COMUNE DI RIVOLI

RIQUALIFICAZIONE DELLA VILLA ANTICA, DELLA PALAZZINA SVIZZERA E DELLE AREE ESTERNE AD ESSE CONNESSE DEL COMPENDIO DENOMINATO "VILLA MELANO"

FONTE DI FINANZIAMENTO: FONDO PER LO SVILUPPO E LA COESIONE (FSC)
CIG: 938107432A - CUP: F25C19001500007

PROGETTO DEFINITIVO

RTP: **Isolarchitetti S.r.l. (capogruppo)**
prof. arch. Giovanni Durbiano
arch. Umberto Montanari
arch. paesaggista Marco Ferrari
Nicola Restauri S.r.l.
MCM Ingegneria S.r.l.
ing. Damiano Bonomelli
geol. Andrea Ferrarotti
Pirotecnico S.r.l.

RUP: **arch. Antonio Graziani**
Comune di Rivoli
Direzione Servizi al Territorio e alla Città

OGGETTO

RELAZIONE GEOTECNICA

G08c

DATA	*REV.01*	*REV.02*	*REV.03*	*SCALA*
13/10/2023				

COMUNE DI RIVOLI

RIQUALIFICAZIONE DELLA VILLA ANTICA, DELLA PALAZZINA SVIZZERA E DELLE AREE ESTERNE AD ESSE CONNESSE DEL COMPENDIO DENOMINATO "VILLA MELANO"

FONTE DI FINANZIAMENTO: FONDO PER LO SVILUPPO E LA COESIONE (FSC)
CIG: 938107432A - CUP: F25C19001500007

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

SOMMARIO

1. PREMESSA 4
1.1. NORMATIVA 6
2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI 7
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 15
4. PROGRAMMA DELLE INDAGINI 19
4.1. INDAGINI E PROVE GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE 19
4.2. SONDAGGI GEOGNOSTICI 21
4.3. PIEZOMETRI 21
4.4. PROVE PENETROMETRICHE SPT 22
4.5. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPH E DPSH 26
4.6. INDAGINI GEOFISICHE 27
5. MODELLO GEOTECNICO 29
5.1. PRIME INDICAZIONI SU SCAVI, OPERE DI FONDAZIONE E DI SOSTEGNO 30
5.2. PARAMETRI DA ADOTTARE PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE 31
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA 35
6.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO AI SENSI DELLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 30 DICEMBRE 2019, N. 6-887 35
6.2. ANALISI DELLA SISMICITÀ E RISPOSTA SISMICA LOCALE 35
6.3. CATEGORIE DI PROFILO STRATIGRAFICO DEL SUOLO DI FONDAZIONE 36
6.4. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA 37
6.5. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA 37
6.6. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E DELLE AZIONI DI PROGETTO 38
6.7. STATI LIMITE DI RIFERIMENTO 38
6.8. PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO 40

7. STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE **43**

8. METODO DI VERIFICA **44**

1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la "Relazione geotecnica" ai sensi del D.M. 17.01.2018 e delle Norme Tecniche di Attuazione del vigente P.R.G.C., redatta a supporto della progettazione definitiva degli interventi di riqualificazione della Villa Antica, della Palazzina Svizzera e delle aree esterne di "Villa Melano" in Comune di Rivoli (TO).

Gli interventi sul complesso "Villa Melano" vengono qui di seguito sinteticamente descritti:

- **Villa antica**: sono gli interventi strutturali sull'edificio storico principale dell'intero complesso; questo si estende su quattro livelli (1° interrato, piano terra, primo piano e sottotetto) ha strutture verticali in muratura portante ed orizzontamenti con tipologie strutturali variabili, corrispondenti alle successive fasi di costruzione**;**
- **Citroniera e sala espositiva**: sono gli interventi strutturali sulle parti poste fra la Villa antica e la Palazzina svizzera; la **citroniera** è un lungo corridoio, posto al livello del 2° interrato e aperto verso sud, con struttura portante composta da pilastri ed archi in muratura che sostengono volte a crociera. Nella parte posteriore, verso la collina, vi è la **sala espositiva** realizzata in un grande locale con struttura portante in muratura (pilastri ed archi nella parte anteriore e muro contro terra nella parte posteriore, entrambi a sostegno di una volta a botte che sostiene un terrapieno;
- **Accesso nord**: si tratta delle strutture per consentire l'accesso dal lato nord del complesso, sommità della collina bordata da un grande muro contro terra, su cui attualmente c'è via Melano, sia ai pedoni sia ai veicoli;
- **Palazzina svizzera**: sono gli interventi strutturali sulla palazzina che fu adibita a portineria; presenta struttura in muratura portante con volte nella parte centrale al piano terra, mentre i solai dei piani superiori sono stati rifatti in pare con solani latero-cementizi e in parte con solai su lamiera sostenuta da putrelle;
- **Cold storage**: si tratta degli interventi strutturali su una nuova realizzazione posta a ovest della Villa antica, circa a livello del 1° interrato; integralmente realizzata in calcestruzzo armato, sostenuta da muri e pilastri in c.a. con fondazioni di tipo diretto (plinti o travi continue), solaio di copertura in predalles per sostenere un terrapieno e dotato di lucernari per fornire illuminazione ai locali interni;
- **Centrale termica** davanti alla palazzina svizzera, si tratta di interventi strutturali su una nuova realizzazione posta a sud della Palazzina svizzera e sotto al piazzale ad essa antistante; è stata integralmente realizzata in calcestruzzo armato, sostenuta da muri contro terra e pilastri in c.a. con fondazioni di tipo diretto, solaio di copertura in predalles per sostenere un terrapieno;
- **Muri contro terra**: gli interventi strutturali sono necessari per sostenere la nuova viabilità ed i terrapieni ai vari livelli;
- **Sistemazione esterna**: in questo capitolo sono inseriti i basamenti delle opere inserite nelle zone esterne del comprensorio (es. basamento cabina elettrica) la vasca di laminazione

Alcuni degli interventi strutturali prevedono la rimozione dell'esistente e la realizzazione di nuove parti, ad esempio:

- alcune rampe della scala est della villa antica;
- scala che collega la sala espositiva ad un locale del 1° interrato della villa antica;
- solaio ammezzato della palazzina svizzera;
- muro contro terra adiacente alla centrale termica, davanti alla palazzina svizzera;
- muro di recinzione a lato dell'ingresso est della villa antica.

Altri interventi strutturali sono di nuova realizzazione, ad esempio:

- completamento solaio alla base della scala ovest della villa antica;
- vano ascensore nella villa antica;
- contrafforti in muratura per il rinforzo dei muro di recinzione alto a nord;
- vano ascensore nella palazzina svizzera;
- intercapedine dietro alla palazzina svizzera;
- completamento solaio e scala di accesso al sottotetto della palazzina svizzera;
- muri contro terra sulla copertura del cold storage;
- muri contro terra a sostegno di nuovi terrapieni;
- muri contro terra a sostegno dell'accesso disabili;
- basamenti per cabina elettrica, vasca di laminazione;

Altri interventi strutturali sono di sola rimozione / modifica di parti esistenti, ad esempio:

- Rimozione dei profili metallici utilizzati per sostenere il muro della villa antica posto ad ovest del vano ascensore;
- Riprofilatura, qualora interferenti con il piano pavimento finito, dei profili metallici utilizzati per sostenere i pilastri in muratura del muro sud della villa antica, per la realizzazione del corridoio interrato;

Vi sono poi molti interventi locali di consolidamento, riparazione o rinforzo delle strutture murarie (pilastri, muri archi e volte) dei vari fabbricati da realizzare, previa pulitura e lavaggio, con tecniche di scuci-cuci del tessuto murario, scarifica dei giunti deteriorati e riempimento con materiale idoneo, sostituzione di elementi danneggiati.

Infine sono previste alcune nuove aperture ed alcune chiusure di aperture esistenti nelle murature portanti, realizzate con nuova muratura di mattoni pieni e collegamento all'esistente con la tecnica dello scuci-cuci.

1.1. NORMATIVA

- Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018 - "Aggiornamento delle *Norme tecniche per le costruzioni*" Testo unitario.

- Circolare 21 gennaio 2019 n° 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

- Decreto del Presidente della Repubblica n° 308 del 6 Giugno 2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per costruzioni in zona sismica".

- UNI ENV 1991 - 1 - 1 Eurocodice 1 "Azioni sulle strutture" Parte 1 "Pesi per unità di volume, pesi propri, e sovraccarichi per gli edifici".

- UNI ENV 1992 - 1 - 1 Eurocodice 2 "Progettazione delle strutture cementizie" Parte 1 "Regole generali e regole per gli edifici".

- UNI ENV 1993 - 1 - 1 Eurocodice 3 "Progettazione delle strutture in acciaio" Parte 1 "Regole generali e regole per gli edifici".

- UNI ENV 1997 - 1 - 1 Eurocodice 7 "*Progettazione geotecnica*" Parte 1 "*Regole generali*".

