

COMUNE DI FIRENZE

Città Metropolitana di Firenze

**PROGETTO DI NUOVO IMPIANTO IDROELETTRICO SUL FIUME ARNO, IN
LOCALITÀ FIRENZE, DENOMINATO "SANTA ROSA"**

**RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ E DI MODELLAZIONE SISMICA
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI ED IDROGEOLOGICA**

Relativa a:

**Caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica
Verifica della sicurezza e delle prestazioni (GEO)**

Ai sensi:

*DM 17/01/18 - OPCM 3274/03 e s.m.i - DPGR 1/R/22 e all. 1 art. 5 - DPGR 48/R/03 e s.m.i - DPGR 46/R/2008 e s.m.i.
DPGR 18/R/2010 - D.Lgs. 152/06 e s.m.i - LR 53/R/11 - LR 65/14 e s.m.i - DPGR 53/R/15 - L. 98/13 - DPR 120/17 - R.E. Comunale*

COMMITTENTE: SILEXTECH SRL

PROGETTISTA: Ing. Francesco Paoli



Sommario

PREMESSA	3
1.1 Caratteristiche generali dell'intervento	3
1.2 Classe d'indagine ai sensi dell'allegato 1 par. 3 - art. 5 del D.P.G.R. 1/R/2022	6
2 NORMATIVA TECNICA E VINCOLI DI LEGGE	6
2.1 Descrizione dei vincoli normativi	6
PARTE 1 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA-GEOLOGICO-SISMICA	8
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO	8
3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico	8
3.2 Inquadramento idrogeologico	11
4 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ	11
4.1 Pericolosità Geologica	11
4.2 Pericolosità sismica	12
4.3 Pericolosità idraulica e da alluvioni	12
5 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA	13
5.1 Indagini geognostiche e litostratigrafia	13
5.2 Modello geologico del sottosuolo	14
5.2.1 Parametri geotecnici nominali	14
6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA	15
6.1 Caratteristiche sismiche dell'area	15
6.2 Definizione del tipo di categoria di suolo di fondazione (O.P.C.M. 3274/03 e succ. mod. e int., Allegato 2, par. 3.1)	17
7 GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO (TRS)	20
8 CONCLUSIONI	21
PARTE 2 – RELAZIONE GEOTECNICA	23
9 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	23
9.1 Indagini geognostiche e litostratigrafia	23
9.1.1 Sondaggio e prove SPT (Standard Penetration Test)	23
9.1.2 Stratigrafia	23
10 MODELLO GEOTECNICO RISULTANTE	24
10.1 Unità stratigrafiche	24
10.2 Parametri geotecnici caratteristici	25
10.2.1 parametri geotecnici caratteristici	25
10.3 Parametri geotecnici di progetto	26
10.3.1 Approccio 1 – Combinazione 1 (STR)	26
10.3.2 Approccio 1 – Combinazione 2 (GEO)	26

PREMESSA



La presente relazione affronta le principali problematiche geologico, idrogeologiche e geotecniche riguardanti il progetto per la realizzazione di un impianto idroelettrico sul Fiume Arno, in destra idraulica, denominato "SANTA ROSA" in località Firenze, nel Comune di Firenze (FI), finalizzato alla produzione energetica.

La relazione seguente viene proposta integralmente nella sua parte di modellazione geologico e geotecnica a seguito delle indagini di approfondimento eseguite, consistenti in 1 sondaggio a carotaggio continuo nei pressi dello scolmatore Curtatone, dove sorgerà la centrale di turbinamento. Le indagini svolte sono state adeguate e sufficienti per avere un quadro della situazione geologica e ricavare un modello geotecnico.

Per l'aspetto sismico si è fatto riferimento al profondo studio di microzonazione sismica di III livello eseguito a cura del comune di Firenze in collaborazione con l'università di Scienze della Terra di Firenze.

1.1 Caratteristiche generali dell'intervento

Su incarico della committenza vengono qui espressi i risultati di un'indagine geologico - geotecnica a seguito di sopralluoghi ed indagini svolte nel mese di novembre 2024 in corrispondenza dei terreni interessati dagli interventi in progetto.

Per i riferimenti catastali dell'area di intervento si rimanda alle cartografie allegate alla relazione tecnica.

"La derivazione in progetto, a scopo idroelettrico, interessa un'opera idraulica esistente, il canale Macinante, localizzato in destra idraulica del Fiume Arno. Si prevede di utilizzare quindi, a scopo idroelettrico proprio le acque del fiume Arno in corrispondenza della traversa della Pescaia di Santa Rosa, nel cuore di Firenze. Il progetto propone di sfruttare un'opera di presa e i canali esistenti, realizzando all'interno di essi la centrale di turbinamento e di sfruttare, per la consegna dell'energia elettrica, le infrastrutture esistenti già presenti nell'area di intervento". (Fig. 1 e Fig. 2).

I manufatti risulteranno completamente interrati ed inseriti nella morfologia in modo da non indurre ingombri di sezione idraulica tali da alterare le condizioni di rischio durante gli eventi di piena.

Per ulteriori dettagli si veda la Relazione Tecnica Generale redatta dai progettisti

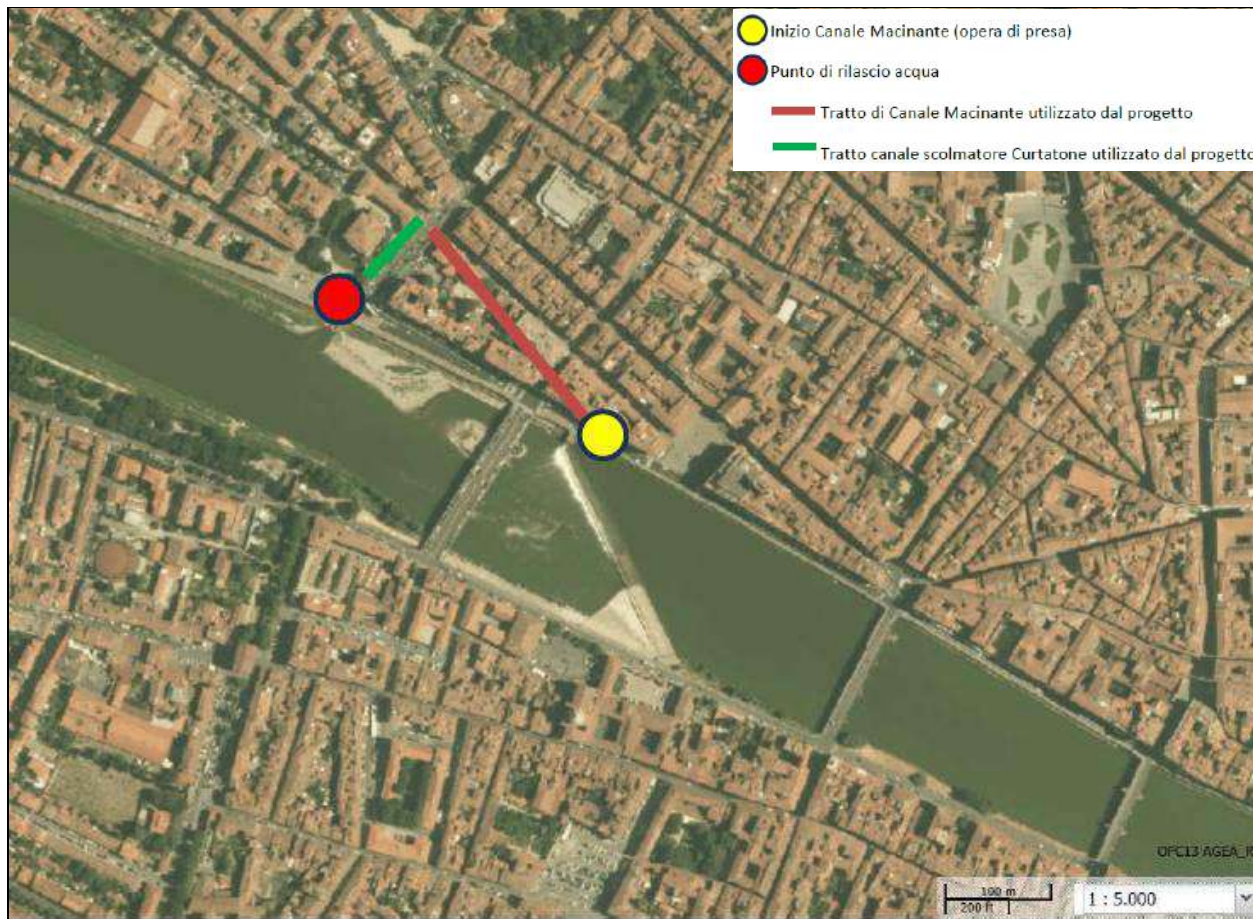


Fig. 1 – localizzazione del sito di intervento su base ortofoto

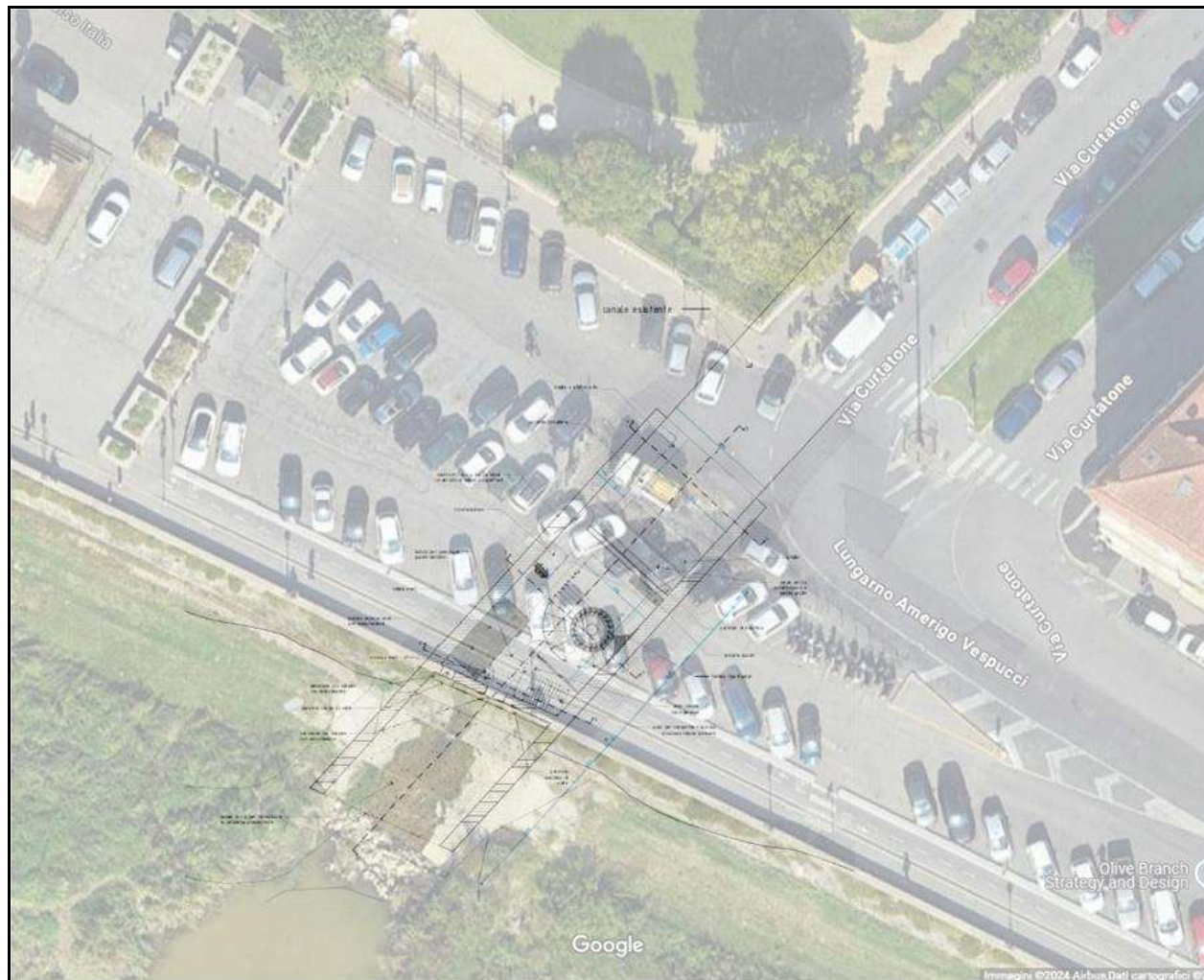


Fig. 2 – Planimetria sovrapposta dello stato di progetto dell'opera

Per il posizionamento della centrale idroelettrica alla quota utile per il suo corretto funzionamento, sarà eseguito uno scavo di circa 7 metri al di sotto della quota del canale attuale, previa demolizione della volta nel tratto terminale. Sarà realizzato un solaio in calcestruzzo armato oltre alle opportune opere di sottofondazione e di rinforzo delle strutture esistenti. Attraverso un trasmettitore di livello, sarà regolata l'apertura del distributore della turbina in modo da mantenere il livello di monte al valore assegnato indipendentemente dalla disponibilità di acqua in ingresso (acqua fluente). L'opera di rilascio, subito a valle della centrale, manterrà l'aspetto attuale con i gradoni in calcestruzzo armato che verranno ricostruiti: la restituzione in Arno avverrà ad una quota inferiore e direttamente al di sotto della soletta. Sono infine previste le opere di collegamento alla rete elettrica esistente. La portata derivabile media risulta pari a 10.6 mc/s mentre quella massima 15.00 mc/s. La potenza nominale media di concessione è di 520 kW; la produzione energetica annua stimata è di 3.9 Gwh/anno.

