

**CAMPANILE DELLA CHIESA CATTEDRALE
DI SANTO STEFANO MARTIRE E SANTA MARIA ASSUNTA
PIAZZA DUOMO N. 11 - 27100 PAVIA (PV)**



INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXTGENERATIONEU -

CUP F16J22000440006 [Cod. Int. POP427] - PNRR21 POP 427 M1C3I2.4 - CIG 9751487DA1



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



**MINISTERO
DELLA
CULTURA**

COMMITTENTE



Comune di Pavia
P. IVA: 00296180185
Piazza Municipio n.2 - 27100 Pavia (PV)
tel. 0382 3991 - fax 0382 399227
PEC: Protocollo@pec.comune.pavia.it

*Settore: 6 - LAVORI PUBBLICI,
MANUTENZIONI, ESPROPRI, MOBILITA'
Ufficio: U.O.I. - SUPPORTO GIURIDICO
DEL SETTORE 6*

*Responsabile del Procedimento:
Arch. Silvia Canevari*

PROGETTISTI

R.T.P. (Raggruppamento temporaneo di professionisti)

Ing. NICOLA VERDI
C.F. VRDNCL72H22G388Q - P.IVA 01806320188
Viale Ambrogio Necchi 4 - 27100 Pavia (PV)

Arch. STEFANO ZANNI
C.F. ZNNSFN83E28M102N - P.IVA 02326440183
Piazza Emanuele Filiberto, n. 4 - 27100 Pavia (PV)

Ing. GIORGIO RUBINI
RBNGRG98T09G388X - P.IVA 02907150185
Corso Carlo Alberto 38 - 27100 Pavia (PV)

FORMATO (ISO)

A4

OGGETTO

PROGETTO ESECUTIVO

SCALA

-

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA

NUMERO

RGGS

DATA

novembre 2023

DOCUMENTO

RGGS.doc

APPROVATO /
AUTORIZZATO

NV-SZ

ECOGIS

studio geologico associato

Gianluca Nascimbene
Giuseppe Zuffada

Sede legale e Uffici :

Via A. Moro, 5
27028 S. Martino Siccomario (PV)
Tel. 0382/1750334 - Fax 0382/1752557
Email : ecogis@ecogis.it
P.Iva/C.F. 02300900186



REGIONE: Lombardia

PROVINCIA: Pavia

COMUNE: Pavia

PNRR21 POP 427 M1C3I2.4 progettazione definitiva ed esecutiva e coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione per l'intervento di :“PNRR21 POP 427 M1C3I2.4 CAMPANILE DELLA CHIESA CATTEDRALE DI SANTO STEFANO MARTIRE E SANTA MARIA ASSUNTA – PAVIA - PIAZZA DUOMO 11 – INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO - FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXTGENERATIONEU - CUP F16J22000440006-POP427-CIG9751487DA1.

A CURA DI:

Dott. Geol.

GIANLUCA NASCIMBENE

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia
N° 1076*



RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA

DATA:
GIUGNO 2023

COMMITTENTE:



1. PREMESSA	2
2.1 Aspetti geografici e geolitologici	3
2.2 Aspetti idrografici e idrogeologici	4
2.2.1 Movimenti dell'acqua nel terreno	5
2.3 Fattibilità geologica e vincolistica	8
3. DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA LOCALE	11
3.1 Caratterizzazione sismica del sito	14
4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA	28
5 SCAVI.....	31
6 TERRE E ROCCE DA SCAVO	33
7. CONCLUSIONI	36

1. PREMESSA

La presente relazione geologica simica , redatta ai sensi delle NTC 2018 a supporto della progettazione definitiva/esecutiva dei lavori di miglioramento sismico del campanile della Chiesa Cattedrale di Santo Stefano Martire, nel comune di Pavia illustra risultati delle indagini geologico – tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno e per la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dell'area (Vseq) sono state consultate alcune indagini geologiche svolte dallo scrivente nei pressi dell'area in studio.



Fig.1 – Immagine satellitare

NORMATIVA NAZIONALE DI RIFERIMENTO

- ✓ **D.M.LL.PP. 11/03/88** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ **D.M. 9 Gennaio 1996** Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi
- ✓ **D.M.16 Gennaio 1996** Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- ✓ **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 le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.05.2003)
- ✓ **Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003** Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003

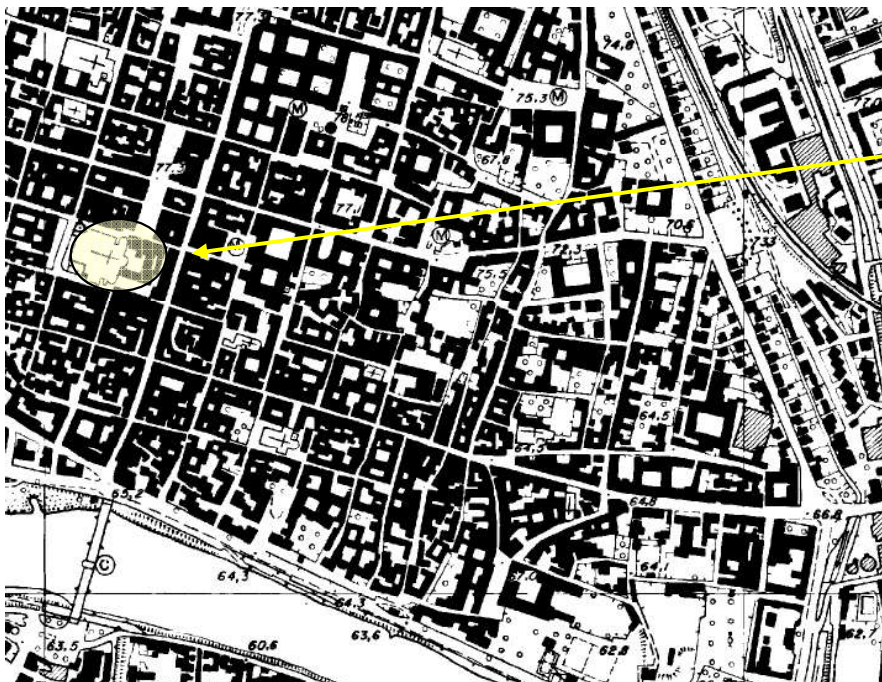
- ✓ **OPCM 3 maggio 2005** Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (Ordinanza n. 3431)–(G.U.n.107del10 maggio2005–Suppl.Ord.n. 85)
- ✓ **D.M. 17 gennaio 2018** "Norme tecniche per le costruzioni 2008
- ✓ **Eurocodice 7** Progettazione geotecnica
- ✓ **Eurocodice 8** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- ✓ **D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

2.1 Aspetti geografici e geolitologici

Dal punto di vista cartografico l'area risulta ubicata sulla Carta tecnica regionale in Scala 1 : 10.000 nella sezione B7b4 e sulla Carta Geologica d'Italia in Scala 1 : 100.000 nel F° n. 59 "Pavia". I terreni in esame sono situati alla quota topografica di circa 75 m s.l.m, nella parte centrale del comprensorio comunale di Pavia (vd. Fig. 1 – Inquadramento territoriale).

In particolare l'area si trova nel pieno centro storico di Pavia, dal punto idrografico è posta sulla sinistra idrografica del Fiume Ticino.



Lotto in esame

Fig. 2 – Inquadramento territoriale

Dal punto di vista geologico i terreni più antichi appartengono alle alluvioni del *Fluvioglaciale e Fluviale Wurm* (Pleistocene superiore) deposte durante la glaciazione wurmiana costituite principalmente da ghiaie, sabbie e livelli argillosi; tale deposito è noto in letteratura come "Piano Generale Terrazzato" della Pianura Lombarda.

Tali terreni si raccordano con evidenti terrazzi di origine fluviale, talvolta mascherati dall'intervento antropico per urbanizzazioni o pratiche agricole, con le *Alluvioni antiche* deposte in epoca olocenica e con le *Alluvioni attuali* deposte del Fiume Ticino.

Dall'osservazione della Carta Geologica e da quanto riportato in Letteratura, le alluvioni antiche, che caratterizzano il terrazzo intermedio dove ricade l'area di studio, sono essenzialmente costituite da ghiaie e sabbie prevalenti.

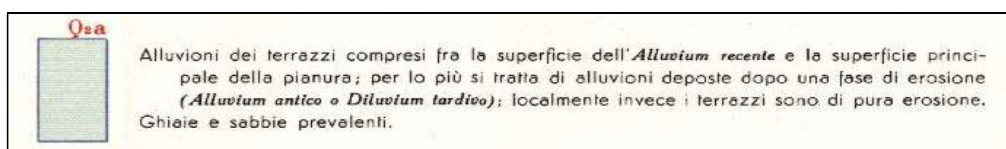
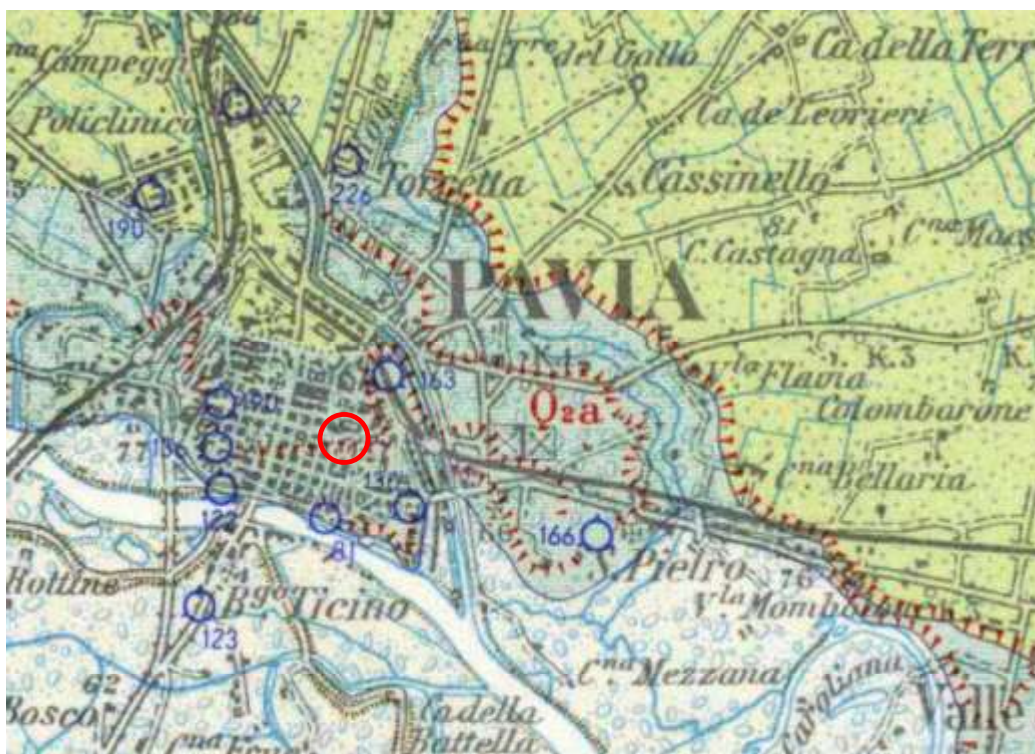


Fig.3 - Carta geologica d'Italia foglio 59 "Pavia"

2.2 Aspetti idrografici e idrogeologici

Dal punto di vista idrografico, l'elemento più prossimo all'area in oggetto è rappresentato dal F. Ticino, che nell'area in esame scorre con direzione NO-SE, rappresenta l'asse idrogeologico principale del territorio in esame; la morfologia pianeggiante della pianura pavese è movimentata in alcuni tratti da evidenti scarpate di terrazzo di origine fluviale che delimitano il "livello principale della pianura Lombarda" o "Piano generale terrazzato" (P.G.T.) dal ripiano inferiore.