- UNI ENV 1998 - 1 - 1 Eurocodice 8 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica" Parte 1 "Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici".

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Il complesso Villa Melano è situato in Via M. Melano a Rivoli, quarto comune della Città Metropolitana di Torino per popolazione.

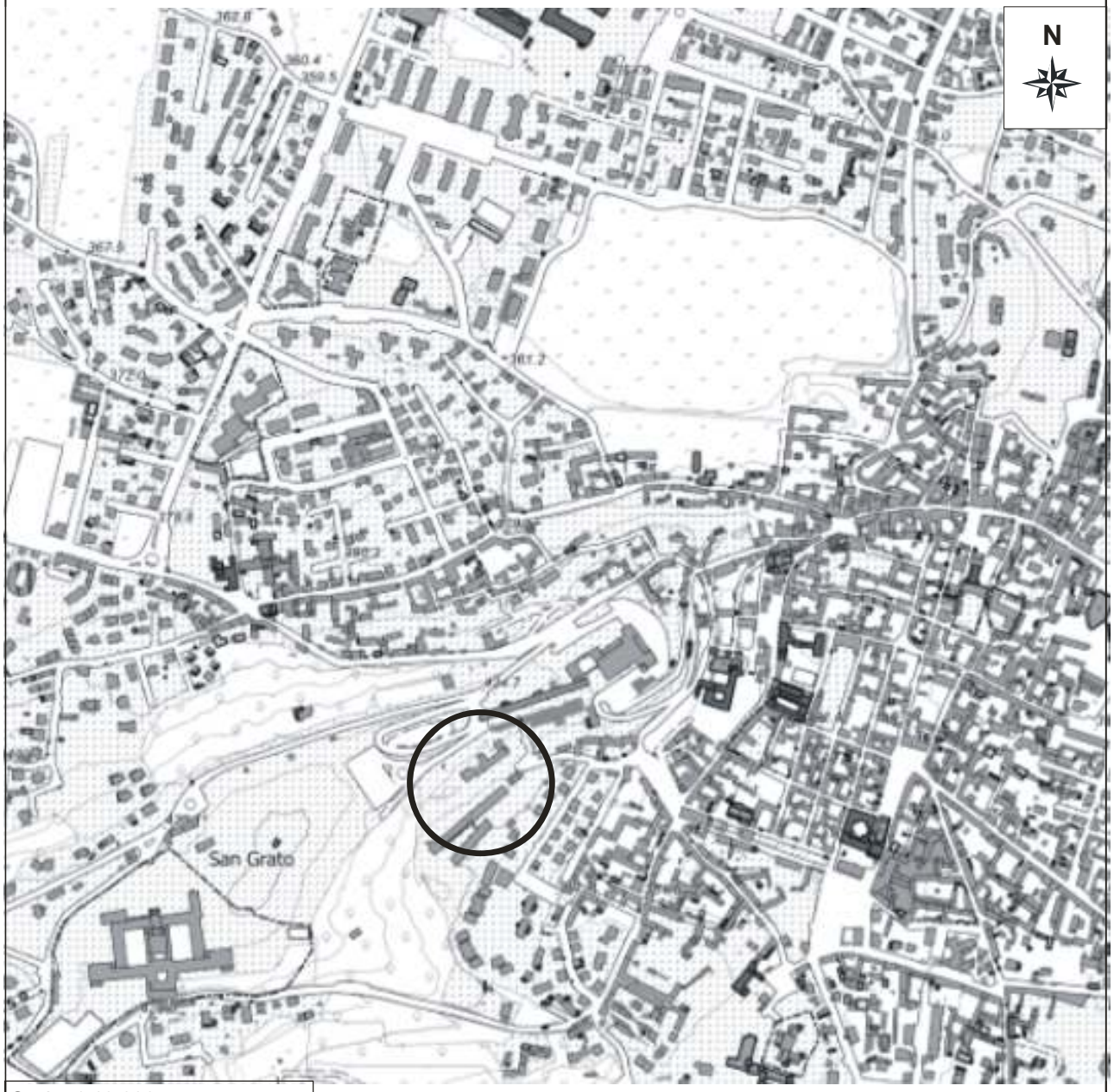
La struttura in questione sorge nelle immediate vicinanze del centro storico della città, all'interno del parco che circonda il Castello di Rivoli, antica residenza sabauda, ricostruita su disegno di Filippo Juvarra nel Settecento sui resti della fortezza quattrocentesca del "Conte Verde", attualmente sede di uno dei principali musei di Arte Contemporanea d'Europa.

L'area attrezzata della Collina di Rivoli, alla quale appartiene il parco di cui sopra, è ad oggi amministrata del Parco Regionale de La Mandria e occupa la parte terminale della collina morenica di Rivoli e il cui elemento architettonico più interessante è il Castello.

Il sito di Villa Melano risulta raggiungibile mediante le due direttrici viarie principali interurbane ovvero la SS25 (C.so. Francia – km 10 da Torino) e il C.so Allamano ed è ubicato nei pressi della tangenziale nord – sud di Torino.

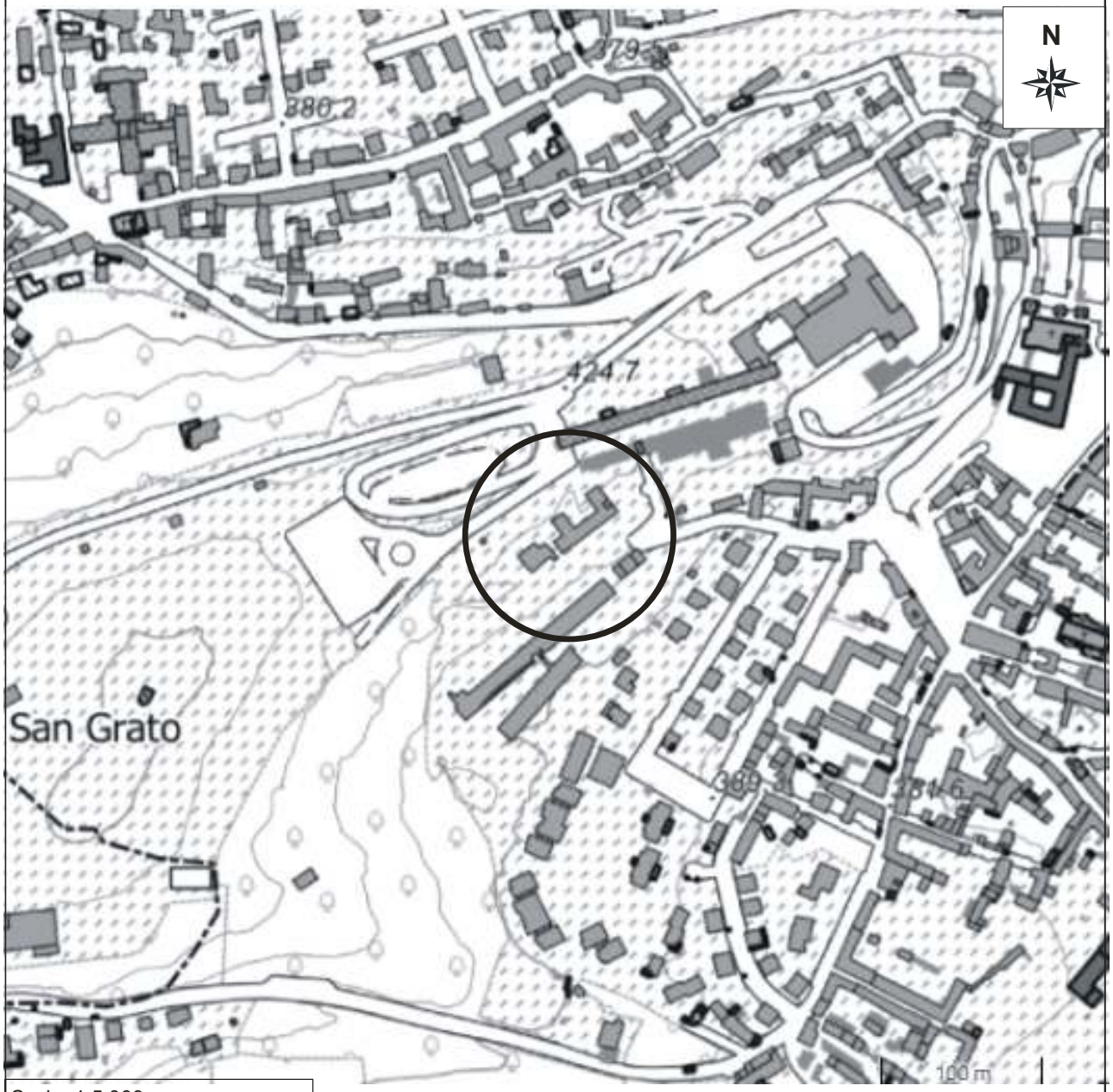
Il sito dista inoltre all'incirca 2 chilometri dal casello dell'autostrada A32 Torino – Bardonecchia – traforo del Frejus e all'incirca 25 chilometri dall'Aeroporto internazionale "Sandro Pertini" di Caselle.