Per quanto riguarda le quantità di materiale di risulta degli scavi (si veda capitolo 7 per i dettagli), si prevede una parziale compensazione in loco, nel rispetto di tutte le prescrizioni, (art. 185, D.lgs 152/06 e succ. mod. e int.) mentre per il materiale in eccesso, questo verrà gestito secondo le normative vigenti e in accordo con gli enti e le autorità locali, trovando un altro sito idoneo alla loro destinazione (art 184 bis, D.lgs 152/06 e succ. mod. e int., DPR 120/17, L. 98/13).

Solo in ultima soluzione, il materiale che non avrà trovato una collocazione, sarà gestito in appositi siti/impianti di recupero **(ai sensi della parte IV del D.lgs 152/06 e succ. mod. e int.)** Nell'ottica di un'economia circolare, quest'ultima soluzione deve essere intesa come "extrema ratio".

Vengono di seguito sviluppate le relazioni geologica-idrogeologica e geotecnica sulle indagini ai sensi delle NTC 2018 e DPGR 48/R/03 e ss.mm.ii., suddivise in due distinti fascicoli, anche se rilegati insieme.

Relativamente ai contenuti di carattere geotecnico, si riporta nel presente documento la *"caratterizzazione e modellazione geotecnica dei terreni o geomeccanica degli ammassi rocciosi interagenti con l'opera nell'ambito del volume significativo, esplicitando le modalità con cui si è giunti alla definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici, caratteristici e di progetto, in coerenza sia con le risultanze della modellazione geologica e sismica, sia con l'approccio di progetto scelto dal progettista strutturale"* di cui al par. 1 art. 7, c. d dell'allegato 1 al DPGR n. 1/R del 19 gennaio 2022. I parametri così desunti saranno utilizzati per le verifiche geotecniche necessarie, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

1.2 Classe d'indagine ai sensi dell'allegato 1 par. 3 - art. 5 del D.P.G.R. 1/R/2022

Ai fini del presente regolamento, la realizzazione degli interventi sopra citati presso la pescaia di "Santa Rosa" nel cuore di Firenze, non sono ascrivibili a nessuna classe di indagine. Nella normativa di riferimento però, al paragrafo 3 punto 8) si dice *"per le opere non inquadrabili nelle opere a volume, per le quali sono previste le classi di indagini, si dovrà tener conto della significatività in merito all'interazione terreno-struttura ai fini del dimensionamento strutturale. Nei soli casi in cui tale significatività sia considerata modesta, possono essere sufficienti l'utilizzo di indagini esistenti nello stesso contesto geologico"*

Per la stesura degli elaborati geologico-geotecnici, si è fatto riferimento ai dati ottenuti dal sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 20 m, eseguito allo sbocco dello scolmatore Curtatone, nei pressi dell'area di intervento, ed in cui si sono eseguite delle prove SPT.

Per l'individuazione della categoria di sottosuolo, è stata utilizzata una indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), già eseguita nelle immediate vicinanze, per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo attraverso la misura delle onde di superficie ed ottenere così il valore di V_{seq} richiesto dalla normativa.

2 NORMATIVA TECNICA E VINCOLI DI LEGGE

2.1 Descrizione dei vincoli normativi

L'area in esame non è soggetta a vincolo idrogeologico (ex L. 3267/1923).

Lo studio è stato redatto in ottemperanza alla normativa nazionale, regionale ed agli elaborati prodotti dallo Strumento Urbanistico comunale vigente.

- **Normativa regionale**



D.P.G.R. 1/R/2022 “Regolamento di attuazione dell’articolo 181, commi 1 e 2 della L.R. 65/2014, Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico”;

D.P.G.R. 26/R/2007 “Regolamento di attuazione dell’ex articolo 62 della L.R. n.1 del 03.01.2005 in materia di indagini geologiche, attuale art. 104 L.R. n.65 del 10.11.2014 e ss.mm.ii.”;

D.P.G.R. 53/R/2011 Modifica e integrazione del precedente D.P.G.R. 26/R/2007;

D.P.G.R. 53/R/2015 Modifica e integrazione del “Regolamento Forestale della Toscana” ex D.P.G.R. 48/R/03

D.P.G.R. 46/R/2008 e ss.mm.ii. Norme per la tutela delle acque dall’inquinamento;

D.P.G.R. 18/R/2010 Regolamento di attuazione dell’articolo 14 della legge regionale 5 novembre 2009, n. 64 (Disciplina delle funzioni amministrative in materia di progettazione, costruzione ed esercizio degli sbarramenti di ritenuta e dei relativi bacini di accumulo).

Del. G.R.T. 421/2014 (Nuova Classificazione Sismica Regionale).

L.R.T. 24/2009 “Misure urgenti e straordinarie volte al rilancio dell’economia e alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.”

- **Normativa nazionale**

D.M. 17/01/2018 “Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni”;

D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii “Testo unico ambientale”

Delib. Comit. Interm.le 4/02/1977 – D.Lgs 152/99 e ss.mm.ii.. Per la tutela delle acque dall’inquinamento;

D.P.R. 120/2017 Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164.

Autorità di Bacino del Fiume Arno: Censimento delle aree in dissesto per frana e PGRA;

O.P.C.M. 3519/2006 e ss.mm.ii. (Nuova Classificazione Sismica)

PARTE 1 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA-GEOLOGICO-SISMICA

8

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area interessata dall'opera idraulica in progetto è situata nel cuore della città di Firenze, a nemmeno 1 km ad ovest dell'opera del Duomo, sul Fiume Arno in prossimità del ponte Amerigo Vespucci e la pescaia di Santa Rosa.

L'opera di presa si colloca all'interno del demanio stradale e geograficamente localizzata alle seguenti coordinate (sistema di riferimento EPSG 3003):

X: 1680645 Y: 4849044

Lo stato dei luoghi è stato analizzato dai proponenti tramite rilievo topografico integrato (a terra e LIDAR ministeriale anno 2008) confluito nelle tavole di progetto allegate. Il rilievo fornisce delle quote relative nel sistema Gauss Boaga fuso ovest (EPSG 3003). Si riportano di seguito alcune immagini che descrivono il sito in esame.



Fig. 3 – briglia di Santa Rosa



Fig. 4 – presa esistente, Canale Macinante



Fig. 5 – uscita del canale scolmatore Curtatone

“La derivazione viene realizzata utilizzando la zona di calma dietro alla briglia della Pescaia di S. Rosa, grazie alle bocche di presa esistenti che alimentavano il canale Macinante, opportunamente adeguate nella quota di innesco (39.90 m slm, come visibile nelle tavole di progetto). La derivazione verrà regolata da paratoie in destra idraulica (poste sulle 6 bocche) in grado di regolare il battente utile sulla soglia con valori di almeno 1.4 m in funzione anche delle condizioni di portata in alveo (ipotizzando in base al rilievo topografico un livello a tergo briglia tra 41 e 42 m slm per i regimi idraulici di maggiore interesse operativo). Tali dimensioni sono generalmente adeguate rispetto alla portata di progetto di 15 m³/s, stante il rilievo indicativo fornito”.

L'area oggetto di studio è situata all'interno del bacino fluvio-lacustre di Firenze - Prato - Pistoia. Il bacino si è formato a seguito di fenomeni di tettonica distensiva tardo pliocenica, connessi con le fasi orogenetiche dell'Appennino Settentrionale, che hanno dato luogo a depressioni longitudinali, sub-parallele all'Appennino stesso, delimitate da faglie dirette. In queste depressioni si sono instaurati vari bacini lacustri, tra cui quello di Firenze - Prato - Pistoia.

I depositi del riempimento lacustre ed i depositi fluviali successivi ricoprono, in giacitura sub-orizzontale ed in discordanza, le formazioni pre-lacustri che costituivano il fondo ed i margini del bacino, appartenenti alla Serie Toscana ed ai complessi toscano-emiliani. Infatti sui bordi di quello che fu il bacino di Firenze - Prato - Pistoia si rinviene il substrato antico pre-lacustre costituito dai due distinti complessi delle Liguridi e della Serie Toscana. Al di sopra di queste unità giacciono, tettonicamente indisturbati, i depositi lacustri e fluviolacustri e, infine, le alluvioni recenti dell'Arno e dei suoi affluenti (Olocene).

Tali sedimenti vengono distinti, nella pubblicazione di F. Capecchi, G. Guazzane e G. Pranzini “Ricerche geologiche ed idrogeologiche nel sottosuolo della Pianura di Firenze” (1976) in 4 Orizzonti, con la seguente successione stratigrafica dall'alto verso il basso.

Orizzonte Firenze 1: costituito in prevalenza da sabbie fini con argilla; frequentemente si riscontrano, immersi nella matrice sabbioso-argillosa, ciottoli e ghiaie con rare piccole lenti di argilla. Questo strato superficiale dello spessore medio di circa 4-5 metri, è stato depositato dall'Arno e dai suoi affluenti in epoca recente; nella zona centrale della città alla composizione di questo orizzonte contribuiscono in buona parte anche i materiali inerti derivanti dalle rovine di edifici di varie epoche.

Orizzonte Firenze 2: composto da ciottolami, ghiaie e sabbie con rare lenti di argilla. Tali depositi, di origine fluviale, presentano notevoli e spesso rapide variazioni granulometriche, sia in senso verticale che orizzontale. Lo spessore di tale orizzonte è molto variabile: nella parte centrale del bacino di Firenze raggiunge un massimo di 20 metri e tende a ridursi fino a zero spostandosi verso le colline.

Orizzonte Firenze 3: costituito da ciottolami, ghiaie e sabbie con matrice argillosa più abbondante rispetto al precedente livello. I sedimenti riferibili a tale orizzonte, individuati solo nella parte occidentale del bacino, provengono probabilmente da una deposizione lacustre prossimale. A conferma di questo è stata osservata la presenza di uno strato di argilla turchina, di origine lacustre, tra l'orizzonte Firenze 2 e Firenze 3.

Orizzonte Firenze 4: costituito da limi ed argille lacustri compatte, di colore turchino, di rado giallastro, talora con lignite e torba. A vari livelli sono presenti lenti di ghiaia e ciottoli, più raramente sabbie; in questi strati la matrice argillosa è quasi sempre abbondante. Lo spessore dell'orizzonte è determinato dalla profondità del substrato: di pochi metri in prossimità delle colline a sud della città e di alcune centinaia di metri ad ovest di Peretola.

In particolare nell'area di interesse, secondo la cartografia del progetto CARG sono presenti:

- **Depositi alluvionali attuali (b)**, nel nostro caso con granulometria ghiaiosa prevalente in matrice più o meno sabbiosa, a tratti limosa.

Le indagini geognostiche eseguite nell'area hanno evidenziato la presenza di livelli prevalentemente composti da ghiaie in matrice sabbiosa riferibili all'Orizzonte Firenze 2.

La morfologia del territorio ha un andamento pianeggiante, ed in virtù dell'elevata antropizzazione non è stata rilevata nessuna forma geomorfologica particolare. Sempre a causa dell'attività antropica il reticolo idrografico secondario è stato obliterato e nell'area permane solamente il corso d'acqua principale, il Fiume Arno. Non sono perciò visibili fenomeni o indizi legati a processi di instabilità geomorfologica ed aree potenzialmente instabili.

3.2 Inquadramento idrogeologico

Come precedentemente descritto, il sottosuolo di Firenze è caratterizzato da una serie di depositi fluviali e lacustri di età quaternaria, il cui spessore aumenta verso il centro della valle e verso ovest. Lo studio di molte stratigrafie ha permesso la ricostruzione di 4 diversi orizzonti acquiferi (Capecchi et alii, 1976). La falda idrica principale (e più superficiale) del sottosuolo fiorentino si colloca in corrispondenza dei depositi alluvionali recenti dell'Arno e suoi affluenti, corrispondente all'Orizzonte Firenze 2 costituito da ghiaie e ciottoli, più raramente sabbia con permeabilità per porosità fortemente variabile (10^{-3} – 10^{-7} m/s). Questa è una falda libera con tavola d'acqua posta ad una profondità compresa fra 1 e 10 metri di profondità, a seconda delle aree e del periodo stagionale.