Nella pianura pavese, all'interno del materasso alluvionale si possono distinguere una falda libera superficiale (falda freatica sospesa FFS, falda freatica di base FFB), la cui soggiacenza è prossima alla superficie topografica e, in profondità, un sistema sovrapposto di falde confinate (FC1 –FC2 –FC3). Nell'ambito del **primo acquifero** (a pelo libero) (**FFS**) sono spesso rilevabili falde sospese assai prossime al piano campagna che traggono la propria alimentazione dall'infiltrazione delle acque di precipitazione e, in particolar modo, dalle pratiche irrigue. La **falda freatica** di base (**FFB**) sottostante costituisce un serbatoio a livello regionale ma presenta un grado elevato di vulnerabilità per l'assenza di copertura a bassa conducibilità idraulica, quindi facilmente accessibile alle sostanze inquinanti. Nella fattispecie il corpo idrico insito nel materasso alluvionale, ad elevata permeabilità, risulta normalmente contraddistinto da un regime paleosamente freatico, fatte eccezioni dovute a fenomeni di semiconfinamento legati alla presenza di un tetto argilloso. La locale presenza di discontinui livelli semipermeabili può provocare la stagionale formazione di ulteriori falde sospese a quote topografiche superiori a quella normalmente individuata. Le sequenze litologiche che caratterizzano gli acquiferi conseguono potenze di oltre 200 m e le perforazioni testimoniano la presenza di almeno quattro falde sovrapposte con caratteristiche idrogeologiche peculiari dipendenti dal mezzo che le contiene. Circa l'alimentazione delle falde che permeano il sottosuolo di questa porzione di pianura si ritiene che l'apporto più consistente derivi da zone dell'alto milanese. La locale presenza di discontinui livelli semipermeabili soprastanti l'orizzonte che sostiene la prima falda libera può provocare la stagionale formazione di ulteriori falde "sospese" a quote topografiche superiori; mentre in alcuni casi la locale assenza dell'orizzonte sostenente la prima falda libera può portare alla scomparsa della falda stessa, che viene a trovarsi in diretta connessione con la seconda falda libera (falda libera principale). L'area in esame si trova nella parte orientale dell'abitato di Pavia, l'andamento delle curve isopiezometriche evidenzia un senso di deflusso della falda più superficiale verso sud-ovest a causa dell'effetto drenante operato dal Fiume Ticino.

2.2.1 Movimenti dell'acqua nel terreno

La definizione esatta nello spazio della circolazione sotterranea delle acque di infiltrazione efficace è molto complessa e può essere sintetizzata secondo due tipologie di movimento principali:

- ✓ *sub-orizzontali* : sono legati al moto di deflusso delle acque della falda, hanno direzione di flusso prevalentemente orizzontale dalle zone di alimentazione alle zone di recapito o emergenza
- ✓ *sub-verticali* : assumono una direzione essenzialmente verticale ed un verso che può essere di tipo discendente durante il moto di percolazione verso la falda, ascendente nelle fasi di risalita capillare o misto durante le oscillazioni del livello piezometrico, con alternanze di movimenti ascendenti e discendenti.

La percolazione verso la falda è quel processo attraverso il quale le acque di infiltrazione efficace sotto l'azione della forza di gravità si muovono verso il basso attraverso i meati intercomunicanti del terreno (roccia, substrato roccioso, sedimenti di copertura) lungo percorsi più o meno lunghi e articolati.

La velocità del movimento verso la falda è in funzione del diametro dei meati e del tipo di comunicazione esistente tra loro, infatti si può osservare come a parità di quantità di acqua defluente attraverso una data sezione di terreno (acquifero) nell'unità di tempo e a parità di altri fattori condizionanti, le resistenze dovute all'attrito tra le particelle e l'acqua sono inversamente proporzionali alla dimensione dei meati, con un progressivo aumento della velocità con l'aumentare delle dimensioni dei vuoti intergranulari.

Al contrario l'ascensione capillare anch'essa funzione del diametro dei vuoti, è massima nei terreni con meati di piccolo diametro (limi e argille), nei quali le forze di adesione che si generano tra ogni singola molecola d'acqua e quelle adiacenti poste entro un dato raggio d'influenza sono più elevate rispetto a quanto succede nei vuoti di grosso diametro (sabbie e ghiaie).

La seguente tabella fornisce indicazione di carattere qualitativo sulle altezze di risalita capillare per diversi tipi di terreni omogenei (Silin Beckurin, 1958).

Litologia	Risalita capillare (cm)
<i>Sabbia grossolana</i>	$2 \div 5$
<i>Sabbia</i>	$12 \div 35$
<i>Sabbia fine</i>	$35 \div 70$
<i>Limo</i>	$70 \div 150$
<i>Argilla</i>	$150 \div 400$

Tabella 1 – Altezze di risalita capillare per diversi tipi di terreno

Dall'analisi della tabella precedente risulta che il terreno individuato al piano di posa delle fondazioni in esame (sabbia), permette una risalita capillare dell'acqua dell'ordine di circa $12 \div 35$ cm dal livello superficiale della falda freatica.

Le oscillazioni del livello piezometrico nel tempo sono continue, anche se a volte possono risultare impercettibili e sono regolate sia da cause naturali, sia da cause artificiali.

Le condizioni climatiche padane sono sostanzialmente di tipo continentale, con inverni rigidi ed estati calde, elevata umidità specie nelle zone con più ricca idrografia, nebbie frequenti specie in inverno, piogge piuttosto limitate e relativamente ben distribuite durante tutto l'anno; la ventosità è ridotta e frequenti sono gli episodi temporaleschi estivi. In generale si rileva che la quantità di pioggia che cade in questa stagione è superiore a quella invernale anche se più irregolarmente distribuita.

In autunno il clima è caratterizzato dall'ingresso sull'area padana di intense perturbazioni e le piogge che ne derivano sono in genere di rilevante entità.

In complesso la distribuzione annuale delle precipitazioni nell'area a clima padano presenta due massimi, uno principale in autunno (intorno ad ottobre-novembre) ed uno secondario in primavera (intorno a maggio - giugno).

Le principali cause naturali dell'innalzamento del livello freatico sono da ricercare negli apporti idrici dovuti alle precipitazioni atmosferiche e nei rapporti idrogeologici con i livelli dei fiumi e dei laghi.

Le più importanti variazioni dovute a cause artificiali sono attribuibili all'utilizzazione e/o ricarica delle falde da parte dell'uomo (per uso umano, agricolo, industriale).

La falda risente dell'azione drenante esercitata dal Fiume Ticino e pertanto scorre con direzione principale da NNO-SSE.

La cartografia allegata al PGT di Pavia, rappresenta l'andamento della falda freatica sospesa alla quota di 60 m s.l. m. (10 m dal piano campagna).

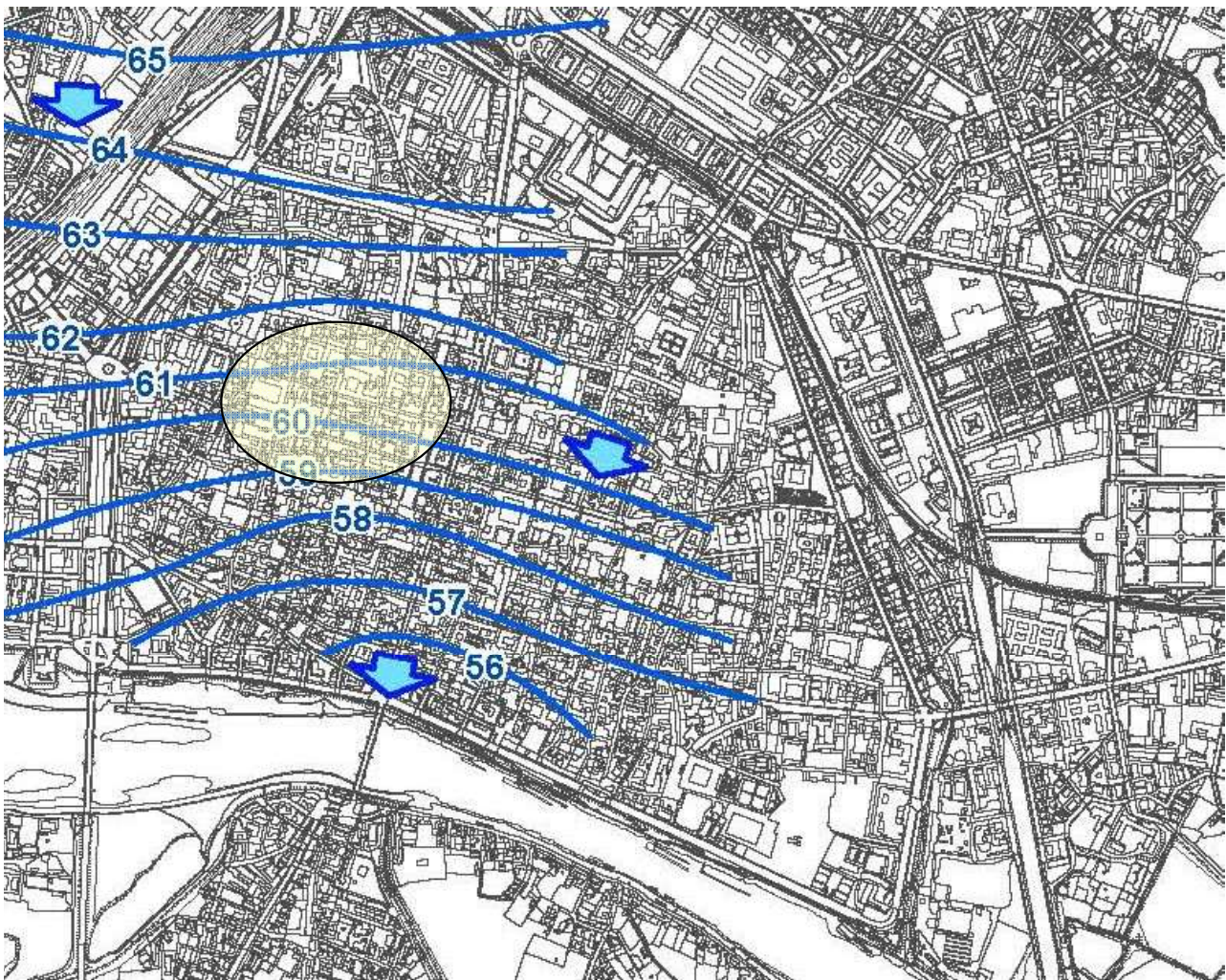
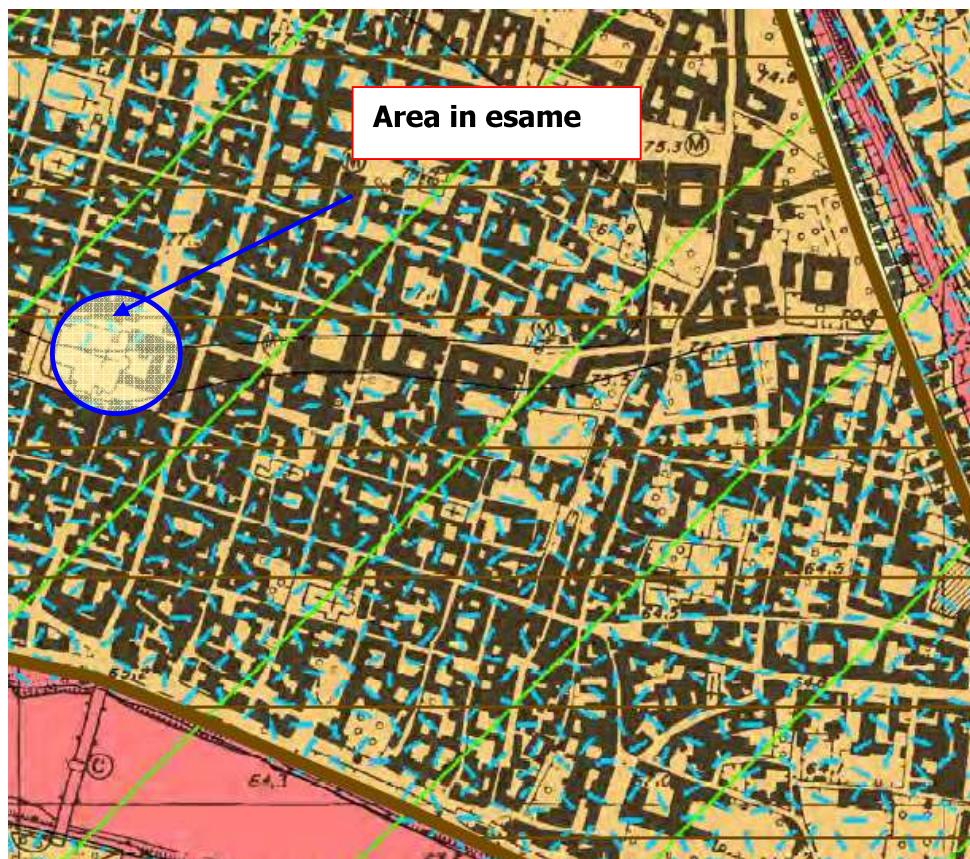