CARTA DI INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO (BDTRE PIEMONTE)



Scala: 1:10.000
Comune: Rivoli
Città Metropolitana di Torino
Estratto: BDTRE - Regione Piemonte
Ubicazione area d'indagine

CARTA DI INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO (BDTRE PIEMONTE)



Scala: 1:5.000
Comune: Rivoli
Città Metropolitana di Torino
Estratto: BDTRE - Regione Piemonte
Ubicazione area d'indagine

CARTA DI INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO AEREO

Scala: 1:5.000
Comune: Rivoli
Città Metropolitana di Torino
Estratto: Ortofoto Regione Piemonte
Ubicazione area d'indagine

Il complesso edilizio di Villa Melano è costituito da un insieme di fabbricati storici, di origine secentesca, edificati come convento cappuccino su terreni ducali al di fuori della cinta di mura medioevali e successivamente ampliati e modificati durante l'Ottocento.

L'impianto planimetrico del complesso edilizio si estende su quattro terrazzamenti artificiali, realizzati mediante gradoni sorretti da muri di sostegno costruiti in epoche differenti, che sagomano il versante collinare verso sud.

Durante tutto il '600 e per parte del secolo successivo, la storia dell'edificio venne fortemente influenzata dalle vicissitudini del vicino Castello, con il quale aveva diretta comunicazione. Dopo la soppressione conventuale decretata nel 1805 dal governo napoleonico, la costruzione divenne di proprietà del sig. Antonio Caire. Acquisita poi dal Conte Garetti di Ferrere, divenne successivamente proprietà della famiglia Melano nella seconda metà dell'800, da cui prende il nome l'attuale complesso.

In tale periodo furono avviati importanti lavori di ristrutturazione che trasformarono in modo radicale il vecchio convento, adibendolo a residenza privata.

In particolare, il complesso risultava composto dalla Villa e dalla cosiddetta Palazzina Svizzera, a poche decine di metri dall'edificio principale, avente funzione di villino per i custodi.

Il particolare sviluppo del complesso è legato al fatto che i corpi di fabbrica si inseriscono nel pendio, con i prospetti principali rivolti a sud.

Nello specifico si descrivono di seguito i due edifici che compongono il complesso monumentale, seguendo per semplicità la suddivisione in ambiti propria del progetto di ristrutturazione.

AMBITO 1 – Villa Antica: come già anticipato l'edificio storico principale dell'intero complesso è costituito dalla Villa Antica, nato originariamente come convento e successivamente ampliato e modificato; il fabbricato antico, con struttura portante in muratura, ha una forma a "C" ed è caratterizzato dall'avere tre piani fuori terra con una sontuosa veste architettonica esteriore. La manica est del fabbricato è caratterizzata, strutturalmente, dalla presenza di muri, pilastri, archi e volte in muratura mentre la restante parte era realizzata mediante muratura portante e orizzontamenti con putrelle e voltini in mattoni forati. Ai livelli terrazzati inferiori erano originariamente dislocate le scuderie, le cantine, la citroniera e le serre; la citroniera in particolare è costituita da un porticato che sorregge il soprastante terrapieno, costituito da volte a vela sostenute da un muro controterra longitudinale e da una fila di pilastri in facciata; è presente inoltre un duplice sistema di archi longitudinali in facciata e trasversali.

AMBITO 2 – Palazzina Svizzera: a poche decine di metri dalla Villa Antica è ubicata la Palazzina Svizzera, costruzione destinata in origine a casa dei custodi; anch'essa è realizzata mediante una struttura portante in muratura con originari orizzontamenti realizzati con volte laterizie nella parte centrale del piano terra e solai con putrelle e voltini nelle restanti parti del piano terra, nei piani superiori ed in copertura.

Fig. 2.1 - Sezione di rilievo (Villa Antica)

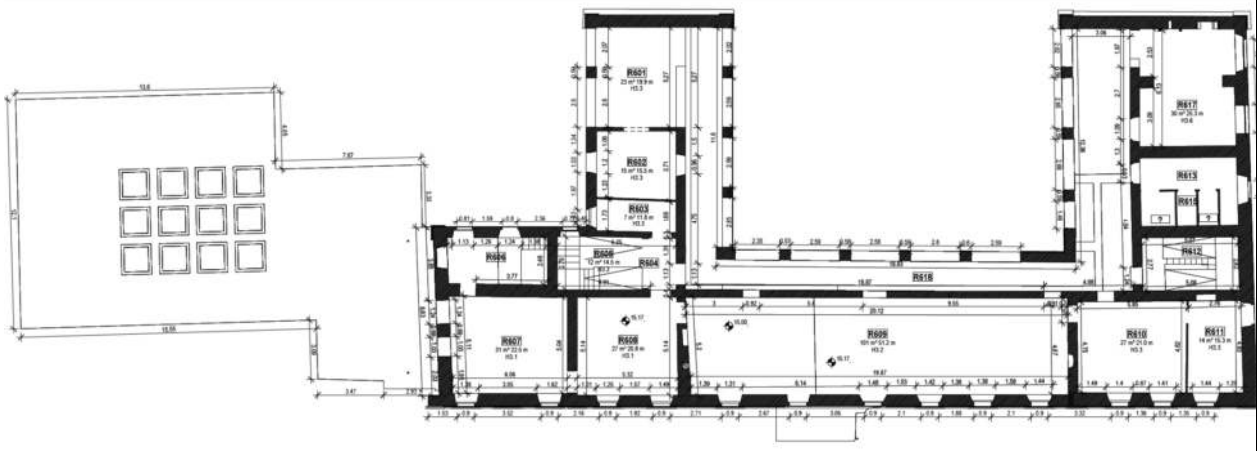


Fig. 2.2 - Planimetria di rilievo (Villa Antica)

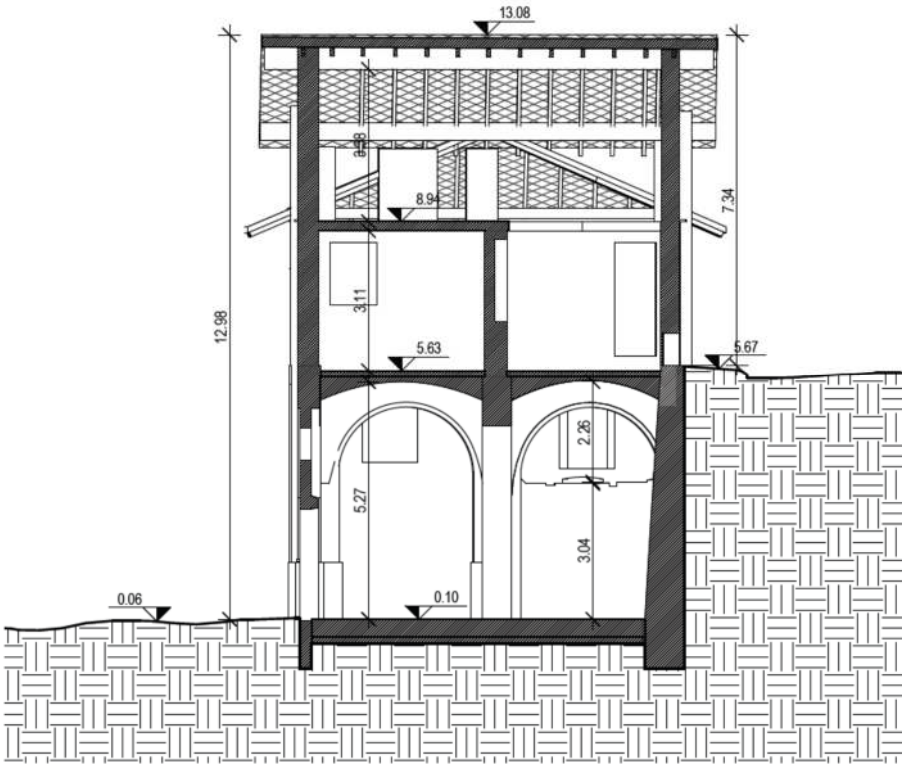


Fig. 2.3 - Sezione di rilievo (Palazzina Svizzera)