Il sondaggio eseguito ha permesso di ricostruire con precisione il tetto della falda, che si colloca all'inizio dell'orizzonte ghiaioso e sabbioso, a circa 2.5 m di profondità. Questo livello, con tutta probabilità, rappresenta l'acquifero che contiene la falda più superficiale.

4 ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ

Il D.P.G.R. 53/R, Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) indica i criteri che portano a definire il grado di pericolosità di un territorio sotto il profilo geologico, sismico e idraulico. I RU comunali devono contenere le Carte della pericolosità, geologica, sismica e idraulica. Questi elaborati esprimono il diverso grado di pericolosità per il territorio in funzione delle caratteristiche litotecniche e geotecniche dei terreni, delle condizioni geomorfologiche, idrogeologiche e di sicurezza sismica e idraulica dell'area, delimitando le aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di eventi critici. Attraverso le necessarie analisi ed approfondimenti tecnico scientifici vengono caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, producendo cartografie separate, che individuano gli scenari di pericolosità che caratterizzano il territorio comunale. Le limitazioni e le prescrizioni che derivano dalle diverse classi di pericolosità condizionano la fattibilità dei possibili interventi. Di seguito si riporta l'analisi relativa alle varie tipologie di pericolosità afferenti all'area oggetto di intervento.

4.1 Pericolosità Geologica

L'area in oggetto presenta una **Pericolosità geologica media (G2)**, PO comune di Firenze (Tav. 7), "aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%".

In questa classe di pericolosità, il Regolamento Urbanistico può prevedere ogni tipologia di intervento dettandone le condizioni di attuazione in funzione di specifiche indagini da eseguire in fase di abilitazione all'intervento edilizio. In ogni caso gli interventi previsti dovranno garantire la sicurezza della popolazione, non determinare condizioni di instabilità e non modificare negativamente le condizioni e i processi geomorfologici dell'area interessata.

4.2 Pericolosità sismica

L'area oggetto di studio presenta una **Pericolosità sismica locale elevata per caratteristiche geotecniche scadenti (S3g)** essendo situata a tergo del muro d'argine del Fiume Arno (Tav. 8). La pericolosità sismica elevata riguarda tutto il territorio comunale che negli studi di MS livello 3 assume valore del fattore di amplificazione stratigrafica FA01_05 > 1,4: in particolare la classe è attribuita all'intera zona centro-orientale della pianura alluvionale, che presenta valori di FA compresi tra 1,7 e 2,0 con picchi di 2,4 in alcune porzioni del Centro Storico. Sempre alla classe S3 sono attribuite anche alcune porzioni residuali delle zone collinari e pedecollinari, sia nel quadrante settentrionale che meridionale. Infine vengono classificate a pericolosità elevata:

- sottoclasse S3g, tutte le aree interessate da terreno di riporto di significativa estensione e tutte le aree di riempimento di cava, secondo quanto individuato negli studi geomorfologici del nuovo Piano.

Per il comune di Firenze sono stati eseguiti studi di microzonazione sismica di I, II e di III livello. L'area è ampiamente studiata e nota. Per l'area in cui ricade l'intervento in progetto lo studio di microzonazione sismica di III livello assegna un **fattore di amplificazione sismico** pari a **1.53**, vedi Tav. 9 allegata.

Nelle aree classificate S3 il Regolamento Urbanistico definisce le classi di fattibilità relative, prevedendo che in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento e dei piani attuativi, o in caso di intervento diretto, in sede di predisposizione dei progetti edilizi, nelle situazioni ricadenti nelle zone con "simbologia" 2a, 2b, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13 di cui alla tabella allegato 1 alle direttive D.P.G.R. n. 26/R del 2007, riscontrabili in accorpamento nella tavola "Carta dei possibili effetti sismici locali" contenuta nel Quadro Conoscitivo, siano eseguite indagini geofisiche e geotecniche di dettaglio per la puntuale definizione dell'azione sismica e conseguentemente dei suoi effetti sulle strutture. In ogni caso nell'ambito di questa classe di pericolosità il Regolamento Urbanistico considera, nella definizione delle classi di fattibilità, la differenziazione del fattore di amplificazione sismica calcolato utilizzando le classi di valori e la relativa distribuzione areale individuate nella Carta del Fattore di Amplificazione sismico calcolato del Quadro Conoscitivo.

Per ciò che concerne la **pericolosità sismica di base**, ai sensi della DGRT 421/2014 aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 e ss.mm.ii. ed ai sensi del D.M. 17.01.2018", il territorio comunale è classificato in **zona 3**.

4.3 Pericolosità idraulica e da alluvioni

Per quanto concerne questo aspetto, l'area ricade in **Pericolosità idraulica elevata (I3)** e **Pericolosità da alluvioni poco frequenti (P2)**, PS comune di Firenze (Tav. 10).

Pericolosità DPGR 53/R/2011	Pericolosità LR 41/2018 DPGR 5/R/2020	Pericolosità PGRA	Tempo di ritorno correlato
I.4 (molto elevata)	Alluvioni frequenti	P3 (elevata)	minore/uguale 30 anni
I.3 (elevata)	Alluvioni poco frequenti	P2 (media)	> 30 e minore/uguale 200 anni
I.2 (media)	Alluvioni rare o di estrema intensità	P1 (bassa)	> 200 e comunque fondo- valle
I.1 (bassa) (*)			

Tab. 1 – tabella illustrante la comparazione delle varie pericolosità vigenti

In queste aree il Regolamento Urbanistico può definire previsioni che consentano interventi di ampliamento, adeguamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico, della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati, riferite a servizi essenziali nonché nuove infrastrutture a rete, alle medesime condizioni di cui alla classe I.4. Inoltre può prevedere anche la realizzazione di nuove infrastrutture per le quali sarà comunque necessario, attraverso la definizione di fattibilità, garantire la preventiva o contestuale messa in sicurezza per tempo di ritorno duecentennale, senza aggravio del rischio nelle aree contermini. Il Regolamento Urbanistico può definire previsioni riferite a nuova edificazione e ristrutturazione urbanistica qualora, nell'ambito della definizione di fattibilità, sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza, se si tratti di insediamenti di nuovo impianto esterni al perimetro del centro abitato, o di autosicurezza se si tratti di interventi interni al perimetro del centro abitato. In entrambi i casi, con riferimento ad eventi con tempo di ritorno maggiore o uguale a 200 anni, sulla base di studi idrologico-idraulici. Il Regolamento Urbanistico può consentire gli interventi sul patrimonio edilizio esistente tenendo conto dei principi generali relativi al non aumento del livello di rischio idraulico e verificando la coerenza con quanto previsto dalla normativa del PAI. In questa classe di pericolosità rientrano le aree che, sulla base delle Norme di attuazione del PAI di cui al D.P.C.M. 6 maggio 2005, sono classificabili in PI.3 e PI.2, pertanto il Regolamento Urbanistico nell'ambito delle definizioni di fattibilità tiene conto delle due differenti zonizzazioni al fine di differenziare i condizionamenti e le limitazioni relative.

5 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

5.1 Indagini geognostiche e litostratigrafia

L'indagine "geognostica" si è svolta secondo le seguenti modalità:

- Esecuzione di n.1 sondaggio a carotaggio continuo (S1), spinto fino alla profondità di 20 m da piano campagna ovvero al di sotto della quota di scorrimento dello scarico dello scolmatore del canale Macinante. Nel corso del sondaggio (eseguito il 19 e 20 novembre 2024) sono state eseguite 3 prove SPT, per la stima dei parametri geotecnici. Non è stato possibile il prelievo di campioni in quanto trattavasi di materiale sciolto composto prevalentemente da ghiaia e subordinata sabbia.

Per la stima della categoria di sottosuolo e i principali valori sismici si è fatto riferimento alle conoscenze ed ai dati ampiamente disponibili per l'area in esame, essendo stata oggetto di numerose campagne geognostiche

e geofisiche. I dati di riferimento utilizzati per lo studio vengono proposti in dettaglio negli allegati alla presente relazione e la loro ubicazione visibile nelle cartografie allegate (Tav. 12).

14

5.2 Modello geologico del sottosuolo

Attraverso i dati reperiti e dal rilevamento effettuato è stato possibile ricostruire l'assetto litostratigrafico del terreno e costruire un modello geologico dell'area di studio, così composto:

Unità 0: Pavimentazione in conglomerato cementizio, massicciata e massi di scogliera fino a 1.7 m

Unità 1: Limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio fino a 2.5 m di profondità;

Unità 2: Ghiaie prevalenti $\varnothing_{\max} = 6$ cm, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro fino alla profondità di 4 m;

Unità 3: Sabbie prevalenti con ghiaia grossolana sparsa da 4 m a 5 m di profondità;

Unità 4: Ghiaie prevalenti $\varnothing_{\max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro, da 5 a circa 11 m di profondità;

Unità 5: Ghiaie $\varnothing_{\max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro, da 11 m a fine sondaggio, 20 m

Gli interventi in progetto (edificio di centrale, scarico turbina, cono di scarico raccordato all'alveo e muri di sostegno), posti a quote diverse, poggeranno i piani di fondazione all'interno delle varie Unità.

I dati così noti ed i risultati ottenuti con le indagini effettuate risultano essere esaustivi per la caratterizzazione litostratigrafico-geotecnica dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere in progetto.

5.2.1 Parametri geotecnici nominali

I parametri geotecnici nominali caratterizzanti il modello geologico-geotecnico, sono stati ricavati dal sondaggio. Non essendo presenti dati di laboratorio, i valori mancanti sono stati desunti e stimati tramite foglio di calcolo (GEOSTRU) a partire dai valori delle prove SPT eseguite nel sondaggio S1 (proposti in allegato alla presente). I parametri scelti sono volti alla determinazione di un modello geologico-geotecnico adeguato. Per la stima dei parametri dell'unità 1 e per il suo modesto spessore, si è fatto riferimento a dati ricavati su litologie assimilabili. Ai fini geotecnici alcune unità sono state accorpate perché con caratteristiche assimilabili.

Nella tabella seguente si riportano i **parametri geotecnici nominali** così determinati.

strato	Orizzonte/strato	H m			γ t/mc	γ_s t/mc	M(ed) Mpa	c_u kPa	ϕ' °	c' kPa
1	limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio	1.7	-	2.5	1.90	2.00	3.0	35.0	26.0	0.50
2	Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	2.5	-	11.0	1.70	1.80	37.5	0.4	35.9	7.00
3	Ghiaie $\varnothing_{max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	11.0	-	20.0	1.70	1.80	48.4	0.2	38.1	5.00

Dove:

- γ peso di volume secco
- γ_s peso di volume saturo
- M(ed) modulo di comprimibilità (edometrico)
- c_u Resistenza (coesione) non drenata
- ϕ' angolo di attrito in termini di tensioni efficaci
- c' coesione drenata (in termini di tensioni efficaci)

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

6.1 Caratteristiche sismiche dell'area

Per quanto riguarda gli aspetti sismici, ai sensi del DPGR 53/R/11 e 26/R/07 l'area di progetto rientra nella cartografia per la "**pericolosità sismica locale**", per il territorio comunale sono stati approntati anche "**studi di microzonazione sismica di I, II e III livello**".

Come accennato in precedenza il comune di Firenze ha effettuato studi approfonditi del territorio urbano, inoltre l'Amministrazione Comunale di Firenze ha siglato sin dal 17 luglio 2001 un protocollo generale di collaborazione scientifica con il Dipartimenti di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze. In questo ambito, a partire dal 2003, il Comune di Firenze ed il Dipartimento di Scienze della Terra hanno svolto una serie di studi e ricerche nel settore della Geologia Urbana, avendo come obiettivo lo sviluppo e la divulgazione della conoscenza delle caratteristiche geologiche del territorio in un concetto di Conoscenza Condivisa. La realizzazione di tali studi e ricerche congiunte ha permesso di dotarsi di strumenti conoscitivi, inerenti alle numerose tematiche connesse con la conoscenza del sottosuolo fiorentino, la caratterizzazione e

la mitigazione delle pericolosità e dei rischi territoriali, che consentono di superare la fase dei “rimedi in emergenza” e di giungere ad una ragionata fase di pianificazione e di monitoraggio.