Fig.4 – Andamento della seconda falda libera (tratto dal PGT e ridisegnato). I numeri indicano il livello della falda espressa in m s.l.m.

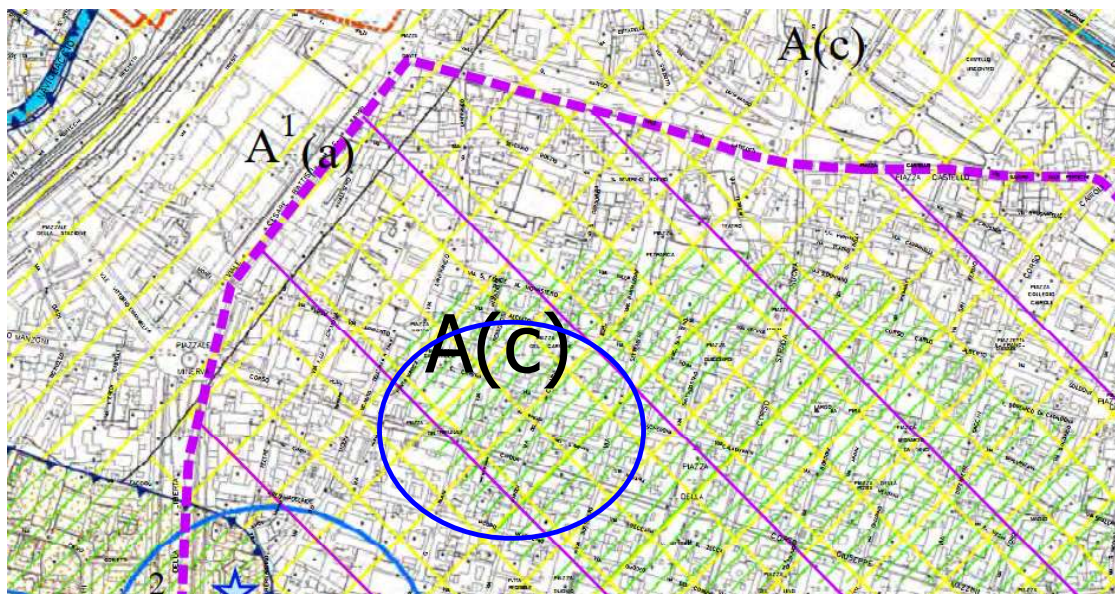
2.3 Fattibilità geologica e vincolistica

Dall'analisi dello studio geologico redatto dal dott. Geol. Fabrizio Finotelli, allegato al P.G.T. del Comune di Pavia, risulta come l'area in esame ricada all'interno della classe 3 di fattibilità geologica "Fattibilità con consistenti limitazioni".



Classe 3 (arancione) - Fattibilità con consistenti limitazioni. La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Sono state inserite in questa classe: le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **C** e **D** di cui alla TAV. 9; le sotto-unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **E_B**, **E¹_B** e **F_B** di cui alla TAV. 9; le aree edificate ricadenti nella Fascia fluviale B in classe di rischio idraulico R3; le zone contraddistinte dalla locale presenza di cavità nel sottosuolo (collettori fognari di epoca romana e medioevale) in genere con sommità a quote debolmente inferiori rispetto alle fondazioni dell'edificato esistente, i cui eventuali crolli potrebbero indurre cedimenti o lesioni strutturali più o meno gravi al patrimonio edilizio esistente; i siti contaminati o potenzialmente tali (procedure ex D.M. 471/1999, D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. e situazioni confrontabili pre D.M. 471/1999) ad esclusione dei siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso.

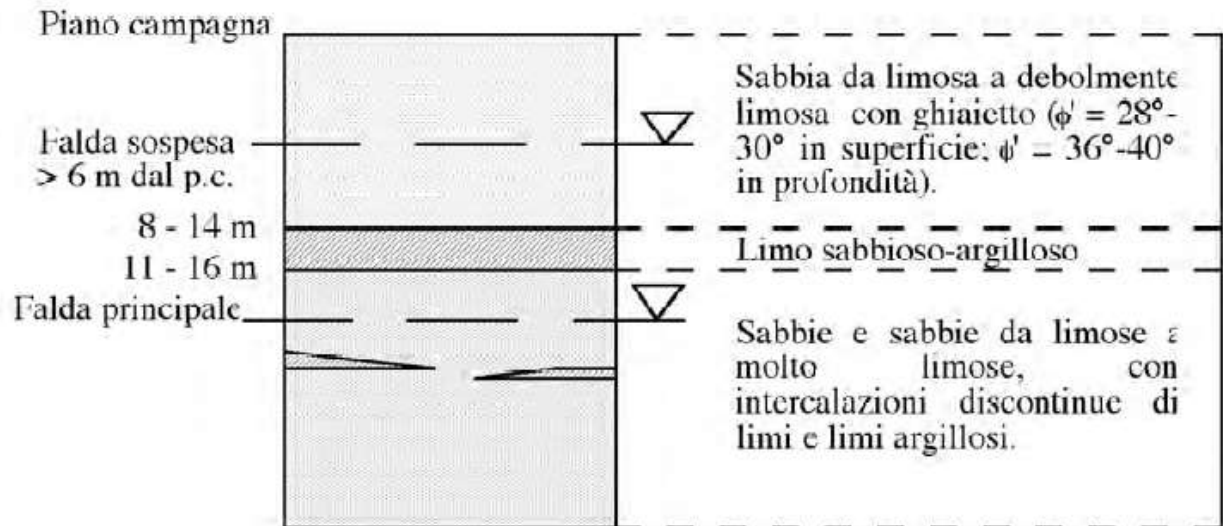
Fig.5 Stralcio di "Carta della fattibilità geologica" -



- A¹(a)** **MORFOLOGIA:** ripiani impostati su depositi alluvionali del “Fluviale recente” (Piano Generale Terrazzato della pianura lombarda), sopraelevati di almeno 10 ÷ 24 m rispetto agli alvei attivi.
- A²(a)** **LITOLOGIA:** sono costituiti prevalentemente da sabbie (spesso alterate in superficie) con sporadici orizzonti a scheletro più grossolano e con intercalazioni a diversa profondità di limi e limi argillosi. Le informazioni geognostiche disponibili consentono la delimitazione sommaria delle zone ove tali intercalazioni sono generalmente presenti: dalla profondità di 2,5 ÷ 5 m alla profondità di 6 ÷ 8 m dal piano campagna (**A¹(a)**); superficialmente, fino a 3,5 ÷ 5,5 m dal piano campagna (**A²(a)**).
- A(a)** **IDROGEOLOGIA:** è generalmente presente una prima falda sospesa rispetto alla falda principale, a profondità variabile in funzione delle condizioni morfologiche e idrogeologiche locali; la superficie di tale falda sospesa è generalmente ubicata, in condizioni normali, alle seguenti profondità: 2 ÷ 4 m dal piano campagna o stagionalmente prossima alla superficie (**A(a)**); 5 ÷ 6 m dal piano campagna con escursioni stagionali fino a 3 ÷ 4 m dal piano campagna (**A(b)**); maggiore o uguale a 6 m (**A(c)**). La permeabilità e la vulnerabilità della porzione superficiale della successione sono relativamente elevate. Per ulteriori informazioni si rimanda alla TAV. 3.
- A(c)** **IDRAULICA:** aree non inondabili.

Fig.6- Stralcio di “Carta di sintesi” – TAV.9 del PGT

Si riporta di seguito lo schema litostratigrafico caratteristiche dell’unità litologica indagata (unità A(c)):



UNITÀ A(c)

Fig.7- Schemi indicativi delle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche delle singole unità idro - geo - morfologiche (studio geologico allegato al P.G.T.)

3. DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA LOCALE

Si specifica che a seguito della D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", il Comune di Pavia è passato alla **"classe sismica 3"**.

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di a_g sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di **PAVIA** nella sottozona caratterizzata da valori di a_g compresi tra 0.050 e 0.075 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

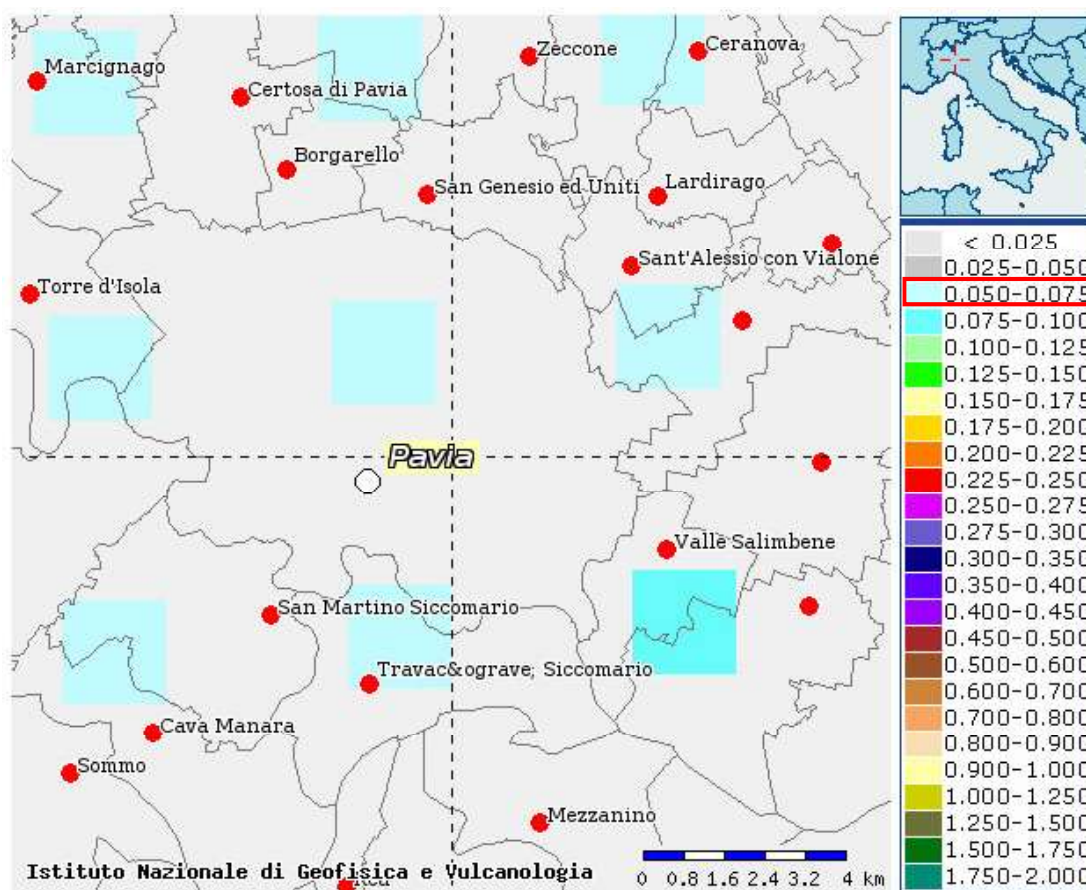


Fig. 8 Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

Più recentemente nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone

sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa. La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n°8/7374 del 28/05/2008 (punto 1.4.3) che *“la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell’OPCM 3274/03) individua unicamente l’ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria”* e specifica altresì che *“ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell’All. B al citato D.M.”*. I dati riportati nell’All.B del D.M. 14/01/2008 coincidono per lo più con quelli riportati nell’Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l’utilizzo di programmi applicativi.