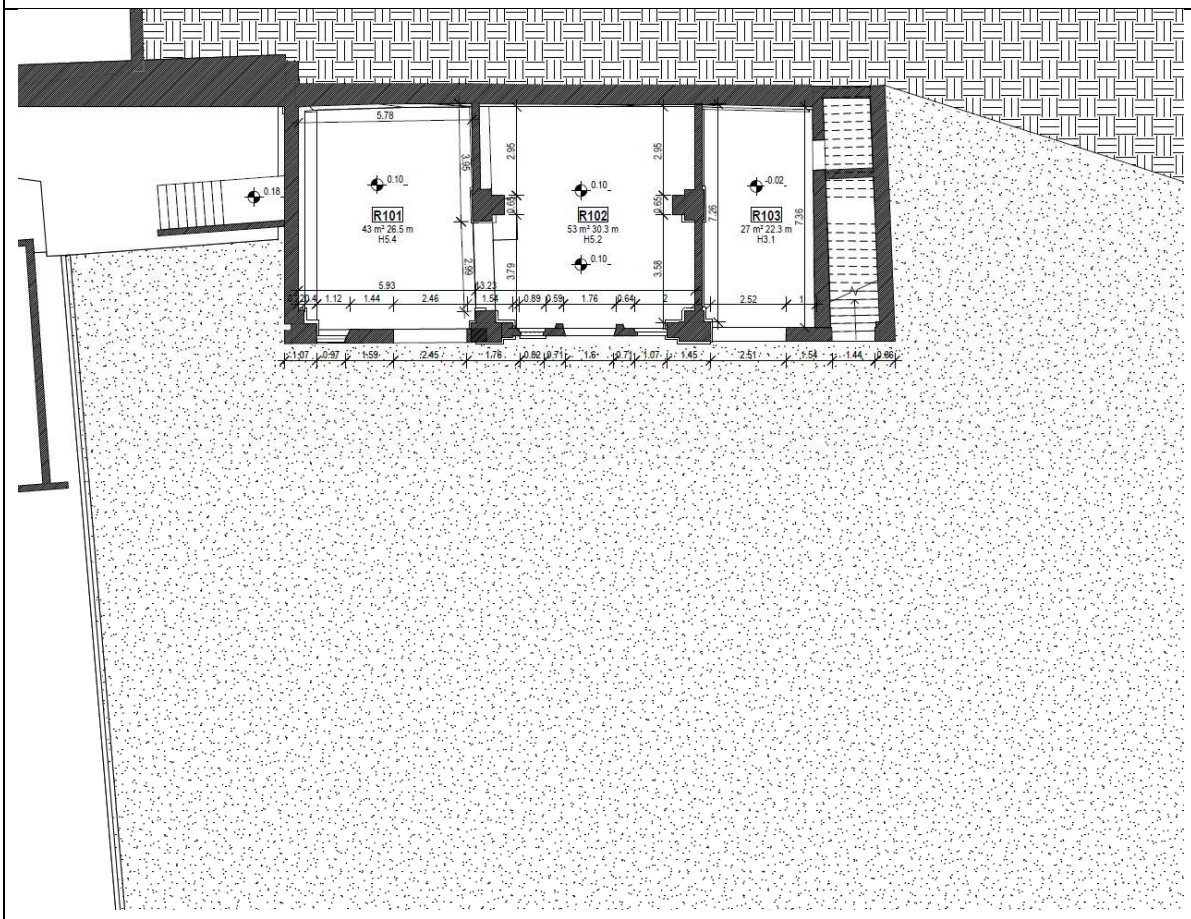


Fig. 2.4 - Planimetria di rilievo (Palazzina Svizzera)

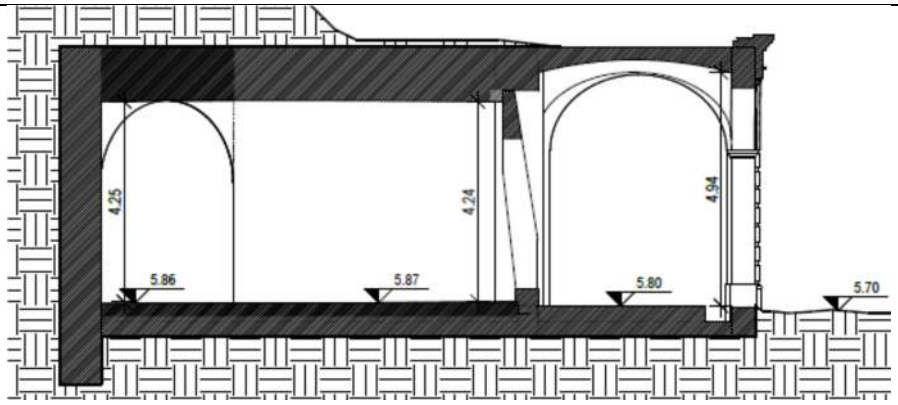


Fig. 2.5 - Sezione di rilievo (Citroniera)

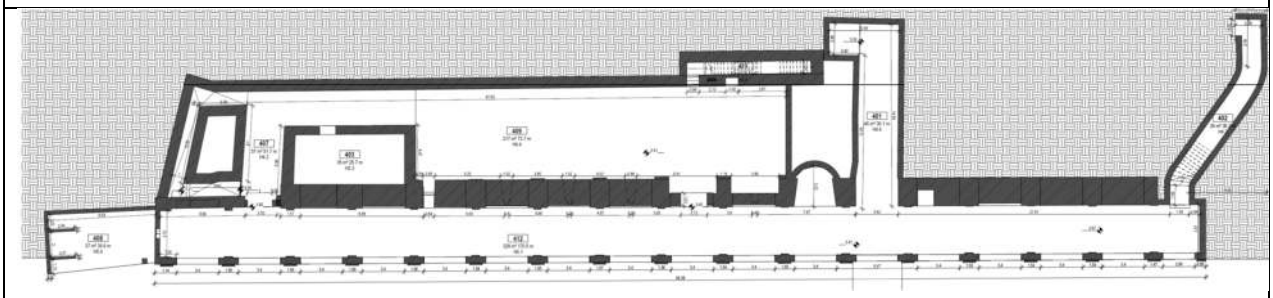
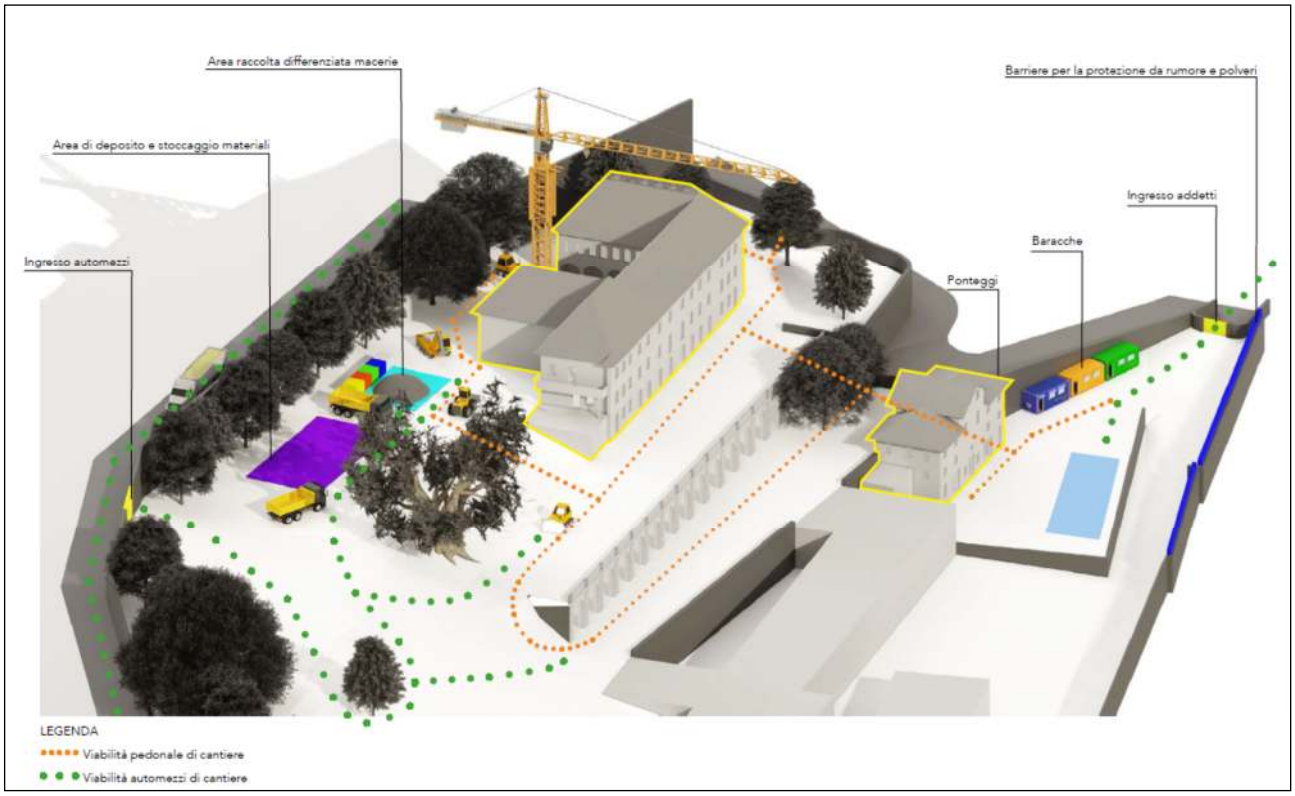


Fig. 2.6 - Planimetria di rilievo (Citroniera)

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Il progetto prevede il completamento della ristrutturazione e il recupero dell'immobile, a destinazione ricettivo culturale, quale estensione di servizio e con offerta ospitativa per il Centro di Ricerca Castello di Rivoli (CRRI). Oggetto di questo lotto d'intervento saranno il recupero della Villa Antica e della Palazzina Svizzera; le strutture saranno utilizzate durante periodi di residenza, da parte dei ricercatori e dei collaboratori del centro di ricerca, sia per i visitatori del museo o altri ospiti che potranno risiedervi nei periodi di collaborazione o lavoro al museo.