Ai fini della redazione dello studio di microzonazione sismica sono stati raccolti tutti i dati pertinenti presenti e disponibili nelle banche di DST, Comune, Città Metropolitana, Regione ed organismi nazionali. L'insieme dei dati raccolti, ed inseriti nella Banca Dati prevista e definita secondo le modalità delle istruzioni tecniche, rappresenta una base significativa di conoscenza che consente di affermare di avere superato la fase conoscitiva dell'incertezza epistemica, arrivando a definire una tipologia rappresentativa e significativa di distribuzione dei dati e di valenza dei modelli sviluppati, lasciando quindi a successive indagini locali il superamento dell'incertezza aleatoria insito nella modellazione tipologica eseguita (Coli et al. 2015).

La disponibilità pubblica, sul sito web del Comune e degli altri Enti territoriali e istituzioni locali e nazionali di cluster di dati di riferimento a cui riferire i dati progettuali locali è conforme alla filosofia insita nell'Eurocodice 7 e nelle NTC2008/2018. Pertanto, per quanto riguarda il sottosuolo fiorentino l'insieme dei dati disponibili è consistente e ha permesso di arrivare ad elaborazioni tematiche e cartografiche attendibili.

Per gli studi di microzonazione sismica sono stati considerati 1953 sondaggi equidistribuiti nel territorio del Comune di Firenze che hanno permesso di coprire tutte le unità geologiche e geologico-tecniche presenti nel territorio comunale, di questi 386 hanno raggiunto il substrato e 27 sono a distruzione (pozzi per acqua da BD ISPRA). I dati geotecnici derivano dalla Banca Dati del Sottosuolo del Comune di Firenze, che riporta le risultanze delle prove geotecniche in situ (valori di SPT) e di laboratorio (essenzialmente prove triassiali consolidate, CD e analisi su campione, SM). Complessivamente sono state utilizzate 135 indagini di tipo geofisico (Figura 12), reperite nelle varie banche dati e costituite da:

- 52 Misure di rumore ambientale (HVSR)
- 41 Indagini Down-hole (DH)
- 6 Indagini Cross-hole (CH)
- 16 Sezioni sismiche a rifrazione (SR)
- 20 Profili sismici MASW

In generale la distribuzione dei siti d'indagine ha permesso di coprire in modo significativo l'intera area fiorentina e le varie unità affioranti e le relative situazioni di sottosuolo, poi confluite nelle MOPS.

Per il territorio comunale, il **comune di Firenze risulta in zona sismica 3.**

In riferimento all'ultima zonazione sismogenetica del territorio italiano, l'area fiorentina è ubicata a cavallo delle **zone sismogenetiche 915 e 916**. La zona sismogenetica 915 corrisponde alla zona assiale della catena comprendente il territorio del Mugello, l'appennino Pistoiese e la Garfagnana ed è caratterizzata da un alto potenziale sismogenetico (magnitudo fino a $M=6.5$). La zona sismogenetica 916 corrisponde alla fascia nordappenninica più interna che va dalla Versilia fino alla regione del Chianti, caratterizzata da potenziale sismogenetico più moderato con terremoti che possono raggiungere la magnitudo di $M=5.45$ (Fig. 6).

Per quanto riguarda la **sismicità storica dell'area** risulta che l'area è stata interessata storicamente da terremoti con epicentro sia all'interno del territorio Comunale che provenienti al di fuori dell'area comunale ed in particolare dal Mugello. Si segnalano in particolare per la loro intensità, i terremoti del 1919 e 1939 del Mugello (Magnitudo 6.3 e 5).

Nei pressi ed in corrispondenza dell'intervento in progetto, sulla base delle indagini geognostiche di dettaglio, non si segnalano aspetti particolarmente significativi per quanto riguarda eventuali instabilità gravitative indotte dalle sollecitazioni cicliche.

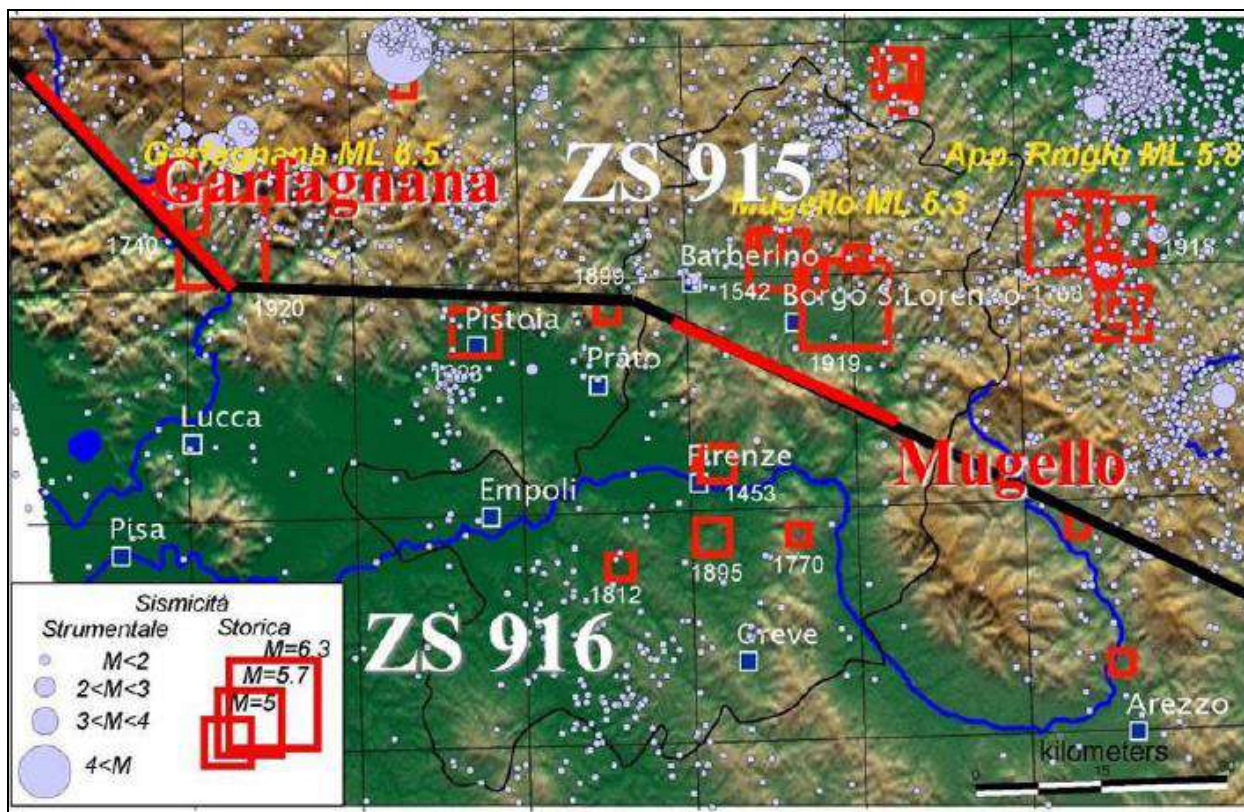


Fig. 6 – sismicità storica e strumentale del bacino Firenze-Prato-Pistoia e delle aree limitrofe

6.2 Definizione del tipo di categoria di suolo di fondazione (O.P.C.M. 3274/03 e succ. mod. e int., Allegato 2, par. 3.1)

In relazione all'entità delle opere in progetto, per l'attribuzione della categoria sismica dell'area si è fatto riferimento ai dati sismici ottenuti dai risultati dello studio precedentemente proposto ed esposto nel dettaglio nella "relazione finale degli studi di microzonazione sismica del territorio comunale di Firenze" del 2021 ed in cui, tramite il programma di calcolo è stata valutata numericamente la risposta sismica al suolo calcolando sulla verticale di ognuno dei 7.800 nodi: la funzione di trasferimento, la serie temporale in superficie per ognuno dei 7 accelerogrammi naturali e i corrispondenti spettri di accelerazione (PSAout).

Sulla stessa base di dati, considerando le indicazioni della NTC2018, è stata calcolata per ognuno dei 7.800 punti la Vs30eq al fine di avere questo dato restituito per l'intero territorio comunale (Fig. 7).

Da questa elaborazione risulta che la quasi totalità dell'area fiorentina su depositi sedimentari recenti (FPT, DA, DR) ricade in classe B.

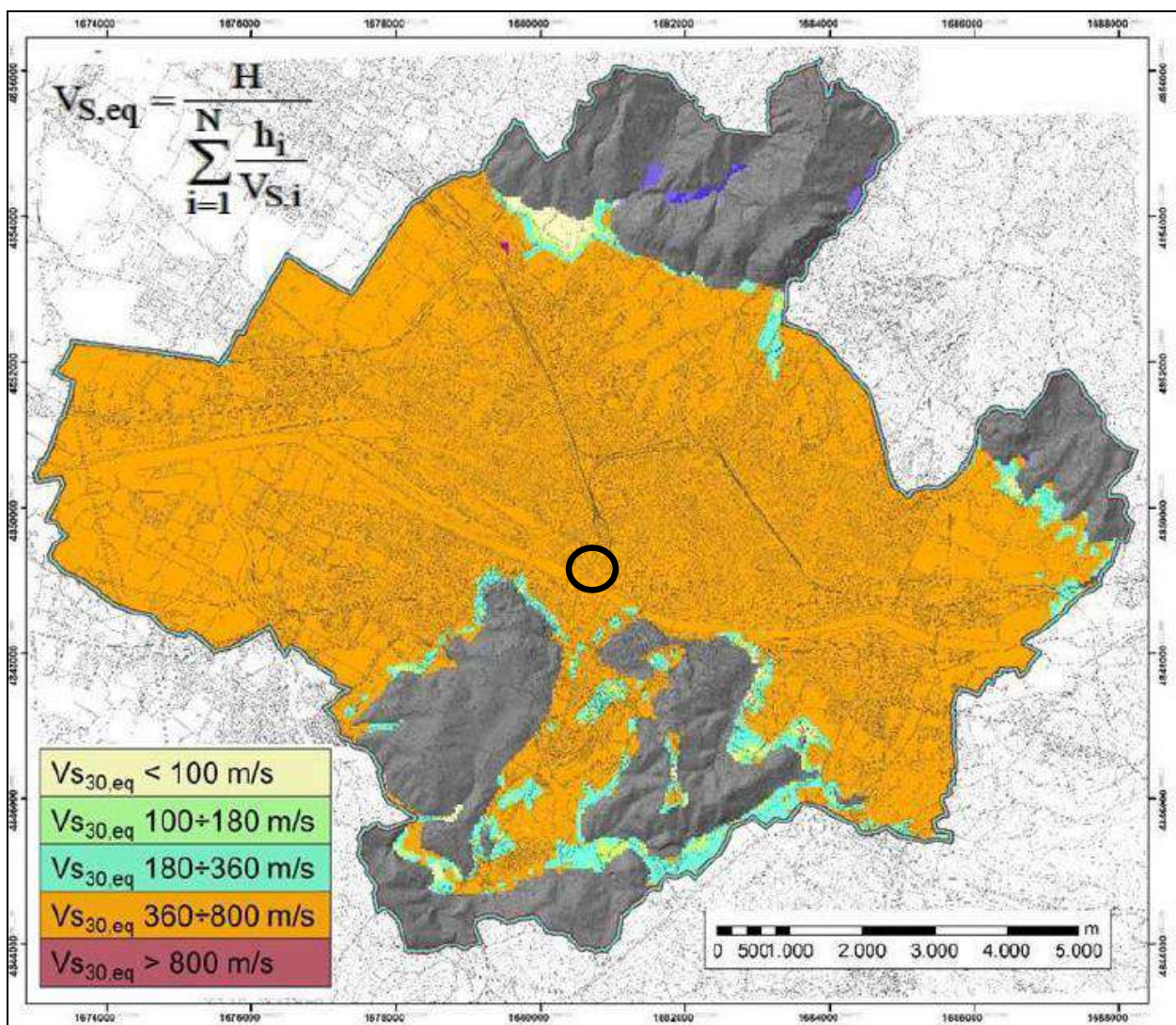


Fig. 7 – distribuzione delle classi di velocità sismica equivalente per i primi 30 m nell'area fiorentina. Nel cerchio nero l'area oggetto di intervento

Pertanto lo scenario di pericolosità sismica, come definito dalle categorie di sottosuolo ed in assenza di evidenti gradienti di rigidità, che altrimenti verrebbero a presumere condizioni di potenziale amplificazione stratigrafica, viene ricondotto alla **categoria di sottosuolo B**, rappresentata da “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”.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche sismiche locali dell'area, ai sensi delle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

Comune	Firenze
Località	Pescaia Santa Rosa
Coordinate WGS84	Long. 11,244189 Latit. 43,772276
Classe d'uso della costruzione	II
Coeff. di classe d'uso (Cu)	1
Vita nominale (Vn) in anni	50
Periodo di riferimento (Vn x Cu) in anni	50
Fattore di struttura (q _o)	1.5
PARAMETRI SISMICI LOCALI	
Sottozona sismica regionale	Zona 3 (Delib. GRT 421/14)
Accelerazione orizzontale max regionale a _g [g]	0,15 g (Delib. GRT 421/14)
	B
Categoria sismica del suolo di fondazione	(360 < V _s , eq < 800 m/s)
	<i>"Rocce tenere e depositi..... caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di V_s equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s).</i>
Coeff. amplificazione topografica (St)	1,0 (Cat. T1)
Coeff. di amplificazione stratigrafica (Ss)	1.2
Attitudine alla liquefazione	Bassa
Attitudine alla densificazione	Medi
Fenomeni di amplificazione locali	Medi
SLE = SLD	
Ag [g] orizzontale max attesa su suolo rigido	0.056
T _c	0.267 s
F ₀	2.589
SLU = SLV	
Ag [g] orizzontale max attesa su suolo rigido	0.131
T _c	0.301 s
F ₀	2.405

Mediante il programma SPETTRI di RISPOSTA ver 1.0.3, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si sono elaborate le azioni di progetto (accelerazioni al suolo) in ragione delle locali condizioni elasto-stratigrafiche, topografiche e prestazionali del manufatto in progetto.