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, secondo le NTC 2018, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l’utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/sec) viene classificata con valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/sec. Inoltre, come è possibile osservare dalla seguente tabella, non si ricava più la categoria di sottosuolo usando o $NSPT_{30}$ o CU_{30} .

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) 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 fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{S,eq}$) compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 ($V_{S,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 ($V_{S,eq}$) 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.

Tabella 1 - Categorie di sottosuolo

Nelle definizioni precedenti V_{seq} è la velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

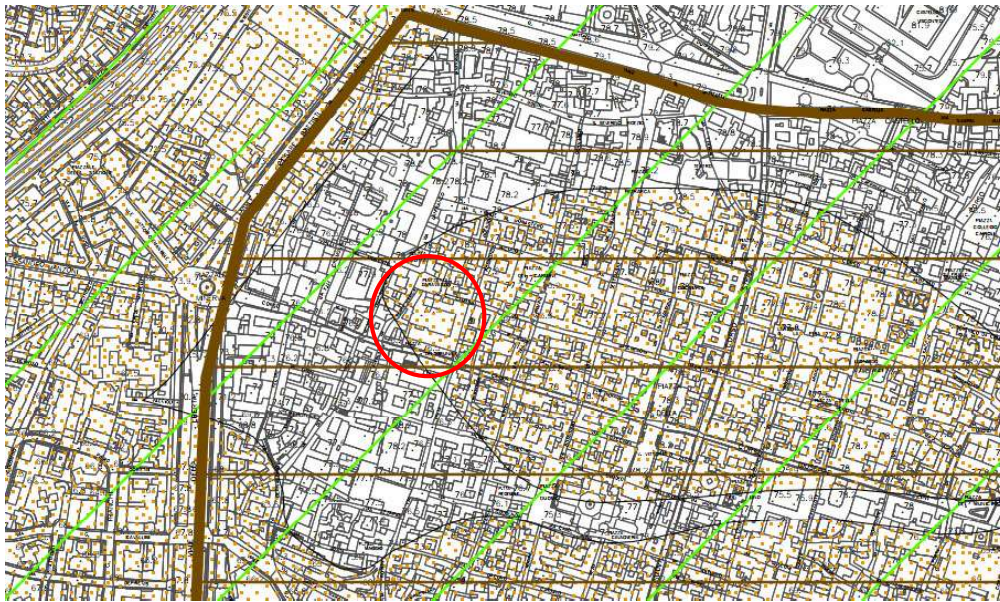
h_i = spessore dello stato i -esimo;

$V_{s,i}$ = 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 V_s non inferiore a 800 m/sec. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m (come nel caso in esame), la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base a quanto prescritto nelle NTC 2018, la velocità delle onde di taglio, V_{seq} , va "determinata mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico".



Z2. Zone con terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti nei primi metri di profondità (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) o con depositi granulari fini saturi, ove gli effetti da sisma possono originare cedimenti e/o liquefazioni. Sono state inserite in questa classe le seguenti unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche (vedi TAV. 9): aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc. (perimetrazione indicativa); A¹_(a); A²_(a); B¹_(a); B¹_(b); C; C¹; D_B; D_C; D¹_C; D²; D³; E¹_B.



Z4a. Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

Fig. 9 Carta di pericolosità sismica locale. In rosso l'attuale area di studio, mentre in blu l'area dove era stata condotta l'indagine pregressa

Dalla precedente immagine è possibile osservare come l'area di studio ricada in classe z4a – ed in classe Z2

3.1 Caratterizzazione sismica del sito

Poiché il Comune di Pavia ricade attualmente in classe sismica 3, in relazione allo Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4, si dovrà, in fase progettuale, applicare il 2° LIVELLO di approfondimento per ogni tipologia di edificio al fine di caratterizzare (mediante indagini dirette sui terreni oppure mediante sismica in foro o superficiale) gli effetti di amplificazione sismica locale (ai sensi della DGR 8/7374/ 2008 e DGR IX/2616 del 30 Novembre 2011) mentre in relazione allo Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z2, si dovrà applicare il 3° LIVELLO di approfondimento (verifica alla liquefazione).

3.1 Misura della Vseq tramite la tecnica "MASW"

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva 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 rigidità 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. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J.1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente 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 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

3.2 Analisi dei risultati

La definizione del tipo di suolo ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018), è stata possibile mediante la consultazione di un'indagine sismica basata sulle tecniche della sismica a rifrazione (misura diretta delle V_{seq} con metodologia MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

A tale scopo, era stato predisposto uno stendimento sismico lineare in adiacenza all'area di studio, con le seguenti caratteristiche:

S 1 - lunghezza pari a **22 m** con 12 geofoni a distanza intergeofonica di 2,0 m, punto di energizzazione dal primo geofono pari a 2 e 4 m;

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indica una V_{s30} pari a **338 m/s**.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le "NTC 2018" il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

- suolo **tipo "C"** – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 (Vs,eq) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

Si riportano di seguito la curva di inversione e il sismogramma derivante dall’analisi dello stendimento:

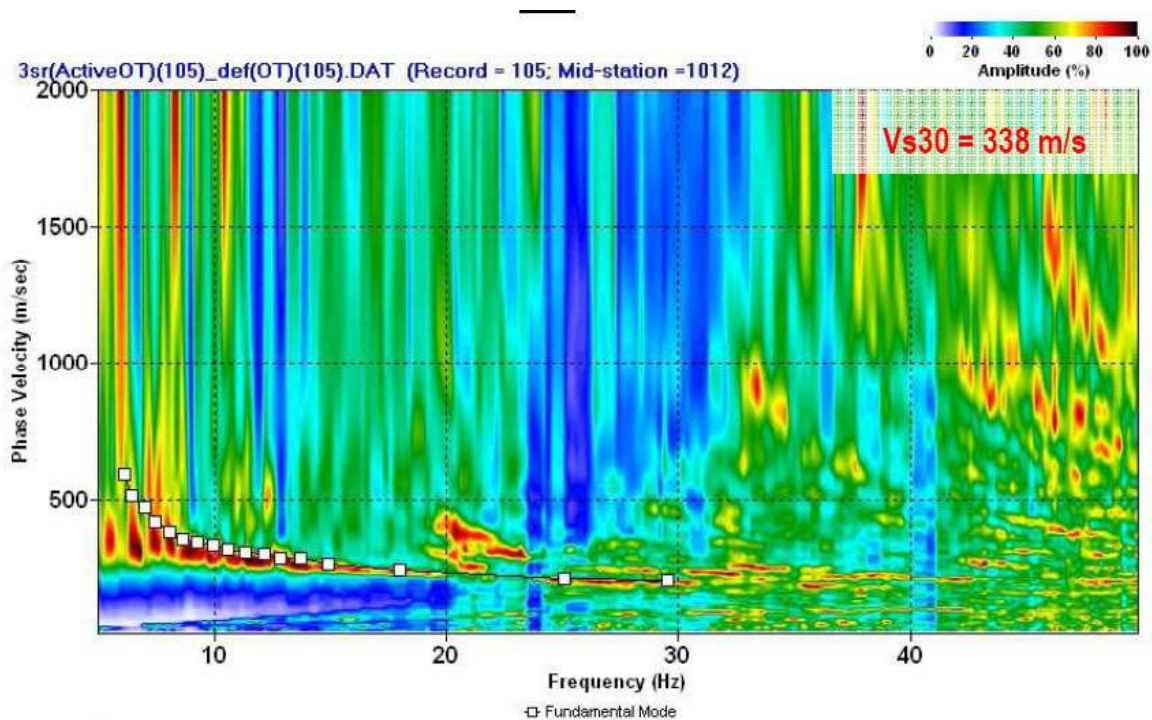


Fig. 10 -Curva di dispersione stendimento masw 1

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	1.0	1.0	205
2	2.6	1.6	220
3	5.0	2.4	180
4	7.5	2.5	350
5	11.0	3.5	340
6	15.0	4.0	380
7	20.0	5.0	370
8	26.0	6.0	400
9	30.0	4.0	650

Tabella 3 - Valori dell’inversione

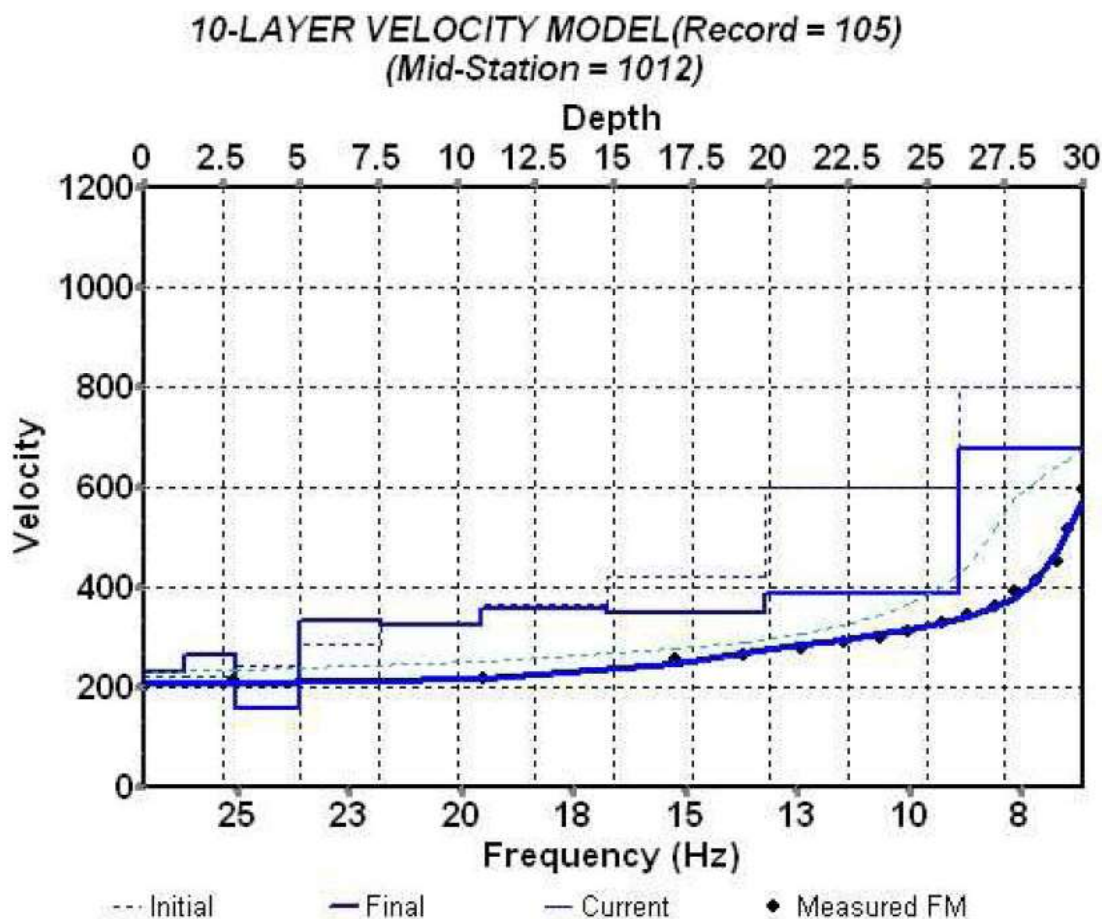


Fig. 11 - Modello risultante dall'inversione dei dati - Sismostratigrafia

3.3. Valutazione della suscettibilità sismica dell'area (Verifica di II livello)

Effetti litologici

Al fine di determinare i valori di F_a dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione dello stendimento geofisico con metodo MASW eseguito.