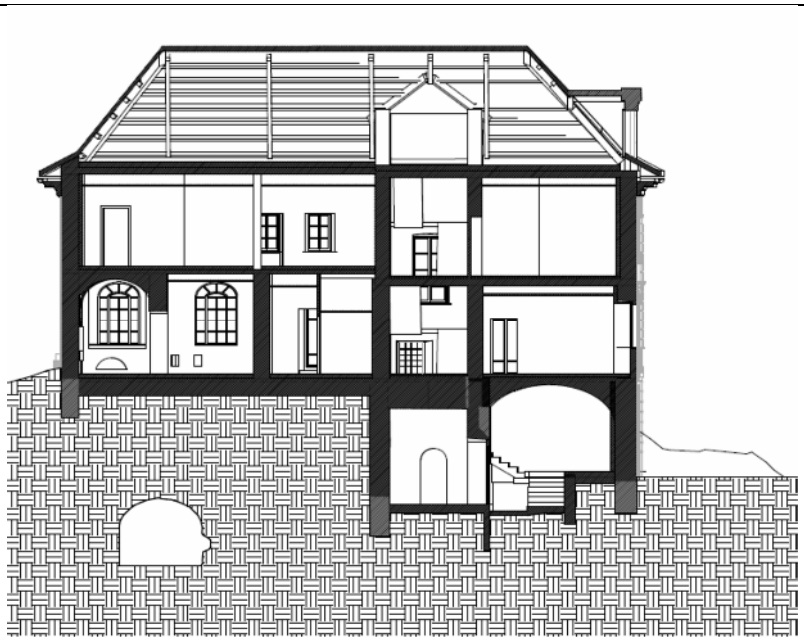


Fig. 3.1 - Sezione dell'intervento in previsione (Villa Antica)

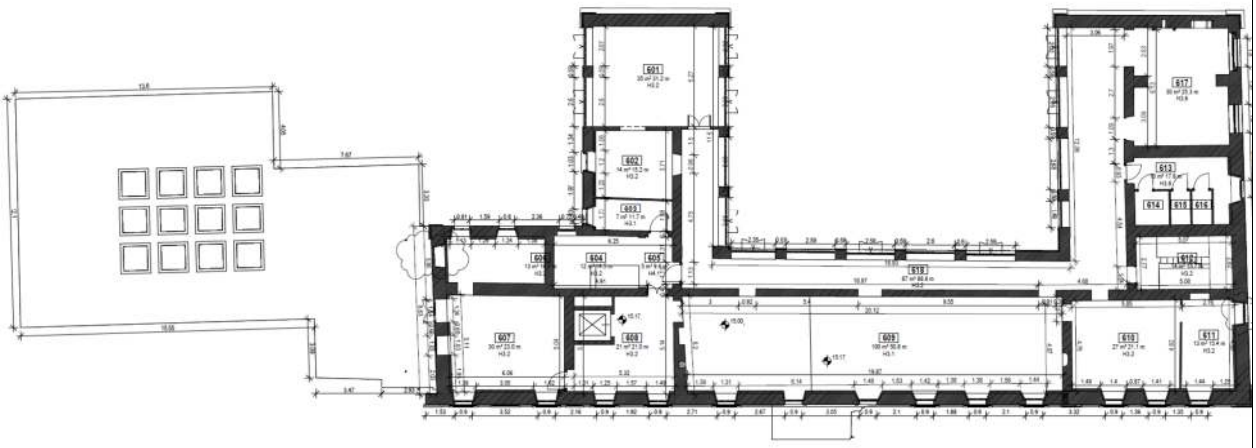


Fig. 3.2 - Planimetria dell'intervento in previsione (Villa Antica)

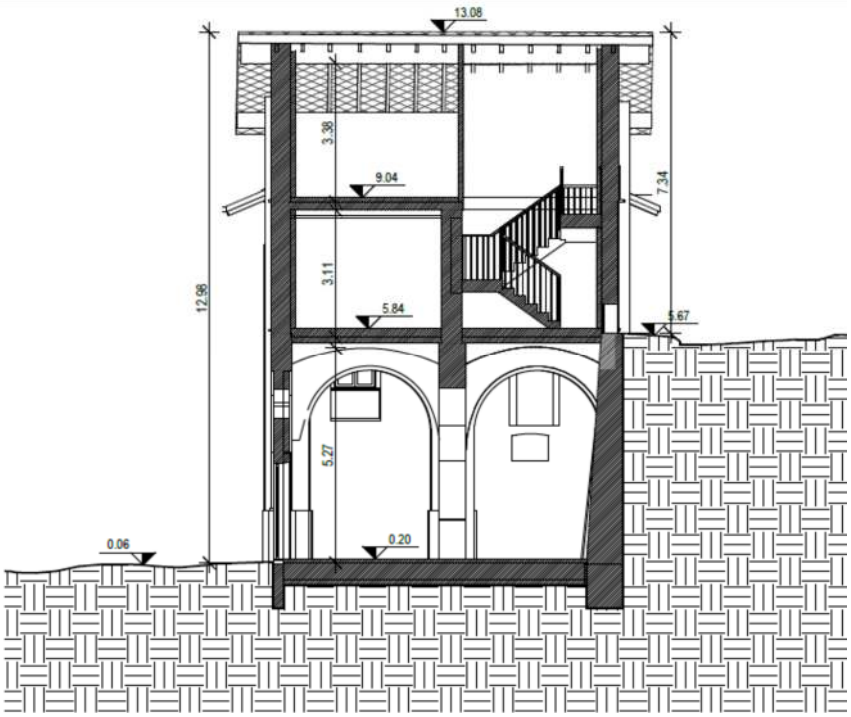


Fig. 3.3 - Sezione dell'intervento in previsione (Palazzina Svizzera)

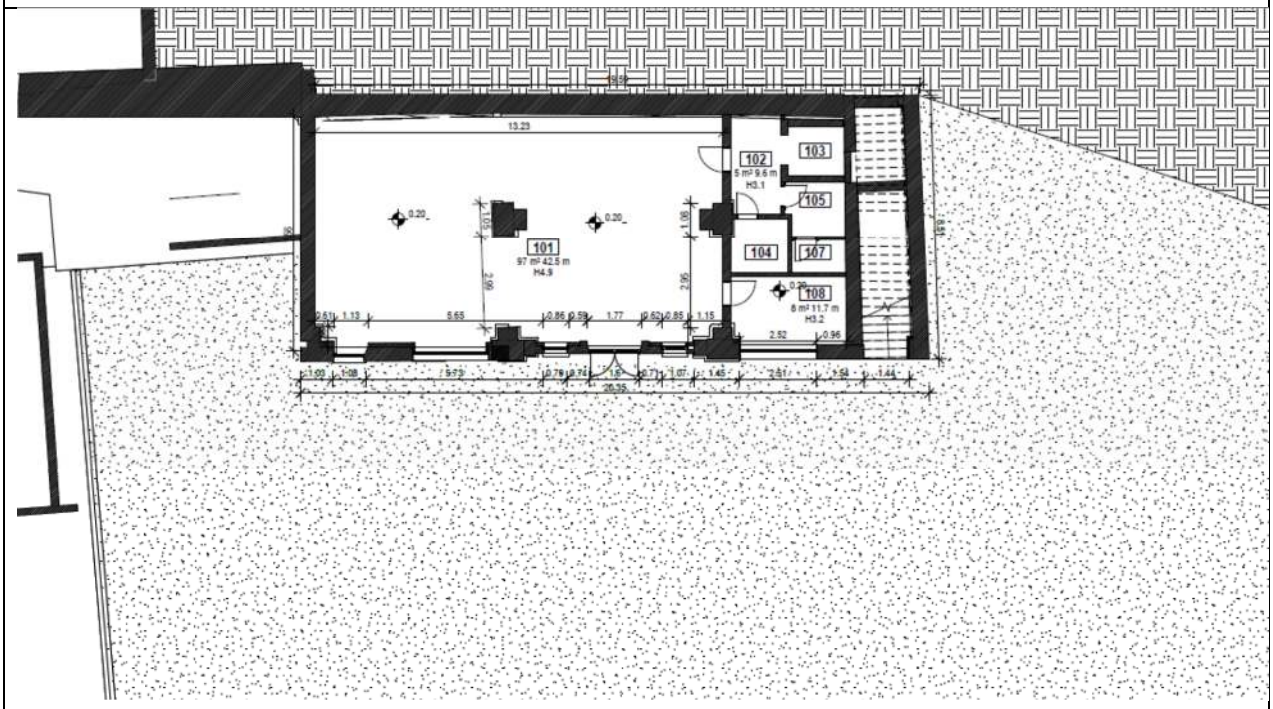


Fig. 3.4 - Planimetria dell'intervento in previsione (Palazzina Svizzera)