Si sono prese in considerazione le seguenti resistenze alle azioni sismiche:
Stato Limite di esercizio = **SLD** (Stato Limite di danno: danni lievi, ma rimane in esercizio)

Stato Limite Ultimo = **SLV** (Stato Limite di salvaguardia Vita: crolli parziali, buona resistenza verticale e margine di sicurezza orizzontale basso)

Elaborando con il programma, si sono ottenuti gli spettrogrammi e gli incrementi delle accelerazioni al suolo ai vari tempi di ritorno e stati limite considerati:

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.047	2.553	0.253
SLD	50	0.056	2.589	0.267
SLV	475	0.131	2.405	0.301
SLC	975	0.166	2.387	0.310

7 GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO (TRS)

Il progetto per la realizzazione di un impianto idroelettrico sul Fiume Arno, all'altezza dell'uscita dello scolmatore Curtatone, a Firenze, come già accennato nei precedenti paragrafi, avverrà con modesti sbancamenti di terreno. Per l'intervento in oggetto, viene stimato una produzione di materiale pari a 2250 mc. 550 mc saranno scavati in alveo e ricollocati nello stesso, 650 mc saranno costituiti da materiale da demolizione, mentre i restanti 1050 mc di terre e rocce da scavo (scavati nell'ultimo tratto dello scolmatore Curtatone) potranno essere destinate a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, se, con riferimento ai requisiti ambientali di cui all'articolo 4 del D.P.R. n. 120/2017, il produttore dimostri che non siano superati i valori di concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, e che le terre e rocce da scavo non costituiscono fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale (art.20, Capo III del D.P.R n.120 del 13 giugno 2017).

Nel caso in oggetto, al fine di caratterizzare chimicamente i terreni oggetto di intervento, sarà prelevato un campione di terreno all'interno dell'area di scavo prevista per sottoporlo ad analisi chimica di compatibilità ambientale.

Durante le fasi di cantiere, eventuali depositi temporanei di materiali di risulta verranno sistemati in maniera tale da evitare fenomeni erosivi e/o ristagno delle acque.

8 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto sopra esposto l'intervento appare compatibile con le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dell'area e con quelle geotecniche del terreno di fondazione. Si possono formulare quindi le seguenti considerazioni finali:

- a) Il quadro geologico che si ricava dall'esame dei dati acquisiti, tenendo in considerazione la tipologia di intervento è caratterizzato dalla presenza di condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche tali da far ritenere **l'area di intervento stabile e l'intervento in progetto fattibile**, seguendo le indicazioni impartite e le buone norme tecniche di scavo/realizzazione;
- b) Attraverso i dati reperiti e dal rilevamento effettuato è stato possibile ricostruire l'assetto litostratigrafico del terreno e costruire un modello geologico dell'area di studio.

Unità 0: Pavimentazione in conglomerato cementizio, massiciata e massi di scogliera fino a 1.7 m

Unità 1: Limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio fino a 2.5 m di profondità;

Unità 2: Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 6$ cm, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro fino alla profondità di 4 m;

Unità 3: Sabbie prevalenti con ghiaia grossolana sparsa da 4 m a 5 m di profondità;

Unità 4: Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro, da 5 a circa 11 m di profondità;

Unità 5: Ghiaie $\varnothing_{max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro, da 11 m a fine sondaggio, 20 m

Gli interventi in progetto (edificio di centrale, scarico turbina, cono di scarico raccordato all'alveo e muri di sostegno), posti a quote diverse, poggeranno i piani di fondazione all'interno delle varie Unità.

- c) Il territorio è caratterizzato da depositi alluvionali di età quaternaria, che costituiscono le zone di pianura, e da depositi più antichi, di età pliocenica, che formano l'ossatura delle zone collinari. Più precisamente nell'area in oggetto siamo in presenza di terreni appartenenti a:

Depositi alluvionali attuali (b), nel nostro caso con granulometria ghiaiosa prevalente in matrice più o meno sabbiosa, a tratti limosa.

Le indagini geognostiche eseguite nell'area hanno evidenziato la presenza di livelli prevalentemente composti da ghiaie in matrice sabbiosa riferibili all'*Orizzonte Firenze 2*

- d) Le terre e rocce da scavo così prodotte durante i lavori saranno gestite secondo le normative in vigore (D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii e DPR 120/17). Una parte sarà compensata interamente in loco (circa 550 mc), mentre per la parte in esubero stimata in circa 1050 mc, la sua destinazione e riutilizzo verrà valutata in corso delle fasi successive di progetto, ad ogni modo nel rispetto delle suddette normative e di concerto con gli organi e gli enti competenti, queste verranno avviate a smaltimento/recupero o altro sito idoneo, sempre secondo le normative vigenti e previa compatibilità ambientale dei terreni sbancati.
- e) Sulla base degli studi di microzonazione sismica, il sito in esame presenta un substrato simico oltre i 30 m di profondità, pertanto si ha $360 \text{ m/s} < VS_{eq} < 800 \text{ m/s}$; il sito di progetto ricade in **categoria di**

sottosuolo B, ovvero *“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”.*

22

Firenze, 12 dicembre 2024

Il consulente incaricato:



PARTE 2 – RELAZIONE GEOTECNICA

23

9 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

9.1 Indagini geognostiche e litostratigrafia

L'indagine "geognostica" si è svolta secondo le seguenti modalità:

- Esecuzione di n.1 sondaggio a carotaggio continuo (S1), spinto fino alla profondità di 20 m da piano campagna. Nel corso del sondaggio (eseguito il 19 e 20 novembre 2024) sono state eseguite 3 prove SPT, per la stima dei parametri geotecnici. Non è stato possibile il prelievo di campioni in quanto trattavasi di materiale sciolto composto prevalentemente da ghiaia e subordinata sabbia.

Per la stima della categoria di sottosuolo e i principali valori sismici si è fatto riferimento alle conoscenze ed ai dati ampiamente disponibili per l'area in esame, essendo stata oggetto di numerose campagne geognostiche e geofisiche. I dati di riferimento utilizzati per lo studio vengono proposti in dettaglio negli allegati alla presente relazione e la loro ubicazione visibile nelle cartografie allegate (Tav. 12).

Le risultanze delle prove effettuate sono proposte in allegato alla presente relazione.

9.1.1 Sondaggio e prove SPT (Standard Penetration Test)

Come detto, il sondaggio geognostico verticale, realizzato dalla ditta **Geognostica Medicea Snc**, è stato collocato in destra idrografica del Fiume Arno, in corrispondenza dello sbocco dello scolmatore Curtatone.

- Il sondaggio S1, sul sedime dell'edificio di progetto, è stato spinto fino alla profondità di 20 m da piano campagna. Nel corso della perforazione, realizzata a carotaggio continuo, sono state inoltre eseguite 3 prove SPT per la caratterizzazione dei terreni prevalentemente granulari.

Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura SPT e quelle di esecuzione sono quelle standardizzate secondo la norma ASTM 1586/68.

Di seguito viene riportata una tabella riepilogativa delle prove eseguite e dei valori ricavati.

Sondaggio	Id prova	Profondità (m)	Numero di colpi N1-N2-N3
S1	SPT1	10 – 10.45	10-13-18
S1	SPT2	13 – 13.45	18-21-22
S1	SPT3	17 – 17.45	28-22-24

9.1.2 Stratigrafia

Di seguito si riporta la stratigrafia semplificata dei terreni costituenti il volume significativo, desunte dalle carote estratte nel corso del sondaggio realizzato.

Per un'analisi visiva del report stratigrafico di dettaglio, si rimanda alle schede allegate.

S1

24

PROFONDITÀ (m)	LITOLOGIA	CAMPIONE	SPT
1.7 – 2.5	Limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio		
2.5 – 4.0	Ghiaie prevalenti Ømax = 6 cm, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro		
4.0 – 5.0	Sabbie prevalenti con ghiaia grossolana sparsa		
5.0 – 11.0	Ghiaie prevalenti Ømax = 10 cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro		10.0-10.45: 10-13-18
11.0 – 20.0	Ghiaie Ømax = 10 cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro		13.0-13.45: 18-21-22 17.0-17.45: 28-22-24

10 MODELLO GEOTECNICO RISULTANTE

10.1 Unità stratigrafiche

Attraverso i dati ottenuti dalle indagini geognostiche è stato possibile ricostruire l'assetto litostratigrafico dei terreni afferenti all'area in esame e ricostruirne un modello geotecnico, così definito nei suoi parametri nominali:

strato	Orizzonte/strato	H m	γ t/mc	γs t/mc	M(ed) Mpa	c _u kPa	φ' °	c' kPa
1	limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio	1.7 - 2.5	1.90	2.00	3.0	35.0	26.0	0.50
2	Ghiaie prevalenti Ømax = 10 cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	2.5 - 11.0	1.70	1.80	37.5	0.4	35.9	7.00
3	Ghiaie Ømax = 10 cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	11.0 - 20.0	1.70	1.80	48.4	0.2	38.1	5.00

I dati così noti ed i risultati ottenuti con le indagini effettuate risultano essere esaustivi per la caratterizzazione litostratigrafico-geotecnica dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere in progetto.

Questi (edificio di centrale, scarico turbina, cono di scarico raccordato all'alveo e muri di sostegno), posti a quote diverse, poggeranno i piani di fondazione all'interno delle varie Unità.

10.2 Parametri geotecnici caratteristici

Per la definizione dei parametri caratteristici (X_k) dai valori nominali delle prove geognostiche (riportati in Relazione Geologica) si è utilizzata la formula statistica semplificata di Schneider, che fa riferimento ad un numero limitato di campioni (usualmente 1-5), con l'introduzione del coeff. di variazione (COV = dev. standard/media), espresso anche in termini percentuali:

$$X_k = X_{med} (1 - COV/2)$$

Dove Schneider raccomanda i seguenti valori di COV:

angolo di attrito: 10 %

coesione: 40 %

modulo di comprimibilità: 40 %

Alla luce di quanto sopra esposto e spiegato si ricavano i **parametri geotecnici caratteristici** delle litologie identificate per i 2 modelli distinti:

10.2.1 parametri geotecnici caratteristici

strato	Orizzonte/strato	H m			γ t/mc	γ_s t/mc	M(ed) Mpa	c_u kPa	ϕ' °	c' kPa
1	limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio	1.7	-	2.5	1.90	2.00	2.4	28.0	24.7	0.40
2	Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	2.5	-	11.0	1.70	1.80	30.0	0.3	34.1	5.60
3	Ghiaie $\varnothing_{max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	11.0	-	20.0	1.70	1.80	38.7	0.2	36.2	4.00

10.3 Parametri geotecnici di progetto

26

10.3.1 Approccio 1 – Combinazione 1 (STR)

Applicando i coefficienti corrispondenti all'Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1) si ottengono i seguenti parametri geotecnici di progetto:

strato	Orizzonte/strato	H m			γ t/mc	γ_s t/mc	M(ed) Mpa	c_u kg/cmq	ϕ' °	c' kg/cmq
1	limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio	1.7	-	2.5	1.9	2.00	2.4	28.0	24.7	0.40
2	Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	2.5	-	11.0	1.7	1.80	30.0	0.3	34.1	5.60
3	Ghiaie $\varnothing_{max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	11.0	-	20.0	1.7	1.80	38.7	0.2	36.2	4.00