Mediante tale elaborazione e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia, contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, si è calcolato il valore di F_a (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto F_a è necessario ricavare il valore di V_{S30} (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità V_s degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente nella D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie sabbiose;

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. I dati ottenuti in campagna vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "sabbiosa".

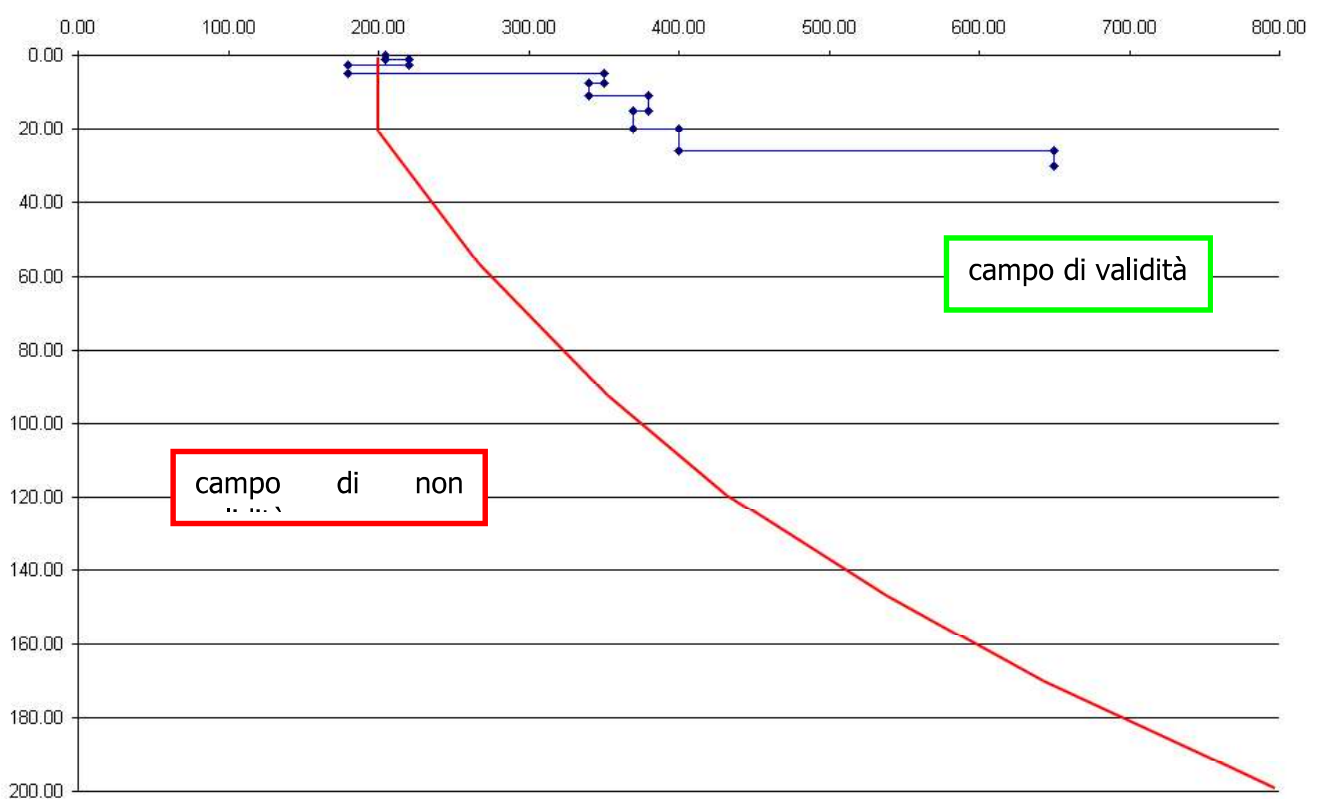


Fig 12 - Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Ottenuti la velocità del primo strato ed il relativo spessore si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare (Fig. 13) per ottenere il valore di Fa. Tale parametro (Fa) verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

Dall'analisi sismica condotta emerge come il "primo strato" abbia una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.



Fig.13 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2, che corrisponde alla curva verde di figura 14.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito, utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V s_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Valore del periodo T calcolato
0,31 s

Tabella 4 - recante il valore del periodo T calcolato

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di Fig. 14 e Fig. 15 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi e ad edifici alti.

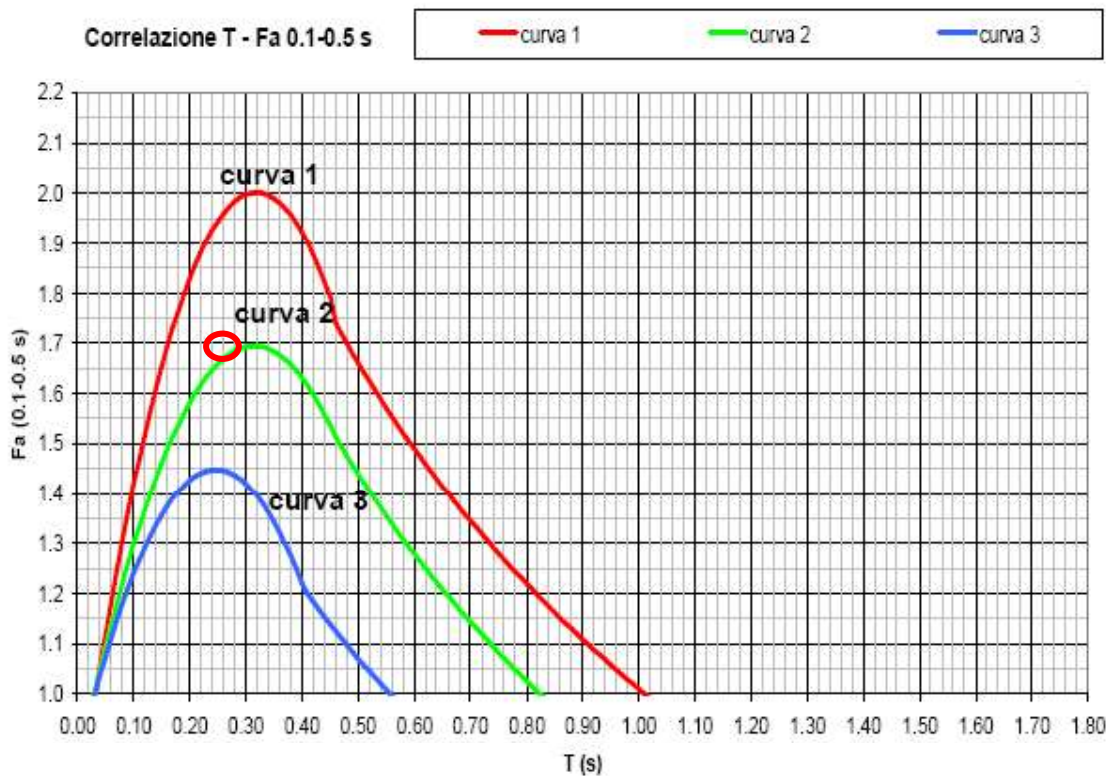


Fig. 14– Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

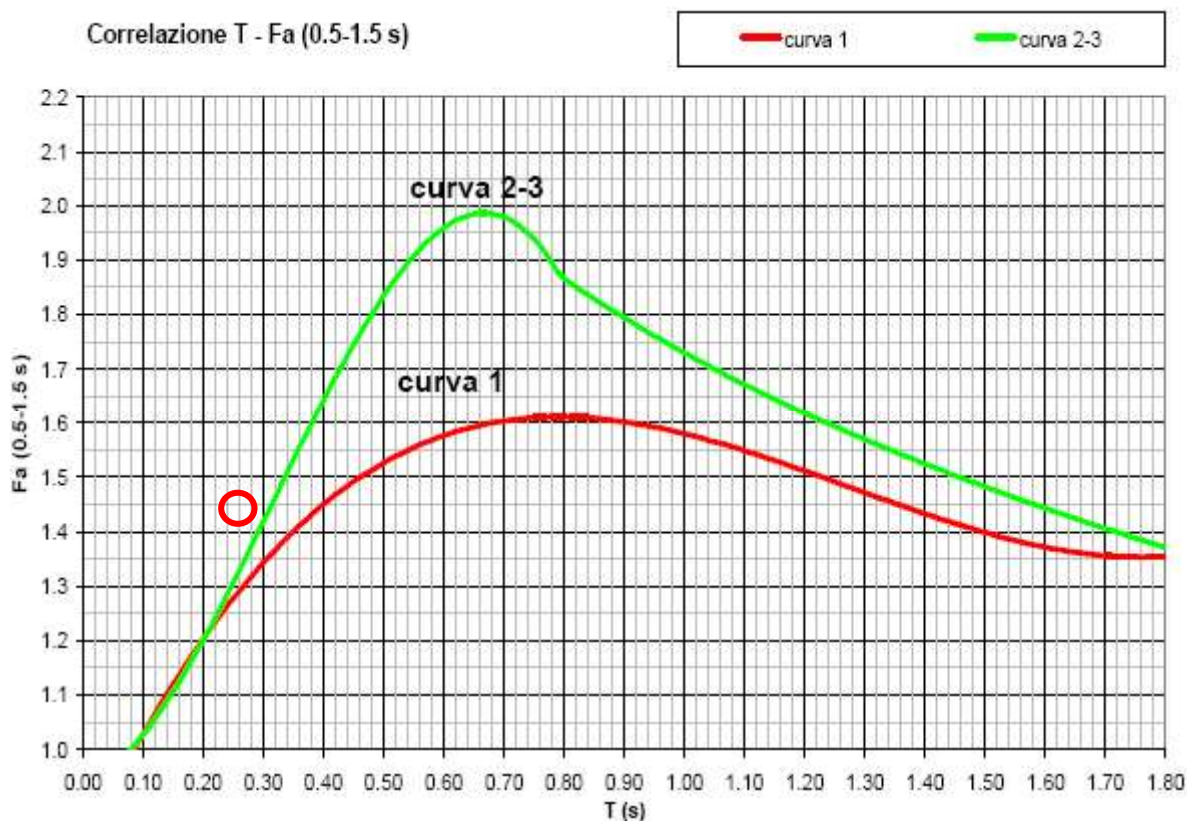


Fig. 15– Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ($T=0,31$), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa =1,70 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C =1,90) e Fa = 1,45 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40).**

Nel nostro caso il valore di Fa calcolato risulta essere inferiore al valore di Fa di riferimento per la categoria del suolo C, sia per edifici alti che per edifici bassi, pertanto i valori calcolati di Fa sono accettabili e conformi alla categoria di suolo individuata.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi ($T=0.1-0.5s$), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili ($T=0.5-1.5s$) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Pavia.