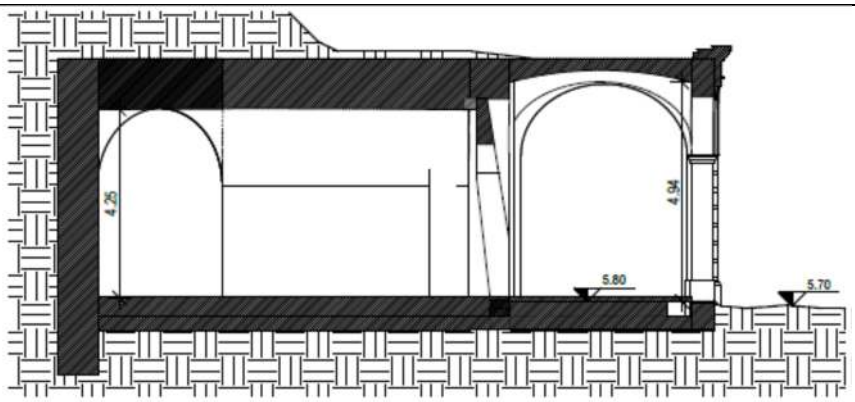


Fig. 3.5 - Sezione dell'intervento in previsione (Citroniera)

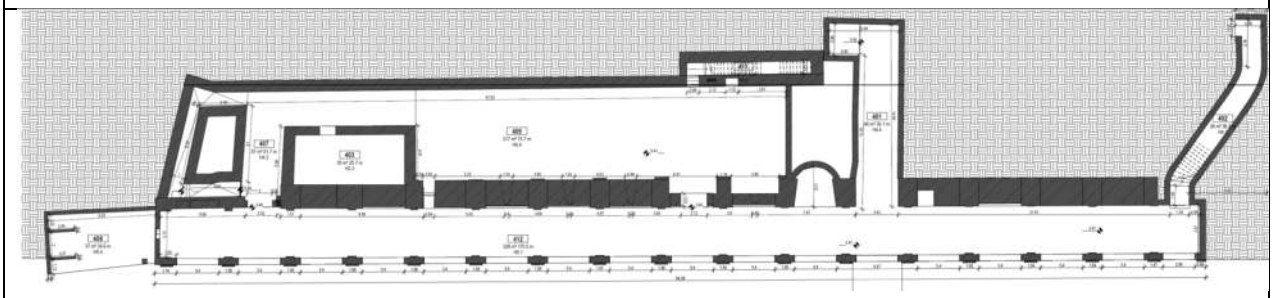


Fig. 3.6 - Planimetria dell'intervento in previsione (Citroniera)

Per quanto riguarda le specifiche di dettaglio degli interventi si rimanda agli elaborati progettuali.

4. PROGRAMMA DELLE INDAGINI

4.1. INDAGINI E PROVE GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE

Al fine di definire il modello geologico e stratigrafico del sito oggetto d'intervento, sono state utilizzate le risultanze di una serie di indagini e prove geognostiche, geotecniche e geofisiche, eseguite negli anni 2005, 2022 e 2023 da Ditte specializzate. Per una visione di dettaglio delle prove ed indagini eseguite si rimanda ai report allegati alla relazione geologica.

Le indagini, la cui ubicazione è riportata nella figura di pagina seguente, sono state così articolate.

Anno 2005
esecuzione di n. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S2 = 5 m, S4 = 9 m, S5 = 9 m S6 = 12 m, S7 = 9 m, S8 = 16 m)
esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT in foro di sondaggio
installazione di n. 1 piezometro (sondaggio S8)

Anno 2022
esecuzione di n. 2 indagini sismiche eseguite con metodologia MASW
esecuzione di n. 7 prove prove penetrometriche dinamiche con penetrometro pesante DPH

Anno 2023
esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo (S1 = 15 m, S2 = 15 m; S3 = 20 m);
esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT in foro di sondaggio
esecuzione di prova di permeabilità di tipo Lefranc (sondaggio S1)
installazione di n. 1 piezometro (sondaggio S2)
esecuzione di n. 5 prove prove penetrometriche dinamiche con penetrometro superpesante DPSH.

MASWn A B Indagine sismica MASW

Sn Sondaggio geognostico (anno 2023)

Sn Sondaggio geognostico (anno 2005)

Pn Prova penetrometrica dinamica DPH (anno 2022)

DPSHn Prova penetrometrica dinamica DPSH (anno 2023)

Fig. 4.1 – Ubicazione prove ed indagini

4.2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Nell'area d'intervento sono stati eseguiti i seguenti sondaggi geognostici eseguiti a rotazione e carotaggio continuo. Per i dettagli tecnici relativi alle attrezzature ed alle metodologie di indagine si rimanda ai report allegati.

Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Anno
S1	15	2023
S2	15	2023
S3	20	2023
S2	5	2005
S4	9	2005
S5	9	2005
S6	12	2005
S7	9	2005
S8	16	2005

Per le stratigrafie emerse dai sondaggi geognostici realizzati si rimanda alla Relazione Geologica.

4.3. PIEZOMETRI

I piezometri installati nell'area d'intervento sono i seguenti

Codice sondaggio	Lunghezza (m)	Anno	Soggiacenza falda (m da p.c.)
S2	15	2023	Non presente
S8	16	2005	Non presente

4.4. PROVE PENETROMETRICHE SPT

La prova SPT consiste nell'infissione a percussione di una punta conica. Il dispositivo di percussione a sganciamento automatico è costituito da un maglio di 63.5 Kg con una altezza di caduta di 760 mm. Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità pari a 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro, rilevando il numero di colpi (N) necessari per l'avanzamento di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di NSPT è ottenuto sommando i colpi necessari all'avanzamento del 2° e 3° intervallo. La prova viene interrotta quando il numero di colpi N, per un intervallo di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in cm ottenuta con 50 colpi.

I valori di N ottenuti sono quindi normalizzati secondo la seguente espressione:

$$N60 = NS.P.T. \cdot CE \cdot CB \cdot CS \cdot CR$$

dove:

NS.P.T. = numero di colpi per l'affondamento di 30cm misurato nella prova

CE = correzione per il rapporto di energia (rendimento sistema di battitura/60)

CB = correzione per il diametro del foro (1.0 per Ø65÷115mm)

CS = correzione per il metodo di campionamento (1.0 per campionatore standard)

CR = correzione per la lunghezza delle aste (0.75 se L=3÷4m; 0.85 se L=4÷6m; 0.95 se L=6÷10m; 1.0 se L>10m)

Le correlazioni empiriche più recenti tra NSPT, densità relativa e angolo di resistenza al taglio dei terreni granulari possono essere impostate inoltre con i valori della resistenza penetrometrica in termini di N1,60, valore normalizzato ad una pressione geostatica verticale di 1 bar tramite l'applicazione del coefficiente CN (Liao e Withman 1986).

$$N60=NSPT*CE$$

N60: Valore di NSPT corretto per una efficienza del 60% (secondo Cestari N60=NSPT)

$$CE=ER/60$$

Le energie dai vari sistemi variano dal 45% al 98%

$$N1,60= NSPT*CE*CN*CR*CB*CS$$

Dove:

CN=(Pa/σ'v)1/2 Liao e Withman (1986)

pa=pressione atmosferica= 98.1

CN=2/(1+σ'v/100) Skempton (1986) Sabbie Fini

CN=3/(2+σ'v/100) Skempton (1986) Sabbie Grosse

Normalizzazione ad una tensione efficace di 100 Kpa (1 Kg/cmq)

CN: Coefficiente normalizzazione tensione litostatica

CE: Correzione rapporto energia

CR: Correzione lunghezza aste

CB: Correzione diametro foro

CS: Correzione metodo di campionamento

ER: Rendimento del sistema di battuta secondo la norma ASTM D-4633-86

CN nell'applicazione pratica non può essere superiore a 2 e preferibilmente non deve essere superiore a 1.5. La correzione CN va applicata solo per il calcolo della densità relativa e dell'angolo di resistenza a taglio, non va applicata al calcolo dei parametri on drenati e di deformabilità.

Di seguito si riportano gli specchietti di riepilogo dei sondaggi eseguiti.

