale, avendo già subito nel tempo gli effetti della consolidazione dovuti al peso degli edifici stessi, garantisce caratteristiche geotecniche eccellenti tali da assicurare stabilità anche a seguito dei previsti interventi di rafforzamento delle strutture esistenti.

Non si ritiene pertanto necessaria alcuna verifica del sistema di fondazione dell'opera.