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
PAVIA	3	Suolo tipo B 1.4	Suolo tipo C 1.9	Suolo tipo D 2.2	Suolo tipo E 2.0
VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
PAVIA	3	Suolo tipo B 1.7	Suolo tipo C 2.4	Suolo tipo D 4.2	Suolo tipo E 3.1

Tabella 5 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti

3.4 Parametri sismici

Da un punto di vista topografico, l'area ricade nella classe T1 (Tab. 3.2.III - NTC 2018).

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

Tabella 6: Tab 3.2.III NTC 2018 - caratteristiche della superficie topografica

La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Nel nostro caso la vita nominale Vn è posta pari a 50 anni (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 7: Tab. 2.4.I NTC 2018 - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Alla luce di quanto esposto in precedenza, gli elementi fondamentali dell'area di interesse ed i parametri sismici del sito in esame, sono:

SITO IN ESAME	VALORE
latitudine:	45,185998
longitudine:	9,15349
Vita nominale:	50
Classe d'uso dell'edificio:	II
PARAMETRI SISMICI	VALORE
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Coefficiente c_u :	1,0

Tabella 8: dati del sito di riferimento

Le azioni sismiche di ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U):

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 9: Tab. 2.4.II NTC 2018 - Valori del coefficiente d'uso C_U

Tipo di costruzione	Classe d'uso	Coefficiente d'uso (C_U)	V_N	V_R
2	II	1.0	50 anni	75 anni

Tabella 10 – Determinazione del periodo di riferimento

A partire dai parametri di input sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} e del periodo di ritorno T_R , sono calcolati, per i diversi stati limite richiesti dalla norma, i valori a_g , F_0 , T_C^* e gli ulteriori parametri necessari per la caratterizzazione sismica locale:

		P_{VR}	T_R	Valori interpolati			Valori ricavati da a_g, F_o, e T_c^*						
		[adm]	[anni]	a_g	F_o	T_c^*	S_s	C_c	S_t	T_b	T_c	T_d	F_v
		[adm]	[anni]	[g]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	30	0,022	2,53	0,18	1,50	1,84	1,00	0,12	0,36	1,71	0,56
	SLD	63%	50	0,029	2,52	0,20	1,50	1,77	1,00	0,13	0,38	1,73	0,63
SLU	SLV	10%	475	0,070	2,51	0,28	1,50	1,60	1,00	0,15	0,45	1,92	0,96
	SLC	5%	975	0,092	2,50	0,28	1,50	1,59	1,00	0,15	0,45	2,02	1,09

Tabella 11 – Parametri e coefficienti sismici del sito

Si riportano di seguito i principali parametri e riferimenti che entrano in gioco:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite;

T_R = periodo di ritorno;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (valore nominale);

F_o = 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.

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica

C_c = coefficiente di categoria di sottosuolo

S_t = coefficiente di amplificazione topografica

T_b = tratto ad accelerazione costante

T_c = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

T_d = periodo inizio tratto a spostamento costante

F_v = fattore di amplificazione spettrale

SLE = stati limite di esercizio:

- **(SLO) Stato Limite di Operatività:** 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;
- **(SLD) Stato Limite di Danno:** 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 compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU = stati limite ultimi:

- **(SLV) Stato Limite di salvaguardia della Vita:** 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **(SLC) Stato Limite di prevenzione del Collasso:** 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.

I tre valori ottenuti di a_g , F_0 e T_c^* definiscono le varie forme spettrali. Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) secondo la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} * S$$

Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , dai valori nominali di a_g trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di a_g per $9,81 m/s^2$ e successivamente, per ottenere il valore finale di A_{max} relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare a_g (m/s^2) per i coefficienti di amplificazione sismica S , con $S = S_s \times S_t$ (in questo caso $S = 1,5$ poiché $S_s=1,50$ e $S_t=1,00$).

		a_g (accelerazione orizzontale massima)	$a_g \times g$ (m/s^2)	S (coefficiente di amplificazione sismica)	$(a_g * S) g$	$a_g * g * S = A_{max}$ (accelerazione massima)
		[g]	m/s^2			m/s^2
SLE	SLO	0,022	0,21	1,5	0.032	0,32
	SLD	0,029	0,28	1,5	0.042	0,42
SLU	SLV	0,070	0,68	1,5	0.103	1,02
	SLC	0,092	0,90	1,5	0.136	1,34

Tabella 12 – Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite

I coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e K_v (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		K_h	K_v
SLE	SLO	0,007	0,003
	SLD	0,009	0,004
SLU	SLV	0,021	0,010
	SLC	0,027	0,014

Tabella 13–Valori del coefficiente sismico orizzontale (K_h) e verticale (K_v), riferiti al sito

3.5 Fenomeno della liquefazione

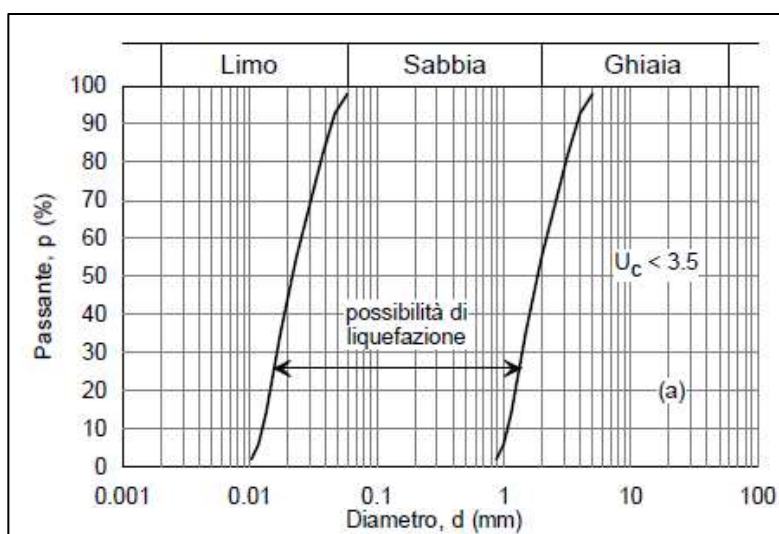
Un sito, presso il quale si intende ubicare o insiste un manufatto, deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile alla liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità dei pendii o del manufatto, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, è necessario ricorrere all'impiego di fondazioni profonde che richiedono comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Il D.M. 17/01/18 e riporta le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione, in particolare la verifica è da omettere quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure sottostanti, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



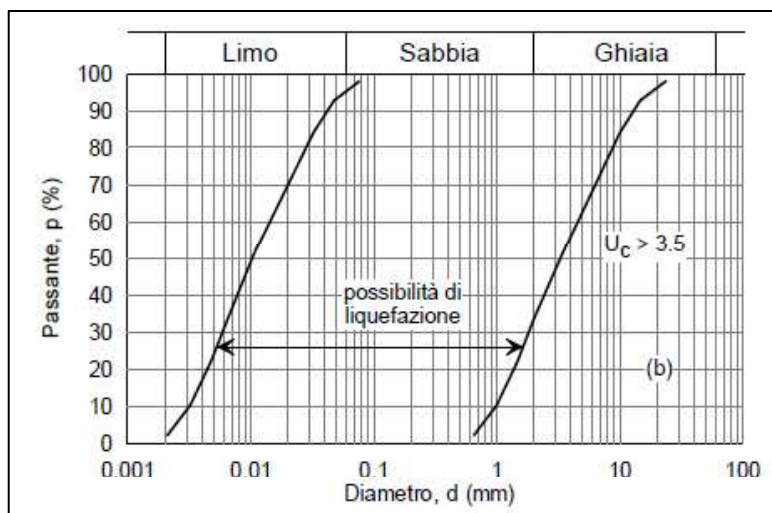


Fig. 16 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

3.6 Analisi del rischio alla liquefazione

Il calcolo è stato eseguito sulla base dei risultati ottenuti da una prova MASW eseguita, che ha fornito i valori della velocità delle onde sismiche secondarie nella parte più superficiale (V_{s30}) del terreno nel sito in esame. E' stato utilizzato il metodo di Andrus & Stokoe.

Per la stima della magnitudo si è utilizzato il metodo delle zone sismogenetiche con le modalità suggerite in "Indirizzi e criteri per la zonazione microsismica" della Protezione Civile.

Il sito è inserito al bordo nordoccidentale della zona ZS9-911 (Tortona-Bobbio), caratterizzata da $M = M_{wMax2} = 6.14$; esso si trova ad una distanza di interesse dalla zona ZS9-915 (Garfagnana-Mugello), con $M = M_{wMax2} = 6.60$ (cfr. le figure); poiché la distanza minima tra il sito e quest'ultima zona risulta di circa $R = 72$ km, applicando la $M_s = 1 + 3 \cdot \log(R)$ suggerita dalla citata Protezione Civile, la magnitudo apparente al sito risulta ($M_s = 6.57$) di pochissimo inferiore alla M di detta zona. Per il calcolo si è perciò assunta la magnitudo M_{wMax2} della zona ZS9-915, pari a 6.6, invece di assumere il valore caratteristico della zona ZS9-911, pari a 6.14.

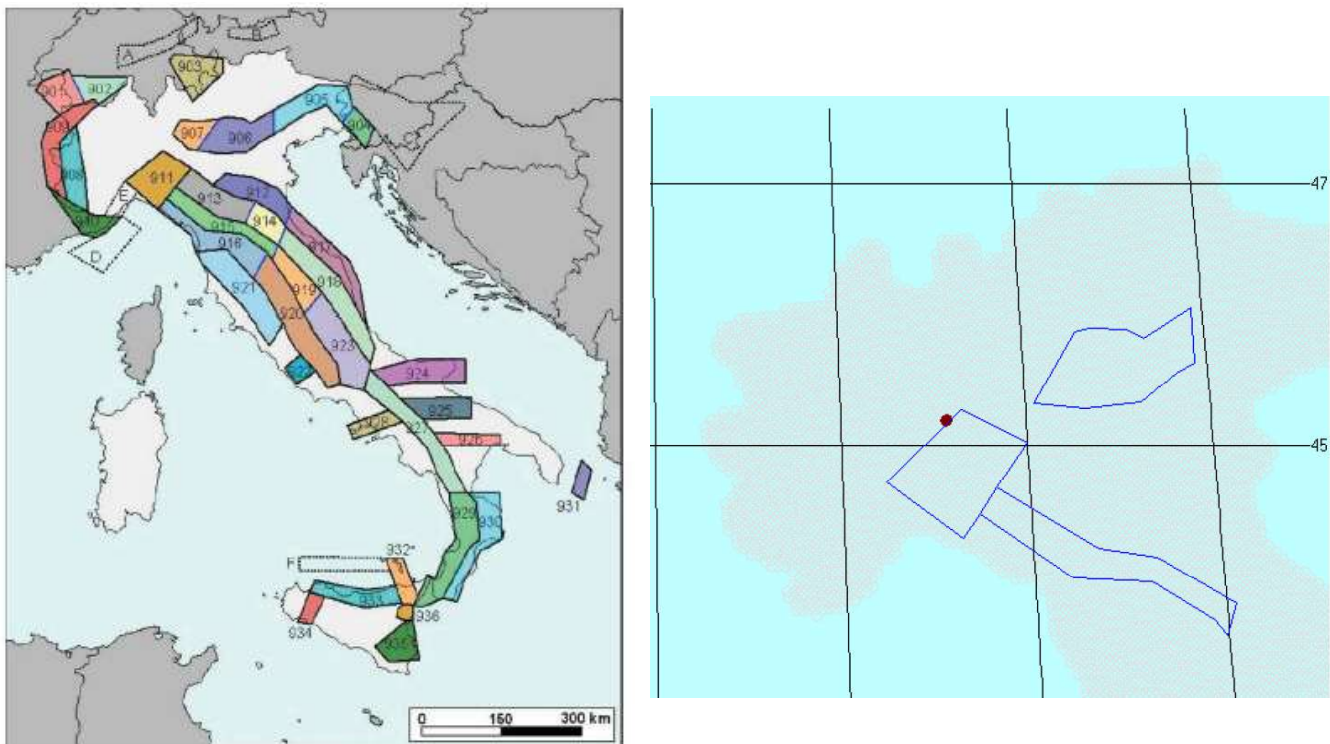


Fig. 17-18 – Zone sismogenetiche d'Italia ed ubicazione del sito nella zona sismogenetica