SONDAGGIO S1 – Anno 2023				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	20	24	28
2	6,0	22	26	30
3	9,0	7	7	6
4	12,0	5	6	6
5	15,0	13	16	18

SONDAGGIO S2 – Anno 2023				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	14	11	15
2	6,0	23	27	30
3	9,0	30	R	
4	12,0	23	33	35
5	15,0	21	23	23

SONDAGGIO S3 – Anno 2023				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	9	7	7
2	6,0	25	35	42
3	9,0	39	R	
4	12,0	27	37	45
5	15,0	R		
6	18,0	22	25	26
7	20,0	19	23	23

SONDAGGIO S2 – Anno 2005				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	10	12	12
2	4,5	33	30	R

SONDAGGIO S4 – Anno 2005				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	20	22	12
2	4,5	18	11	13

SONDAGGIO S5 – Anno 2005				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	15	20	22
2	4,5	24	30	33

SONDAGGIO S6 – Anno 2005				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	6,0	R		
2	7,5	R		

SONDAGGIO S7 – Anno 2005				
Prova SPT	Inizio prova (m da p.c.)	15 cm	30 cm	45 cm
1	3,0	7	11	12
2	4,5	R		

4.5. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPH E DPSH

Si riporta qui di seguito lo specchio riassuntivo delle prove penetrometriche eseguite con penetrometro pesante DPH (anno 2022) e delle prove penetrometriche eseguite con penetrometro superpesante DPSH (anno 2023).

Codice prova	Tipo prova	Anno
P1	DPH	2022
P2	DPH	2022
P3	DPH	2022
P4	DPH	2022
P5	DPH	2022
P6	DPH	2022
P7	DPH	2022
DPSH1	DPSH	2023
DPSH2	DPSH	2023
DPSH3	DPSH	2023
DPSH4	DPSH	2023
DPSH5	DPSH	2023

Per le risultanze di tutte le prove penetrometriche eseguite si rimanda alla Relazione Geologica.

4.6. INDAGINI GEOFISICHE

Per la definizione delle caratteristiche sismiche del terreno di fondazione ossia del profilo stratigrafico secondo le categorie previste dalle NTC/18 attraverso la valutazione della Vs30/Vseq si riportano le risultanze di n. 2 prove sismiche condotte con la metodologia MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves eseguite a supporto del PFTE dallo Geologo Marco Terenzi.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece, onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori. Il metodo consente generalmente, di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20÷30 m, in funzione della rigidezza del suolo. L"elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

- la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale
- la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica
- la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e la velocità Vs degli strati. Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità Vs e degli spessori h, cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10%, si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio vs e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Per le risultanze delle prove geofisiche si rimanda alla Relazione Geologica. Nella pagina che segue è riportato lo specchietto riassuntivo sintetico dei risultati ottenuti.

Sintesi risultati		
Vseq [m/sec]	**563.91**	
Categoria del suolo	**B**	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s

5. MODELLO GEOTECNICO

Sulla base delle prove effettuate all'interno del lotto d'intervento, supportate da una verifica della cartografia tematica, è stato possibile ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica - litotecnica schematica interpretativa, costituita dai seguenti strati principali, dedotti per omogeneità delle caratteristiche litologiche.

Unità litologica	Spessore medio (m)	Aspetto	Descrizione interpretativa	Genesi
UL1	Variabile da 1 a 6 m		Terreno di riporto eterometrico ed eterogeneo, mediamente sabbioso - ghiaioso con subordinati frammenti lateritici e matrice fine limoso - sabbiosa (a). Alla base è localmente preservata una coltre di alterazione (loess/suolo) sabbiosa fine con subordinata frazione ghiaiosa fine, da poco a moderatamente addensato, colore nocciola chiaro (b). Tale coltre risulta localmente rimaneggiata e non facilmente distinguibile dal terreno di riporto.	Suolo/loess e riporto
UL2	> 20 m		Ghiaia medio fine immersa in matrice sabbioso-siltosa in percentuale variabile con locali livelli di ciottoli e trovanti. Si presenta da addensata a molto addensata e localmente debolmente cementata. Colore variabile da grigio a nocciola in dipendenza del grado di ossidazione.	Depositi fluvio - glaciali
UL3	6 m (lente)		Limo da debolmente sabbioso - argilloso a argilloso - sabbioso, poco consistente. Colore da nocciola a bruno nocciola.	Depositi fluvio – glaciali (lente)

Per una visualizzazione grafica di tali Unità litologiche o Strati tipo, si rimanda alle sezioni stratigrafiche riportate nella tavola G07b "Sezioni stratigrafiche interpretative".

5.1. PRIME INDICAZIONI SU SCAVI, OPERE DI FONDAZIONE E DI SOSTEGNO

Unità litologica	Descrizione interpretativa	Idoneità all'utilizzo come piano di appoggio e/o immorsamento ad opere fondazionali
UL1	Terreno di riporto eterometrico ed eterogeneo, mediamente sabbioso - ghiaioso con subordinati frammenti lateritici e matrice fine limoso - sabbiosa (a). Alla base è localmente preservata una coltre di alterazione (loess/suolo) sabbiosa fine con subordinata frazione ghiaiosa fine, da poco a moderatamente addensato, colore nocciola chiaro (b). Tale coltre risulta localmente rimaneggiata e non facilmente distinguibile dal terreno di riporto.	Dal momento che presenta scadenti caratteristiche geotecniche se ne sconsiglia l'utilizzo. Tuttavia, nel caso se ne decidesse l'utilizzo in determinati casi specifici, in assenza di alternative possibili, occorrerà provvedere ad una preliminare stabilizzazione del piano di appoggio mediante asportazione dei terreni scadenti e realizzazione di un adeguato sottofondo (materiale granulare certificato) soggetto a specifica progettazione, adeguatamente rullato e costipato fino ad ottenere le caratteristiche geotecniche richieste. Una volta stabilizzato e migliorato il terreno di appoggio si potrà procedere alla realizzazione delle opere fondazionali di tipo diretto e continuo.
UL2	Ghiaia medio fine immersa in matrice sabbioso-siltosa in percentuale variabile con locali livelli di ciottoli e trovanti. Si presenta da addensata a molto addensata e localmente debolmente cementata. Colore variabile da grigio a nocciola in dipendenza del grado di ossidazione.	Idoneo ad essere utilizzato come piano di appoggio ad opere fondazionali di tipo diretto e continuo (travi/platee) ed indiretto (pali/micropali)
UL3	Limo da debolmente sabbioso - argilloso a argilloso - sabbioso, poco consistente. Colore da nocciola a bruno nocciola.	Non idoneo

5.2. PARAMETRI DA ADOTTARE PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riporta qui di seguito il riassunto dei risultati delle prove dalle quali verranno ricavati i parametri caratteristici da impiegare nella progettazione.

S1							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
Strato 1	0	41.94	1860	2160	0.25	66.22%	490.80
Strato 2	0	39.60	1890	2170	0.24	58.08%	532.30
Strato 3	0	29.70	1510	1940	0.33	21.06%	96.40
Strato 4	0	29.10	1500	1940	0.33	16.36%	90.60
Strato 5	0	32.86	1730	2080	0.29	32.07%	301.80

S2							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
Strato 1	0	36.00	1660	2030	0.30	49.02%	217.80
Strato 2	0	39.93	1890	2180	0.24	59.18%	543.30
Strato 3	0	R	R	R	R	R	R
Strato 4	0	38.88	1940	2200	0.22	52.48%	658.80
Strato 5	0	34.78	1830	2140	0.26	38.52%	427.80

S3							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
Strato 1	0	32.40	1530	1950	0.33	36.19%	91.80
Strato 2	0	42.94	1960	2220	0.20	67.54%	753.30
Strato 3	0	R	R	R	R	R	R
Strato 4	0	40.59	1970	2220	0.19	56.99%	805.80
Strato 5	0	R	R	R	R	R	R
Strato 6	0	35.06	1860	2160	0.25	38.29	480.30
Strato 7	0	33.97	1830	2140	0.26	33.75	427.80

DPSH1							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	31.23	1450	1900	0.34	30.22%	67.40
UL2	0	38.74	1750	2090	0.28	56.66%	425.50

DPSH2							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	28.41	1390	1860	0.35	15.50%	38.40
UL2	0	42.92	1790	2110	0.27	66.97%	484.50

DPSH3							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	34.12	1530	1950	0.33	40.40%	165.90
UL2	0	40.29	1850	2150	0.26	62.08%	578.90

DPSH4							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	28.71	1390	1860	0.35	13.57%	38.40
UL2	0	40.32	1780	2110	0.27	61.02%	472.70

DPSH5							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	29.33	1410	1880	0.34	23.67%	48.38
UL2	0	45.49	1850	2150	0.25	73.98%	586.33

P1							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	31.08	1440	1900	0.34	30.50%	-
UL2	0	36.84	1630	2010	0.31	50.34%	272.10

P2							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	32.34	1480	1920	0.33	35.06%	79.00
UL2	0	35.28	1630	2010	0.31	46.02%	272.10