10.3.2 Approccio 1 – Combinazione 2 (GEO)

Applicando i coefficienti parziali di riduzione corrispondenti all'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), si ottengono i seguenti parametri geotecnici di progetto:

strato	Orizzonte/strato	H m			γ t/mc	γ_s t/mc	M(ed) Mpa	c_u kPa	ϕ' °	c' kPa
1	limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio	1.7	-	2.5	1.90	2.00	1.7	20.0	21.1	0.32
2	Ghiaie prevalenti $\varnothing_{max} = 10$ cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	2.5	-	11.0	1.70	1.80	21.4	0.2	31.1	4.48
3	Ghiaie $\varnothing_{max} = 10$ cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro	11.0	-	20.0	1.70	1.80	27.7	0.1	33.6	3.20

Firenze, 12 dicembre 2024



Il consulente incaricato:

COMUNE DI FIRENZE

Città Metropolitana di Firenze

**PROGETTO DI NUOVO IMPIANTO IDROELETTRICO SUL FIUME ARNO, IN
LOCALITÀ FIRENZE, DENOMINATO "SANTA ROSA"**

**RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ E DI MODELLAZIONE SISMICA
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI ED IDROGEOLOGICA**

Relativa a:

**Caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica
Verifica della sicurezza e delle prestazioni (GEO)**

Ai sensi:

*DM 17/01/18 - OPCM 3274/03 e s.m.i - DPGR 1/R/22 e all. 1 art. 5 - DPGR 48/R/03 e s.m.i - DPGR 46/R/2008 e s.m.i.
DPGR 18/R/2010 - D.Lgs. 152/06 e s.m.i - LR 53/R/11 - LR 65/14 e s.m.i - DPGR 53/R/15 - L. 98/13 - DPR 120/17 - R.E. Comunale*

COMMITTENTE: SILEXTECH SRL

PROGETTISTA: Ing. Francesco Paoli

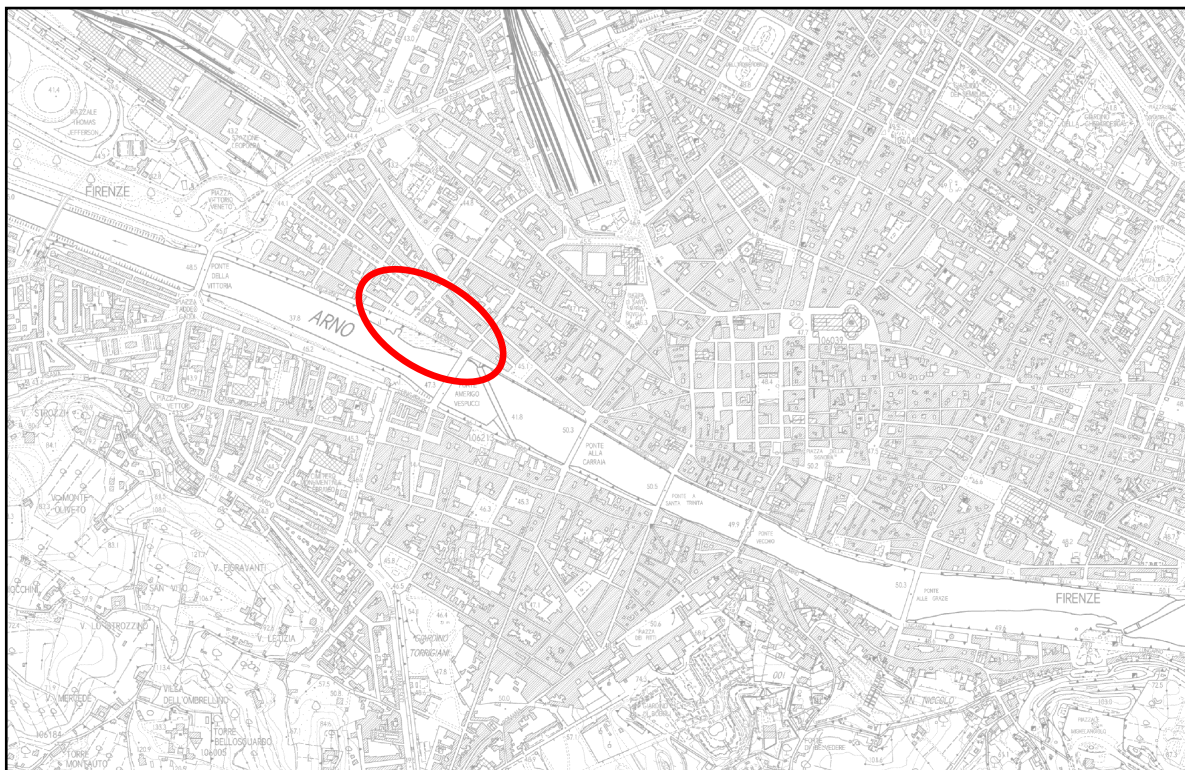
Firenze,
dicembre 2024

ALLEGATI

Cartografie tematiche
Parametri sismici (SPETTRI DI RISPOSTA)
Report stratigrafico sondaggio
Interpretazioni SPT

Tavola 1

UBICAZIONE TOPOGRAFICA DELL'AREA DI INTERVENTO Pescaia Santa Rosa - Firenze



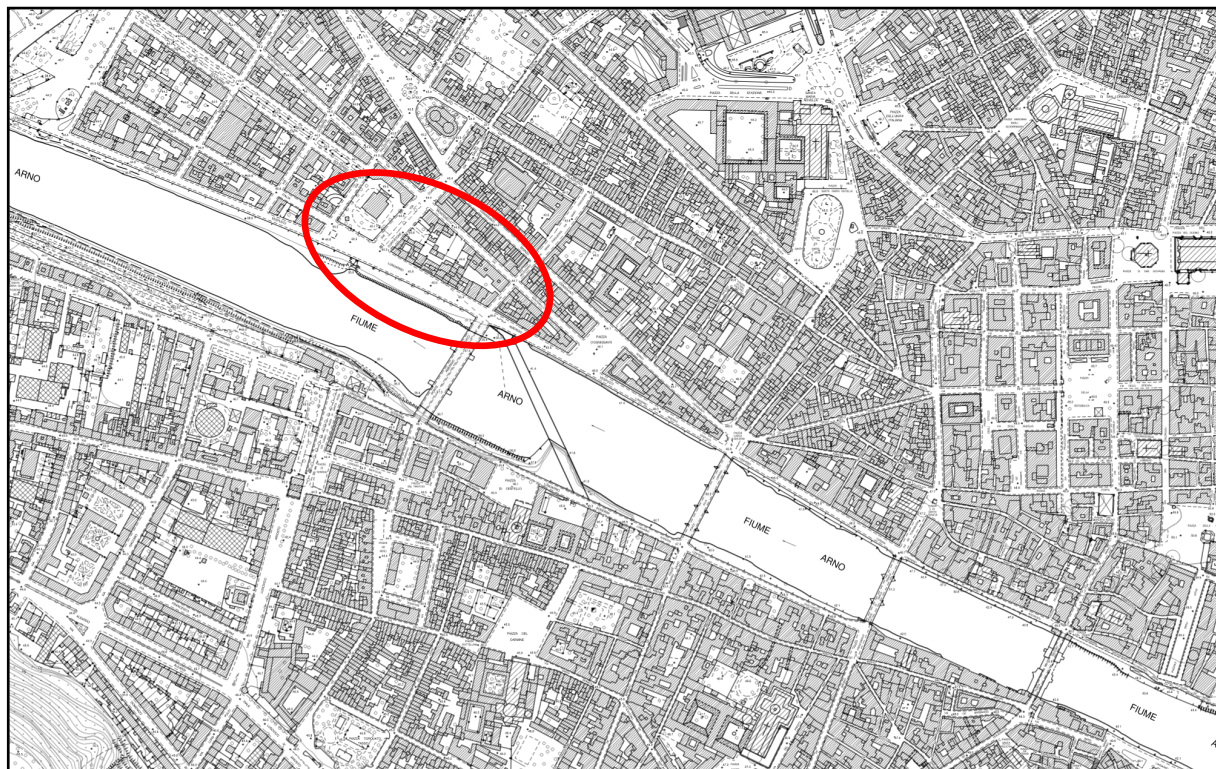
Scala 1:10.000



Area di intervento

Tavola 2

UBICAZIONE TOPOGRAFICA DELL'AREA DI INTERVENTO Pescaia Santa Rosa - Firenze



Scala 1:5.000



Area di intervento

Tavola 3

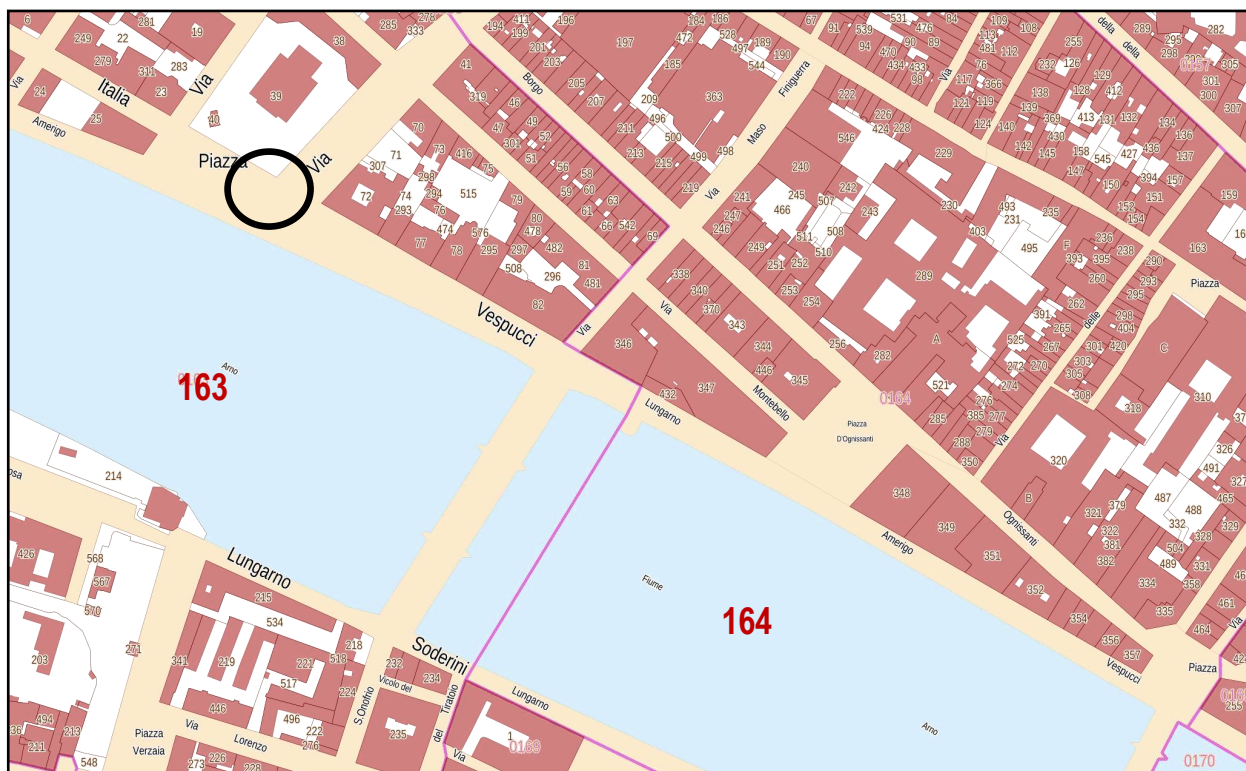
COROGRAFIA DELL'AREA DI INTERVENTO Pescaia Santa Rosa - Firenze



Area di intervento

Tavola 4

ESTRATTO DI MAPPA CATASTALE
SITA CARTOTECA REGIONE TOSCANA
(F. 163-164 Comune Firenze)