Per quanto attiene l'accelerazione attesa, secondo la normativa NTC, per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per una struttura di progetto di Tipo II con vita nominale di 50 anni, sul sito in esame (categoria di suolo C, categoria topografica T1, coefficiente c_u 1.5) l'accelerazione massima al suolo in free-field (PGA) raggiunge il valore 0.103 g (si rimanda alla tabella 12 dove $SLV=0.103*9.81=1.02 \text{ m/s}^2$). Cautelativamente la falda idrica è stata posta in accordo con quanto indicato nel PGT alla profondità di circa - 9.0 m dal p.c. I risultati del calcolo indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione, il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "Molto Basso".

4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

La definizione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni è stata possibile grazie alla consultazione di studi e campagne di indagini geognostiche pregresse.

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di una successione stratigrafica composta da **4 orizzonti** litologici principali distinti per natura litologica, granulometria e grado di addensamento:

- **orizzonte A:** individuato fino alla profondità variabile di circa 2,00÷3,00 m costituito da terreno di riporto eterogeneo costituito da sabbia deb. limosa con rara ghiaia e frammenti di laterizio (Nspt = 2÷10)
- **orizzonte B:** da 2,00÷3,00 m alla prof. di circa 8,00 m da p.c., costituito da sabbia localmente limosa con rara ghiaia mediamente addensata (Nspt = 12÷40).
- **orizzonte C:** da 8,00 a 10,50 – 11,00 m da p.c. costituito da limo deb. sabbioso argilloso (Nspt = 3÷10).
- **orizzonte D:** da 10,50 – 11,00 fino alla massima profondità investigata (20,00 m da p.c.), costituito da sabbia con rara ghiaia mediamente addensata - addensata (Nspt = 20÷50).

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO	Nspt medio
0.00-2,00÷3,00	Terreno riporto eterogeneo	orizzonte A	3
da 2,00÷3,00a 8.00	sabbia limosa con rara ghiaia	orizzonte B	20
da 8.00 a 10.5÷11.0	Limo sabbioso argilloso	orizzonte C	5
da 10.5÷11.0 a 20.00	sabbia con rara ghiaia	orizzonte D	30

Tab.1- Correlazione Nspt - grado di addensamento terreni granulari

SPT	<4	4-10	10-30	30-50	>50
Grado di addensamento	Molto sciolto	Sciolto	Mediamente denso	Addensato	Molto addensato
Angolo d'attrito φ	< 27°	27°-30°	30°-36°	36°-42°	>42°

Modello geomeccanico di riferimento

Nella seguente tabella, viene riportato il profilo geotecnico dei vari livelli riconosciuti suddivisi sulla base delle seguenti caratteristiche: litologia prevalente, stato di addensamento dei materiali, proprietà fisico-meccaniche.

All'interno del *range* di riferimento è possibile identificare il valore medio, considerato come valore medio spaziale ovvero, la media dei valori relativi ad un determinato volume di terreno (esempio : volume di terreno interessato dal cuneo di rottura o da una superficie di scivolamento).

I parametri geotecnici degli orizzonti in esame sono stati ricavati utilizzando le correlazioni riportate in letteratura ed in particolare da: *Atti del corso di aggiornamento "Esplorazione geologico-tecnica" organizzato dalla Scuola d'Ingegneria del Canton Ticino e da "Fondazioni" di Joseph e.Bowles.*

Peso dell'unità di volume γ : è stato assunto sulla base dei valori tipici indicati in letteratura come γ_{wet} (peso dell'unità di volume umido) e γ' (peso dell'unità di volume immerso).

Densità relativa D_r : è un parametro che indica il grado di addensamento di un deposito incoerente e quindi la sua compressibilità. E' stata calcolata con la correlazione di Skempton il quale propone la seguente correlazione: $D_r = ((N1)_{60})/60)^{0,5}$

Dove $((N1)_{60})$ si riferisce al sistema di battitura pari a 60% tenendo conto della tensione verticale efficace in Kpa.

Angolo di attrito ϕ' : l'angolo di attrito esprime la resistenza al taglio dei terreni considerando nulla la coesione; il valore è stato ottenuto con la correlazione di Schmertmann (1977) in base alla densità relativa ed alla pressione efficace.

Modulo di deformazione drenato E' : indica la compressibilità del terreno; considerando i depositi incoerenti normalconsolidati si è assunto come valore di progetto quello ottenuto con la correlazione di D'apollonia et alii 1970.

Modulo o rapporto di Poisson μ : costante elastica con valori compresi fra 0 e 5; sulla base delle indicazioni riportate in letteratura per terreni sabbioso ghiaiosi si può assumere un valore pari a 0,30/0,35.

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE			
Orizzonte A – RIPORTO ETEROGENEO			
CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Simbolo	Unità di misura	Valore
Classificazione			incoerente
Spessore		m	~ 2,00/3,00
Densità relativa	D_r	%	30-50
Addensamento			Sciolto-medio
PESI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Peso di volume	γ	t/m ³	1,80÷1,85
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	Simbolo	Unità di misura	Valore
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	26-29
Coesione efficace	C'	Kg/cm ²	-
Coesione non drenata	C_u	Kg/cm ²	-
PARAMETRI ELASTICI	Simbolo	Unità di misura	Valore
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	120-150

coefficiente di Poisson	μ	-	0,30
Orizzonte B – SABBIA LOC. LIMOSA			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			incoerente
Spessore		m	~ 5.00
Densità relativa	Dr	%	40-60
Addensamento			medio
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	t/m ³	1,85÷1,90
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	30-32
Coesione efficace	C'	Kg/cm ²	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	-
PARAMETRI ELASTICI	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	150-180
coefficiente di Poisson	μ	-	0,30
Orizzonte C – LIMO SABBIOSO ARGILLOSO			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			coesivo
Spessore		m	~ 2.00-2.50
Densità relativa	Dr	%	/
Addensamento			tenero
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	t/m ³	1,70÷1,75
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	
Coesione efficace	C'	Kg/cm ²	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0.3-0.5
PARAMETRI ELASTICI	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo edometrico	M	Kg/cm ²	40-70
coefficiente di Poisson	μ	-	0,35
Orizzonte D – SABBIA			
<i>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Classificazione			incoerente
Spessore		m	/
Densità relativa	Dr	%	50-70
Addensamento			Medio-denso
<i>PESI</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Peso di volume	γ	t/m ³	1,90÷1,95
PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Angolo di attrito efficace	ϕ	°	33-38
Coesione efficace	C'	Kg/cm ²	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	-
PARAMETRI ELASTICI	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	200-250
coefficiente di Poisson	μ	-	0,30

5 SCAVI

In considerazione del fatto che il progetto possa prevedere sbancamenti di terreno si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti aventi altezza del fronte di scavo superiore a 1,50 m; tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni sul fronte di scavo e permetterà di poter lavorare all'interno dello scavo in assoluta sicurezza, come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Si riportano di seguito gli articoli più significativi.

- *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.*
 - *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, alla applicazione delle necessarie armature di sostegno.*
 - *D.Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.*
- DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.*

Al fine di evitare il franamento e/o spostamento dei terreni di scarpata si consiglia di ricorrere ad una delle seguenti soluzioni da dimensionare in fase progettuale :

- scavo tradizionale con angolo di sbancamento adeguato tale da garantire le condizioni di massima sicurezza (da definire in fase progettuale). Questa soluzione potrà essere completata dalla formazione di gradoni utili alla diminuzione della pendenza e dell'altezza di fronti di scavo verticali molto estesi.

Al termine delle operazioni di scavo si dovranno adottare adeguate protezioni necessarie per prevenire eventuali fenomeni di dilavamento da parte delle acque piovane.

- utilizzo di opportune strutture di sostegno (paratie, berlinese di micropali, ecc)

In generale, quando si deve realizzare uno scavo, sulla scorta di tutte le indicazioni riportate nei capitoli precedenti, occorre prima verificare se necessitano opere di sostegno.

Quando si effettua uno sbancamento (o scavo a cielo aperto) di larghezza superiore rispetto all'altezza, in materiali a comportamento granulare, il sistema di protezione è necessario solo se l'inclinazione della parete dello scavo è maggiore dell'angolo di attrito interno del terreno, o se si supera l'altezza critica in materiali coesivi.

Nel caso di scavi a sezione obbligata, in cui la profondità è maggiore della larghezza, occorre necessariamente armare lo scavo per evitare crolli e franamenti delle pareti.

Quando la collocazione dello scavo o la sua profondità non consentono di realizzare le pareti secondo l'angolo d'attrito interno del terreno, o si supera l'altezza critica caratteristica del materiale, è necessario armare lo scavo.

L'armatura deve essere tale da resistere alle sollecitazioni indotte da:

- ◆ • pressione del terreno;
- ◆ • strutture adiacenti;
- ◆ • carichi aggiuntivi e vibrazioni (attrezzature, traffico veicolare, materiale di stoccaggio, ecc.).

Le strutture di sostegno devono essere installate a diretto contatto con la facciata dello scavo e, ove necessario, deve essere inserito del materiale di ricalzo tra la facciata dello scavo e l'armatura, per garantire la continuità del contrasto.

L'armatura deve comunque rispettare sempre le seguenti tre condizioni:

1. essere realizzata in modo da evitare il rischio di seppellimento:

- ◆ • in un terreno incoerente la procedura dovrà consentire di disporre armature parziali tali da permettere di raggiungere in sicurezza la profondità richiesta nel terreno;
- ◆ • in un terreno dotato di coesione, in cui lo scavo può essere realizzato in avanzamento continuo fino alla profondità desiderata, la procedura dovrà prevedere la collocazione di una gabbia di protezione prima che i lavoratori addetti accedano allo scavo.

2. essere sufficientemente resistente da opporsi, senza deformarsi o rompersi, alla pressione esercitata dal terreno sulle pareti dello scavo;

3. essere realizzata in modo da poter sopportare, senza deformarsi, anche carichi asimmetrici del terreno.

L'area in oggetto s'inserisce in un contesto urbano ben definito e caratterizzato dalla presenza di edifici esistenti limitrofi.