P3							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	26.4	1450	1900	0.34	29.34%	67.40
UL2	0	26.4	1600	1990	0.31	40.59%	236.70

P4							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	32.35	1480	1920	0.33	34.08%	79.00
UL2	0	34.08	1620	2010	0.31	42.16%	260.30

P5							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	30.23	1480	1920	0.33	34.56%	79.00
UL2	0	33.38	1600	1990	0.31	41.21%	236.70

P6							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	31.24	1450	1900	0.34	34.81%	67.40
UL2	0	37.22	1600	1990	0.31	50.57%	236.70

P7							
	c'	ϕ'	γ	γ_d	ν	ε	E
	[–]	[°]	[daN/m³]	[daN/m³]	[–]	[%]	[daN/cm²]
UL1	0	31.84	1460	1910	0.34	37.28%	73.20
UL2	0	38.33	1630	2010	0.31	53.19%	272.10

Per la progettazione, sono stati assunti i parametri caratteristici del terreno ritenuti più rappresentativi, ossia quelli della prova S2, Strato (1):

$c' = 0\ kN/m^2$	coesione
$\phi' = 36°$	angolo d'attrito
$\gamma = 16.6\ kN/m^3$	peso unità di volume
$\gamma_d = 20.3\ kN/m^3$	peso unità di volume saturo
$v = 0.3$	Poisson
$\varepsilon = 49\%$	densità relativa
$E = 217.8\ daN/cm^2$	modulo di Young

La profondità di influenza delle opere previste in progetto non è superiore a quella del primo strato indagato, motivo per cui è lo strato preso a riferimento.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

6.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO AI SENSI DELLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 30 DICEMBRE 2019, N. 6-887

Per classificazione sismica si intende un sistema di normative che determina in che modo e dove gli edifici di nuova costruzione vanno costruiti secondo criteri antisismici, in modo cioè da resistere senza crollare alle forze sismiche. Il rischio sismico è definibile come l'incrocio tra dati di pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata), di vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni) e di esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio). Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire a chi costruisce un edificio nuovo un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale gli edifici vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza crollare. Un edificio antisismico può quindi danneggiarsi in caso di terremoto (anzi, nel caso di certe tipologie edilizie l'edificio "deve" danneggiarsi, poiché tale danneggiamento aiuta a scaricare l'energia sismica ed a impedire il crollo).

Il Comune interessato dall'intervento in progetto, in base alla Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 ed all'ordinanza OPCM 3519/2006 "Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte", di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65- 7656, è inserito nella classificazione sismica dei Comuni italiani in **zona 3**.

6.2. ANALISI DELLA SISMICITÀ E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Nel seguito si riportano indicazioni tratte dalle linee guida dell'Associazione Geotecnica Italiana e dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

Le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, in generale, alle condizioni reali. E' necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica che emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come "superficie" il "piano di riferimento" cosi come definito, per le diverse tipologie strutturali, al § 3.2.2 delle NTC/2018. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

effetti stratigrafici, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;

effetti topografici, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno e dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

6.3. CATEGORIE DI PROFILO STRATIGRAFICO DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC/2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC/2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove:

- hi spessore dell'i-esimo strato;
- VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro Vs30 (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Con il nuovo D.M. delle Infrastrutture 17.01.2018, punto 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", vengono definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Il terreno indagato è classificabile, secondo lo schema presente nel D.M. 17.01.2018, alla luce delle indagini sismiche effettuate in sito e riportate nei precedenti capitoli, come suolo appartenente alla **categoria B**.

6.4. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Ai sensi del nel § 3.2.3.2.1 "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali delle NTC/2018", per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti Ss e Cc possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo e Tc* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV delle NTC/2018, nelle quali g = 9,81 m/s2 è l'accelerazione di gravità e Tc* è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

6.5. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.V delle NTC/2018, in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove ST assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove ST assume valore unitario.

L'area oggetto d'indagine ricade nella **Categoria T2**.

6.6. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E DELLE AZIONI DI PROGETTO

La "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("Periodo di riferimento" VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Questa probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" Pvr. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale e, in un sito generico, deve essere descritta sia in termini geografici che in termini temporali fornendo i risultati dello studio di pericolosità:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima ag e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC (nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite).
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km).
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR.

Secondo quanto previsto dalle NTC/2018 gli stati limite (SL) per i quali l'opera viene progettata sono definiti, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.
- Nelle NTC/2018 la stima della pericolosità sismica è basata su una griglia di 10751 punti ove viene fornita la terna di valori ag, Fo e T*C per nove distinti periodi.

6.7. STATI LIMITE DI RIFERIMENTO

Ai sensi del par. 3.2.1. delle NTC/2018, gli stati limite di riferimento nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono invece:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della

resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PvR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC:

Stati Limite		Pvr; Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Sono stati dunque portati a due gli Stati Limite di Esercizio (SLE), facendo precedere lo Stato Limite di Danno (SLD) - ridefinito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee nelle condizioni postsismiche - dallo Stato Limite di immediata Operatività (SLO), particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.), in tal modo articolando meglio le prestazioni della struttura in termini di esercizio. In modo analogo, sono stati portati a due gli Stati Limite Ultimi (SLU) facendo seguire allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), individuato definendo puntualmente lo stato limite ultimo, lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), particolarmente utile come riferimento progettuale per alcune tipologie strutturali (strutture con isolamento e dissipazione di energia) e, più in generale, nel quadro complessivo della progettazione antisismica.

I quattro stati limite così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV, SLC), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (Cfr.: Tabella 3.2.I delle NTC) valori della probabilità di superamento PvR pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, valori che restano immutati qualunque sia la classe d'uso della costruzione considerata; tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento VR proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

6.8. PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito vengono riportati i parametri ed i coefficienti sismici di riferimento (ed in particolare la terna di valori ag, Fo e T*C) ottenuti dalla stima della pericolosità sismica basata sulla griglia di riferimento.

Sito in esame.

latitudine:	45,069436
longitudine:	7,509691
Classe:	3
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 13568	Lat: 45,0842	Lon: 7,4728	Distanza: 3333,960
Sito 2	ID: 13569	Lat: 45,0877	Lon: 7,5433	Distanza: 3331,587
Sito 3	ID: 13791	Lat: 45,0379	Lon: 7,5482	Distanza: 4637,114
Sito 4	ID: 13790	Lat: 45,0343	Lon: 7,4777	Distanza: 4639,958

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B	
Categoria topografica:	T2	
Periodo di riferimento:	75anni	
Coefficiente cu:	1,5	

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	45	[anni]
ag:	0,034 g	
Fo:	2,539	
Tc*:	0,208	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	75	[anni]
ag:	0,041 g	
Fo:	2,577	

Tc*:	0,223	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	712	[anni]
ag:	0,088 g	
Fo:	2,643	
Tc*:	0,274	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1462	[anni]
ag:	0,109 g	
Fo:	2,647	
Tc*:	0,284	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,510
St:	1,200
Kh:	0,010
Kv:	0,005
Amax:	0,480
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,490
St:	1,200
Kh:	0,012
Kv:	0,006
Amax:	0,583

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,025

Kv: 0,013

Amax: 1,240

Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,200

Cc: 1,420

St: 1,200

Kh: 0,038

Kv: 0,019

Amax: 1,533

Beta: 0,240

7. STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Come esposto nella Relazione Geologica, stante la composizione granulometrica dei terreni di fondazione, il loro addensamento ed in particolare le accelerazioni massime previste, si ritiene che rispetto alle magnitudo attese i fenomeni di liquefazione siano alquanto improbabili.

La verifica alla liquefazione può essere omessa.

8. METODO DI VERIFICA

Secondo le NTC 17 gennaio 2018, per fondazioni superficiali, occorre eseguire almeno le seguenti verifiche agli **SLU**:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
  - Collasso per scorrimento sul piano di posa della fondazione
  - Stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR):
  - Raggiungimento della resistenza nei plinti/travi di fondazione.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 (combinazione 2) mentre le rimanenti verifiche secondo l'Approccio 2. Nelle verifiche di tipo strutturale allo SLU il coefficiente γ_r NON deve essere preso in conto.

APPROCCIO 1 (DA1)		APPROCCIO 2 (DA2)
⇓	⇓	⇓
Combinazione 1	Combinazione 2	Combinazione 1 o Unica
(A1+M1+R1)	(A2+M2+R2)	(A1+M1+R3)
(STR)	(GEO)	(STR + GEO)
		R1

I coefficienti parziali per le azioni da adottare sono:

Tab. 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[1]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

I coefficienti parziali da adottare per i parametri geotecnici sono:

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

I coefficienti parziali per le resistenze caratteristiche dei pali soggetti ad azioni assiali sono:

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Per quanto concerne le verifiche agli **SLE** occorre invece calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, sempre nel rispetto della condizione $E_d<C_d$.