Scala 1:2.000



Area di intervento

Tavola 5

IMMAGINE SOVRAPPOSTA DELLO STATO DI PROGETTO INTERESSANTE LA CENTRALE DI TURBINAMENTO

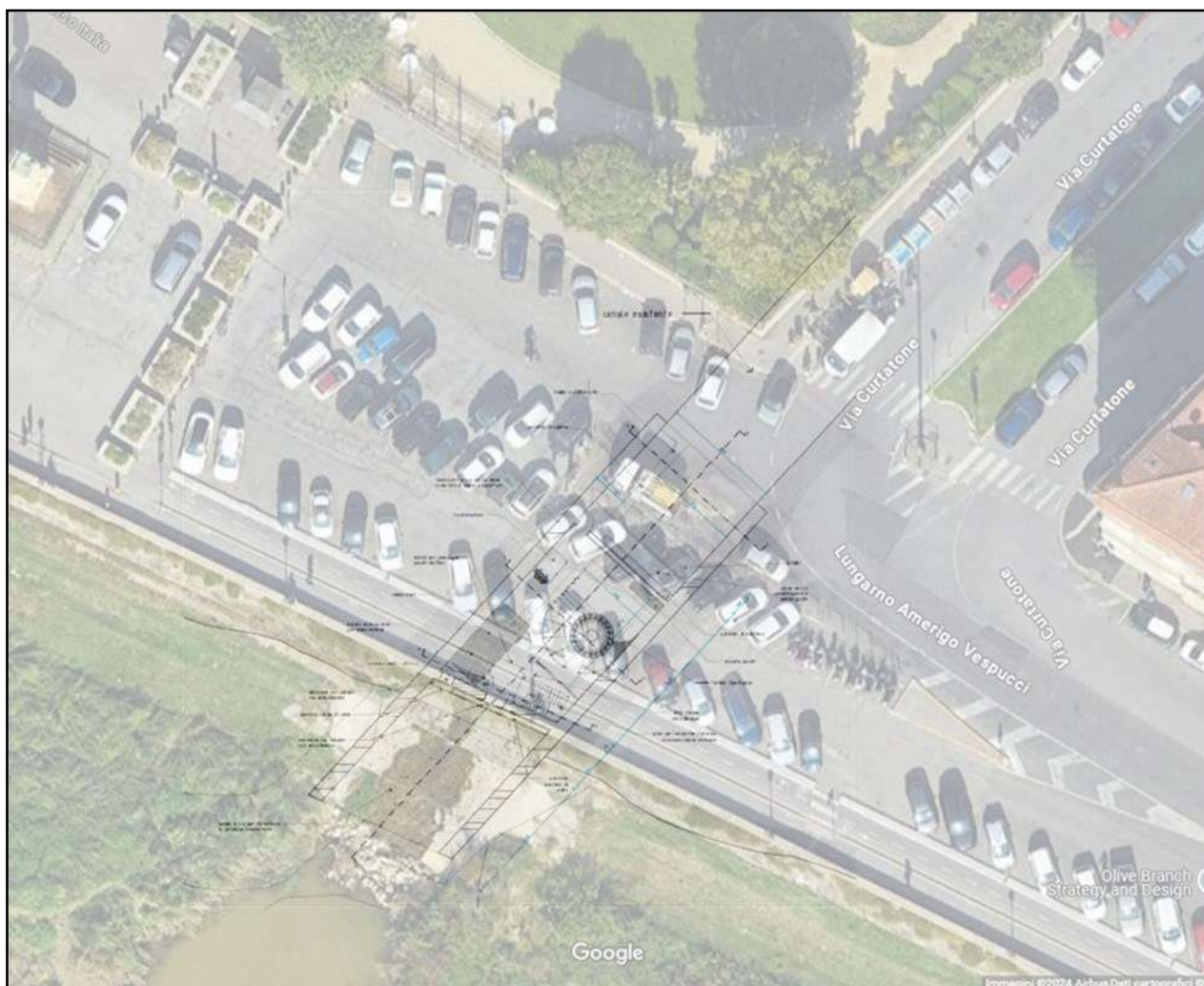
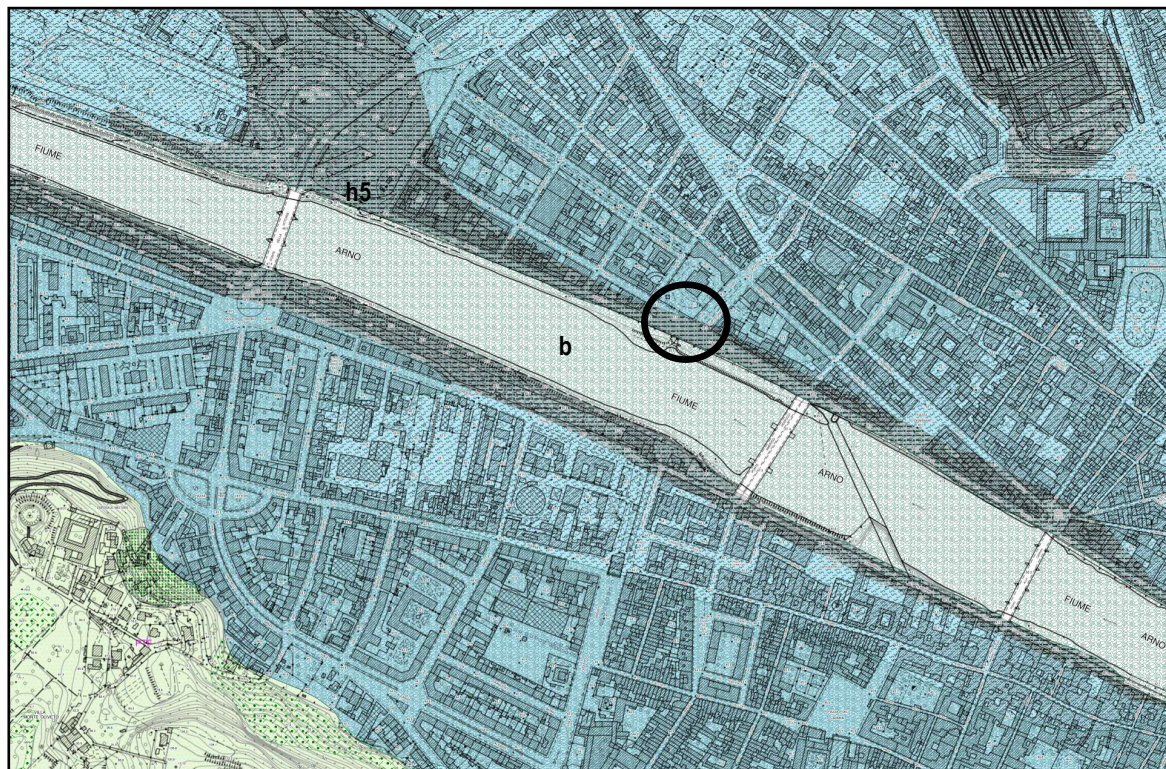


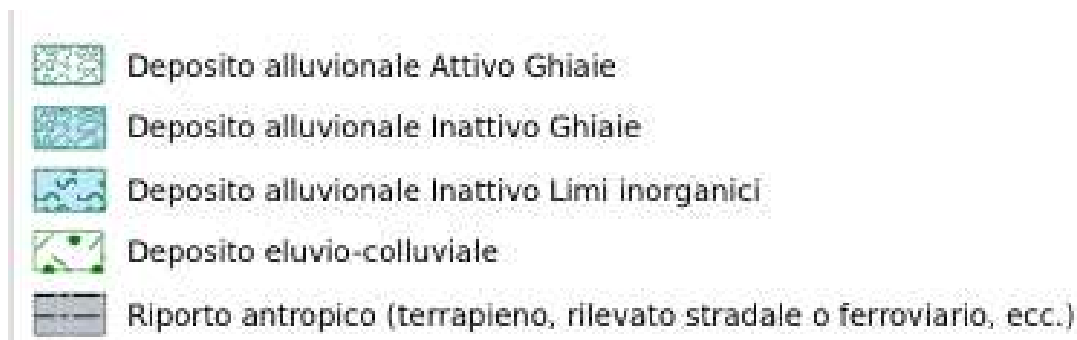
Tavola 6

CARTOGRAFIA GEOLOGICA (SITA - Cartoteca Regione Toscana)



Scala 1:5.000

Legenda:



Area di intervento

Tavola 7

CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA (PO. Comune Firenze - 2023)



Scala 1:5.000

Legenda:

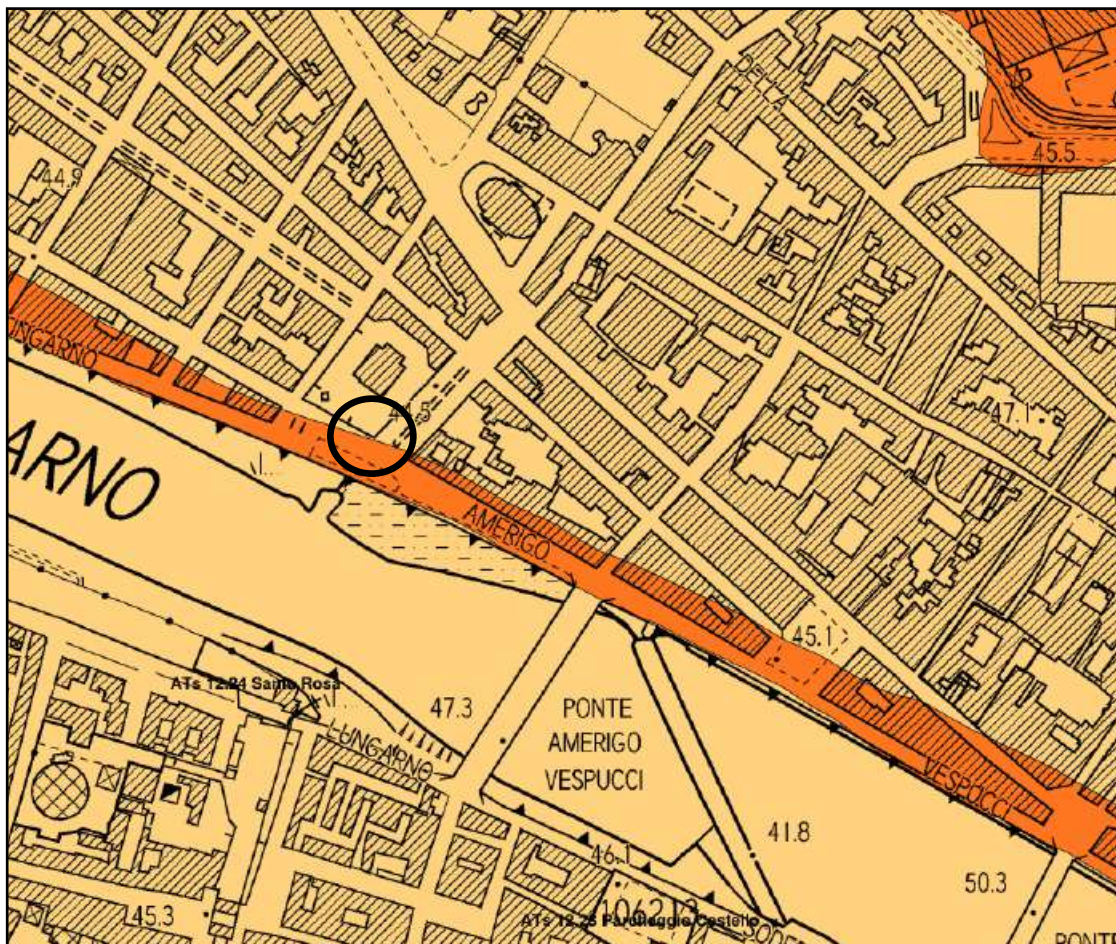
- pericolosità geologica bassa - G1
- pericolosità geologica media - G2
- pericolosità geologica elevata - G3
- pericolosità geologica molto elevata - G4
- P3a | aree a pericolosità geomorfologica elevata
- P4 | aree a pericolosità geomorfologica molto elevata
- AT area di trasformazione
- ATs area di trasformazione per servizi



Area di intervento

Tavola 8

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (PO. Comune Firenze - 2023)



Scala 1:5.000

Legenda:

- | | |
|--|--|
| | S1 - pericolosità bassa |
| | S2 - pericolosità media |
| | S2* - pericolosità media con contrasti attesi
oltre alcune decine di metri di profondità e $f_0 < 1$ hz |
| | S3 - pericolosità elevata |
| | S3f - pericolosità elevata per cause geomorfologiche
(dissesto inattivo) |
| | S3g - pericolosità elevata per caratteristiche geotecniche scadenti
(terreno di riporto) |
| | S4 - pericolosità molto elevata |
| | area di trasformazione |
| | area di trasformazione per servizi |