Al fine di evitare il franamento e/o spostamento dei terreni superficiali e conseguente cedimento è possibile ricorrere ad una delle seguenti soluzioni da dimensionare in fase progettuale :

- scavo tradizionale con angolo di sbancamento adeguato tale da garantire le condizioni di massima sicurezza (*le scarpate non dovranno avere pendenze superiori a 30°*);
- opere di sostegno tradizionali (armature, contrafforti e puntelli, muro di contenimento ...)
- berlinese di micropali (da definire in fase progettuale)

- paratia di palancole

6 TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il 22 agosto 2017 è entrato in vigore il *DPR 13 giugno 2017, n. 120*, ovvero il nuovo regolamento sulla "Disciplina semplificata delle terre e rocce da scavo", il quale abroga sia il *DM n. 161/2012, che l'art. 184-bis, comma 2bis del TUA, nonché gli artt. 41, c.2 e 41-bis del DL n. 69/2013*.

La nuova disciplina riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo sia come sottoprodotti sia come rifiuti con un ampliamento dei limiti quantitativi per il deposito temporaneo.

Il D.P.R. n. 120/2017 secondo quanto sancito nell'art. 1 disciplina:

- La gestione delle terre e rocce da scavo escluse dalla normativa sui rifiuti, limitatamente ad alcuni cantieri.
- La gestione delle terre e rocce da scavo riutilizzate come sottoprodotti in relazione a qualunque cantiere.
- La gestione delle terre e rocce da scavo per il deposito temporaneo delle stesse come rifiuti.

Assunto che per terre e rocce da scavo si intende il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, e che la qualifica di sottoprodotti non viene meno se le terre sono frammiste a materiali il cui utilizzo è fisiologico in talune attività di scavo, vale a dire il calcestruzzo, la bentonite, il PVC, la vetroresina, le miscele cementizie e gli additivi per scavo meccanizzato.

L'art. 2 continua con altre definizioni fondamentali quali quella di *sito*: un'area o porzione di territorio geograficamente definita e perimetrata; di *sito di produzione*: il sito in cui le terre sono generate; e quella di *opera*: il risultato di un insieme di lavori che di per sé esplica una funzione economica o tecnica.

Restano espressamente estranei alla normativa i rifiuti da demolizione e il refluo in mare di cui all'art. 109, D.Lgs 152/2006 (art. 3).

All'art. 4 sono definiti i criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti. Il comma 3 dedicato ai materiali di riporto stabilisce che la presenza di quest'ultimi, non farà perdere la qualifica di sottoprodotti alle terre in cui la quantità massima di materiali di origine antropica corrisponda al 20% in peso. Le terre e rocce da scavo dovranno inoltre rispettare le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) e superare il test di cessione da condurre con il metodo di cui al D.M. 5/02/1998 da confrontare con le CSC per le acque sotterranee.

L'articolo 5 è dedicato al deposito intermedio. Esso potrà avvenire nel sito di produzione, in quello di destinazione o in altro sito a condizione che siano rispettati 5 requisiti:

- 1 Compatibilità di destinazione urbanistica tra sito di produzione e sito di deposito.
- 2 Preventiva indicazione di luogo e durata.
- 3 Durata non superiore al termine di validità del piano o della dichiarazione di utilizzo.

4 Separazione fisica e autonoma gestione rispetto ad altre terre, siano esse sottoprodotti considerati in altri piani o dichiarazioni, siano esse rifiuti.

5 Conformità al piano o alla dichiarazione e presenza di apposita segnaletica con tutte le informazioni del caso.

È possibile variare il sito di deposito intermedio purché vi sia un tempestivo aggiornamento del piano o della dichiarazione. In caso di sfioramento dei tempi, le terre temporaneamente depositate diverranno rifiuti.

Gli articoli da 8 a 19 normano le terre e rocce da scavo prodotti in cantieri oltre i 6.000 m³ per opere sottoposte a VIA/AIA. In tali cantieri è necessario redigere il piano di utilizzo che deve essere conforme alle disposizioni previste nell'allegato 5 del decreto.

Gli art. 20-22 riguardano i cantieri fino ai 6.000 m³ e in quelli oltre i 6.000 m³ non sottoposti a VIA/AIA, dove la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà assolve la funzione del piano di utilizzo. Essa va inviata almeno 15 giorni prima l'inizio dello scavo, utilizzando il modulo presente all'allegato 6 del decreto, al comune del luogo di produzione e all'ARPA, indicando quantità, siti di deposito intermedio e di destinazione, estremi delle autorizzazioni e tempi per l'utilizzo.

L'art. 23 riguarda la disciplina del deposito temporaneo di terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti.

L'art. 24 riguarda invece la possibilità di riutilizzare nel sito di produzione di terre e rocce da scavo escluse disciplina dei rifiuti.

Per potersi considerare escluse dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti le terre e rocce da scavo devono essere prive di contaminazione (art. 185 comma 1 lett. C del D.Lgs. 152/06).

Gli art. 25 e 26 riguardano rispettivamente le modalità e le cautele da attuare per condurre l'attività di scavo nei siti di bonifica già caratterizzati e il riutilizzo delle terre provenienti da un sito in bonifica all'interno dello stesso sito.

Gli ultimi cinque articoli (27-31) si riferiscono alle disposizioni intertemporali, transitorie e finali. In particolare il regime transitorio considera diverse situazioni:

- I piani e i progetti già approvati prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente che dovrà essere applicata anche alle modifiche e agli aggiornamenti che possono intervenire dopo il 22 Agosto 2017.

- I progetti con procedura in corso alla data di entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente, tuttavia, entro 180 giorni dall'entrata in vigore del D.P.R., è fatta salva la volontà di passare al nuovo regime presentando il piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o la dichiarazione di cui all'articolo 21.

- In caso di riutilizzo nello stesso sito previsto in procedure di VIA già avviate nelle quali non sia intervenuto il provvedimento finale si applica, su richiesta del proponente, l'art. 24.

- In caso di riutilizzo nei siti di bonifica restano valide le autorizzazioni rilasciate in approvazione dei progetti di bonifica.

L'articolo 28 rimarca la necessità che gli enti di controllo competenti effettuino controlli, ispezioni e prelievi per verificare il rispetto di quanto previsto nei piani di utilizzo e di quanto espresso nelle dichiarazioni di utilizzo e di avvenuto utilizzo. L'art. 29 contiene la clausola di riconoscimento reciproco, mentre l'art. 30 la clausola di invariazione finanziaria.

Il D.P.R. si chiude con l'art. 31 che sancisce le norme espressamente abrogate:

- *D.M. n. 161/2012;*
- *L'art. 184/bis, comma 2bis, D.Lgs. 152/06;*
- *Gli artt. 41, comma 2 e 41bis, D.L. 69/13 convertito, con modificazioni, dalla legge n. 98/2013.*

7. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica simica , , è stata redatta ai sensi delle NTC 2018 a supporto della progettazione definitiva/esecutiva dei lavori di miglioramento sismico del campanile della Chiesa Cattedrale di Santo Stefano Martire, nel comune di Pavia illustra i risultati delle indagini geologico – tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica dell'area sono state consultate indagini pregresse realizzate in prossimità dell'area d'indagine.

È stata inoltre consultata un'indagine sismica MASW pregressa eseguita nei pressi dell'area in esame che ha permesso di classificare il sottosuolo da un punto di vista sismico (determinazione delle Vseq).

Dagli studi effettuati e dall'indagine eseguita sul terreno, ai sensi delle leggi vigenti, emerge una situazione geologica - idrogeologica *idonea* all'esecuzione dell'opera in progetto.

In particolare, i risultati delle analisi eseguite, consentono di indicare i seguenti dati geologici e geotecnici di sintesi:

- ◆ Dall'analisi dello studio geologico redatto dal dott. Geol. Fabrizio Finotelli, allegato al P.G.T. del Comune di Pavia, risulta che l'area in esame ricade all'interno della **classe 3**, fattibilità con consistenti limitazioni.
Si tratta di terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche scadenti nei primi metri (riporti poco addensati ..).
- ◆ Durante l'indagine pregressa, era stata intercettata la falda superficiale alla profondità di circa – **9,00-10,00 m** dal piano di esecuzione delle prove,.
- ◆ Una previsione riguardo la futura evoluzione dell'andamento della superficie piezometrica sarebbe azzardata, a breve termine, perché la dinamica della superficie freatica ha un equilibrio precario essendo influenzata da una serie di fenomeni instabili e imprevedibili che concorrono a costituire il bilancio apporti – perdite. Al fine di individuare il reale comportamento della falda superficiale occorrerebbe predisporre un monitoraggio della durata minima di 1 anno; possiamo comunque ipotizzare che l'escursione annua della superficie freatica in tali terreni sia normalmente di circa 0,50-1,50 m con il massimo innalzamento in corrispondenza del periodo estivo e la massima depressione in inverno.
- ✓ il territorio comunale di **Pavia** ricade in Zona 3 nella classificazione sismica nazionale.
- ✓ il sottosuolo, a seguito dell'indagine sismica eseguita (MASW) e della verifica di II livello, è da assumere in categoria **C** (Tab. 3.2.II delle NTC);
- ✓ le condizioni morfologiche sono da inserire nella categoria **T1**.
- ✓ Il terreno non è suscettibile alla liquefazione

L'elaborazione dei dati, ha permesso di evidenziare una successione stratigrafica composta da **4 orizzonti** principali distinti per natura litologica, granulometria e grado di addensamento; in particolare, il modello litostratigrafico - geomeccanico ottenuto dall'analisi dei risultati della prova penetrometrica, è così definito:

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO	Nspt medio
0.00-2,00÷3,00*	Terreno riporto eterogeneo	orizzonte A	3
da 2,00÷3,00a 8.00	sabbia limosa con rara ghiaia	orizzonte B	20
da 8.00 a 10.5÷11.0	Limo sabbioso argilloso	orizzonte C	5
da 10.5÷11.0 a 20.00	sabbia con rara ghiaia	orizzonte D	30

Al fine di non alterare l'attuale equilibrio dell'area investigata nonché la stabilità dell'area circostante, si raccomanda di:

- ✓ in considerazione del fatto che il progetto possa prevedere sbancamenti di terreno, si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti con fronte di scavo avente altezza superiore a 1,5 m, utilizzando opportune strutture di sostegno (scavo a campione, scavo tradizionale con pendenza adeguata).

Tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni adiacenti l'area oggetto d'intervento, inoltre l'opera di sostegno delle terre permetterà di poter lavorare nello scavo in assoluta sicurezza, come previsto come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Il quadro geologico – geomorfologico - idrogeologico definito dall'indagine non evidenzia particolari controindicazioni per l'attuazione dell'intervento in progetto; ma occorrerà prestare particolare attenzione alle criticità emerse nello studio geologico.

In particolare si dovrà prestare attenzione:

- ⇒ alla stabilità delle scarpate di scavo;
- ⇒ alla regimazione generale delle acque;

⇒ scelta delle più idonee tipologie fondazionali.

L'apertura degli scavi di sbancamento consentirà la verifica in continuo delle caratteristiche geotecniche del terreno sul piano di posa delle fondazioni adeguando, se del caso, i criteri tecnici sopra esposti, si raccomanda al D.L. di verificare l'omogeneità litologica e geotecnica dei terreni su tutta l'area interessata dalla fondazione prevedendo l'asportazione di eventuali strati sciolti e la loro successiva sostituzione con cls magro e/o inerte compattato.

Giugno 2023

dott. geol. Gianluca Nascimbene

*Iscritto all'Ordine dei
Geologi della Lombardia*

N° 1076

NASCIMBENE

n. 1076