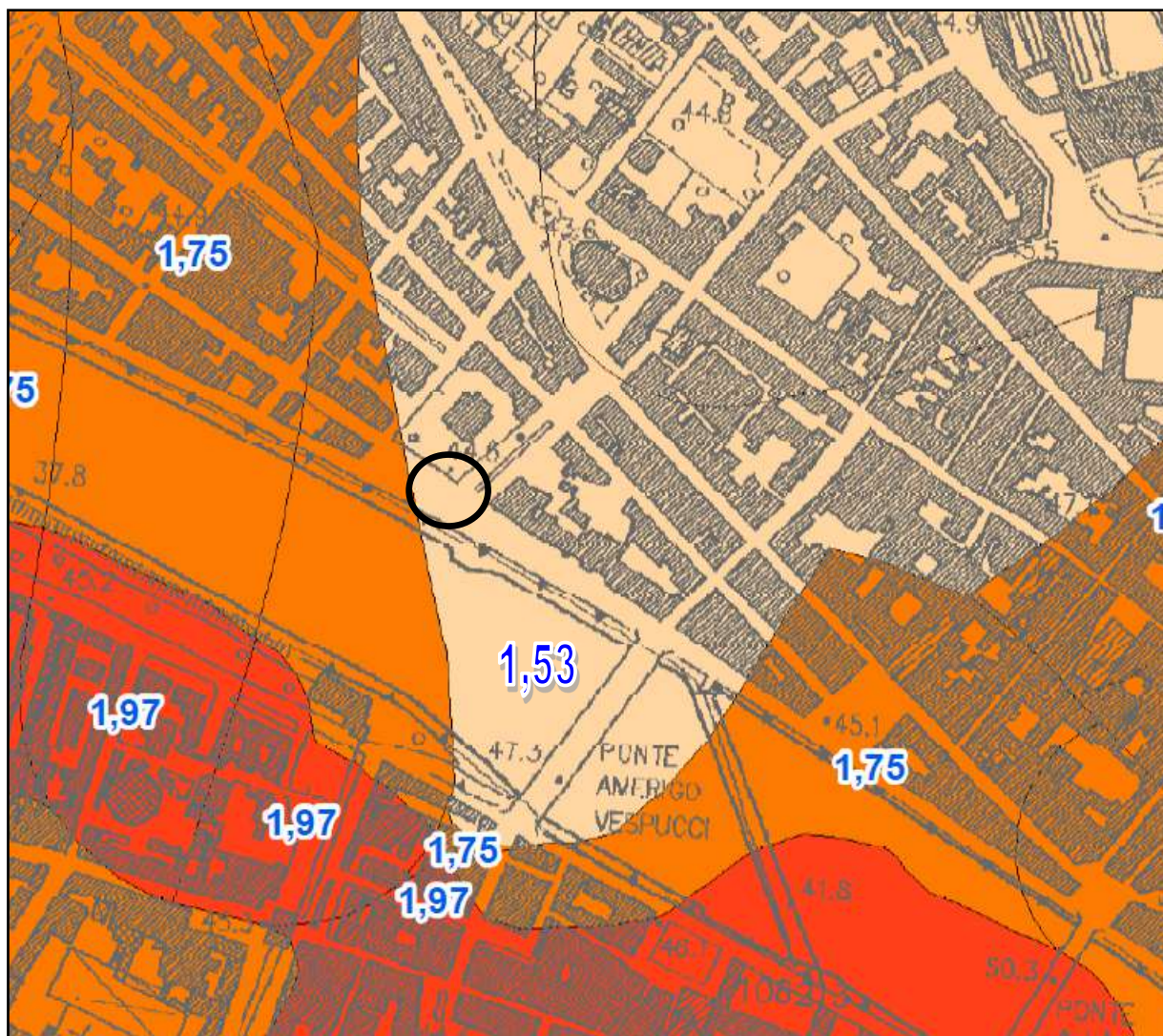
Area di intervento

Tavola 9

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO

Fa 0.1-0.5 s

(RT - Comune Firenze - 2021)








Legenda:

Scala 1:5.000

Zone suscettibili di amplificazioni locali

FA

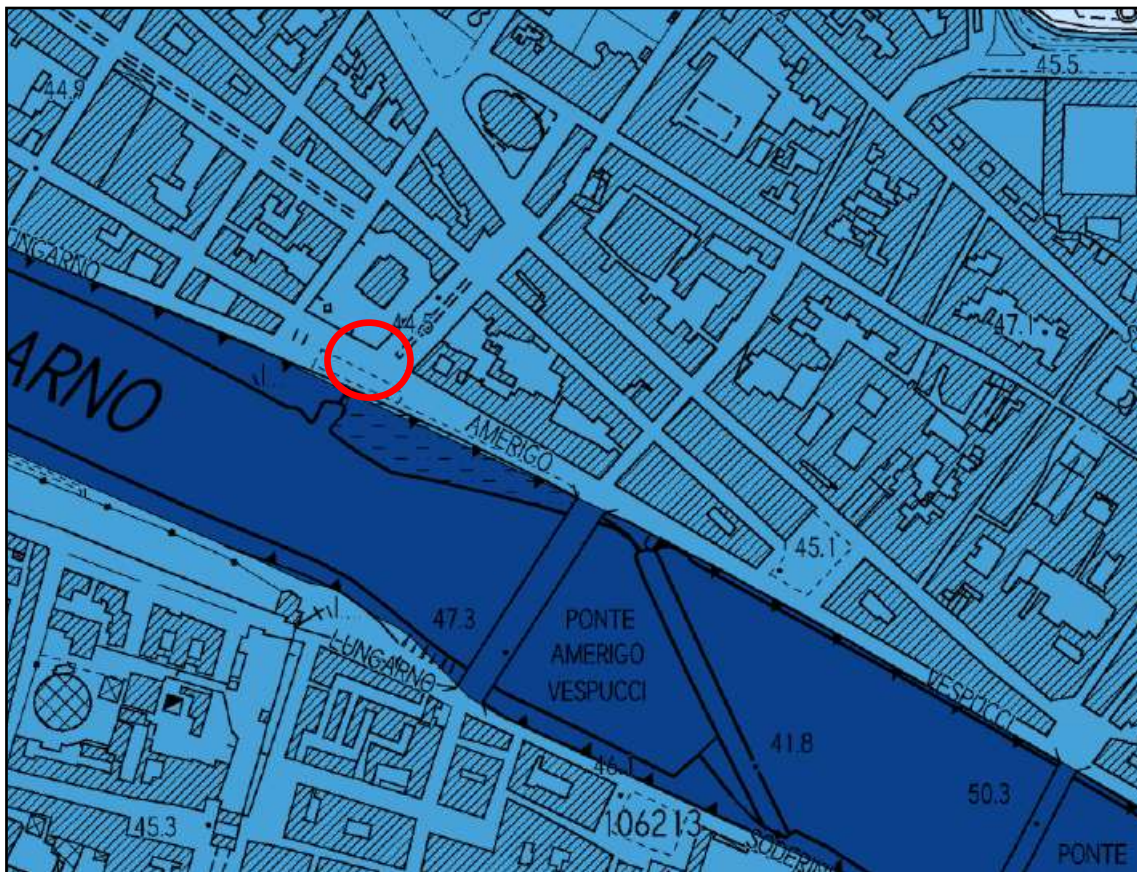
	1,1 - 1,2	Microzona 2
	1,5 - 1,6	Microzona 3
	1,7 - 1,8	Microzona 4
	1,9 - 2,0	Microzona 5
	2,3 - 2,4	Microzona 6



Area di intervento




Tavola 10

CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI (PS. Comune Firenze - 2023)



Scala 1:5.000

Legenda:

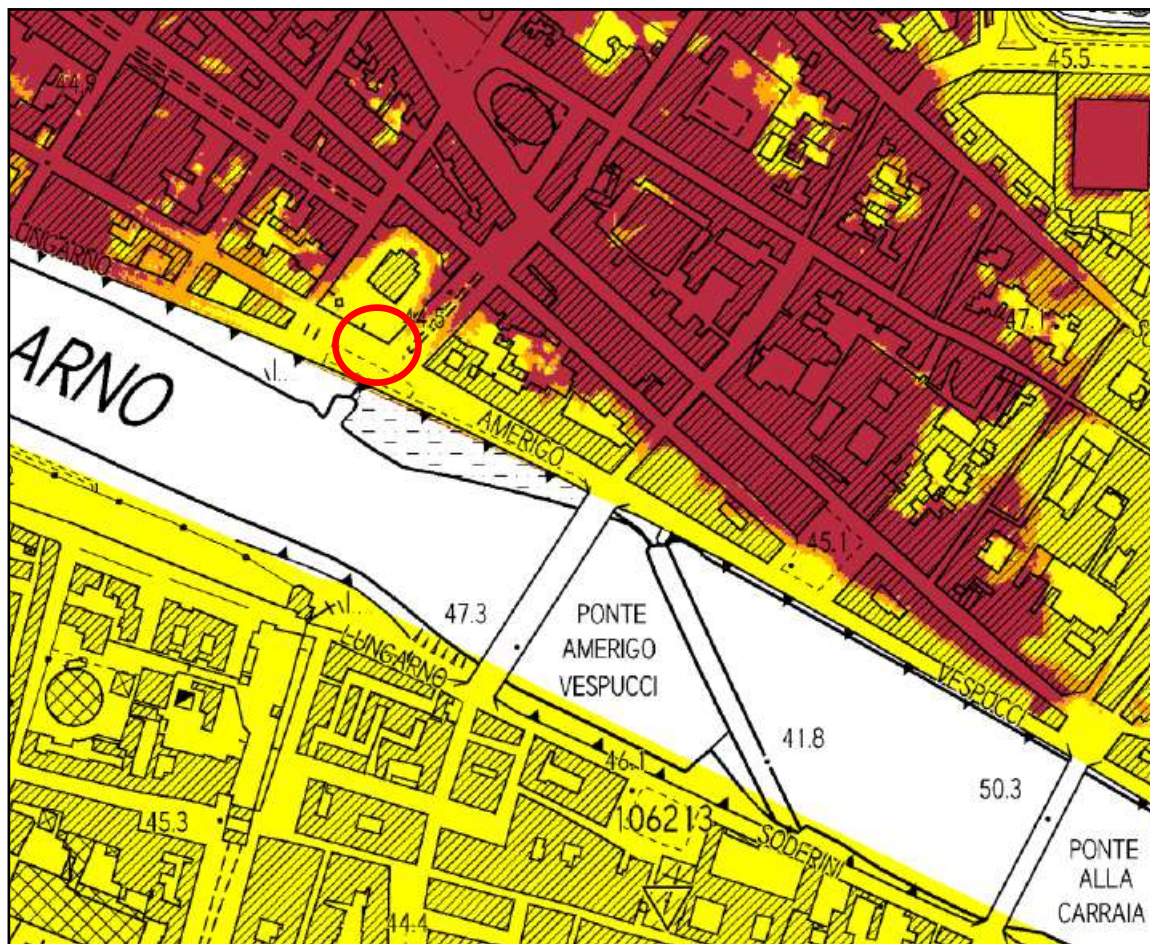
-  aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)
-  aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)
-  aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)



Area di intervento

Tavola 11

CARTA DELLA MAGNITUDO IDRAULICA (PS. Comune Firenze - 2023)



Scala 1:5.000

Legenda:

- magnitudo moderata
- magnitudo severa
- magnitudo molto severa



Area di intervento

Tavola 12

CARTA CON UBICAZIONI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE



Legenda:



Sondaggio a carotaggio continuo



Area di intervento

INTRO

D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Spettri di risposta

ver. 1.0.3

Il documento Excel **SPETTRI-NTC** fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:

FASE 1. Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);

FASE 2. Scelta della strategia di progettazione;

FASE 3. Determinazione dell'azione di progetto.

La schermata relativa a ciascuna fase è suddivisa in sotto-schermate: l'utente può intervenire nelle sotto-schermate con sfondo grigio scuro mentre quelle con sfondo grigio chiaro consentono un immediato controllo grafico delle scelte effettuate. In ogni singola fase l'utente può visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni -in forma sia grafica che numerica- nonché i relativi riferimenti alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ord. n.30 e scaricabile dal sito www.cslp.it

Programma ottimizzato per una visualizzazione schermo 1024 x 768

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

11.24419

LATITUDINE

43.77228

☐ Ricerca per comune

REGIONE

Abruzzo

PROVINCIA

Chieti

COMUNE

Chieti

Elaborazioni grafiche

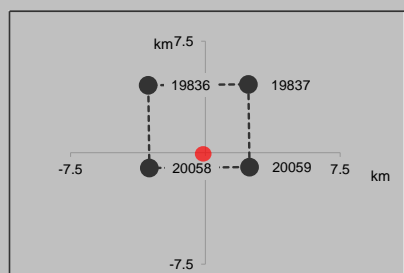
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- ☐ Sito esterno al reticolo
- ☐ Interpolazione su 3 nodi
- ☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
SLC - $P_{VR} = 5\%$

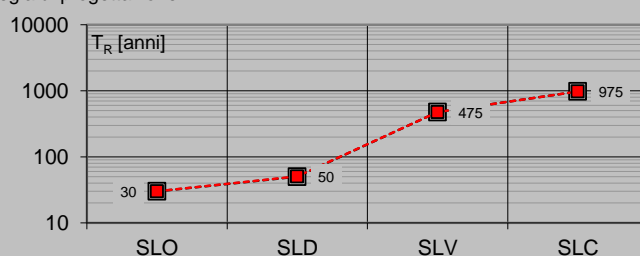
Elaborazioni

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

Tabella parametri azione ☐

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** ▼ info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** ▼ info

Categoria topografica **T1** ▼ info

$S_S =$ **1.200**

$C_C =$ **1.398** info

$h/H =$ **0.000**

$S_T =$ **1.000** info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☐ Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta =$ **1.000** info

☒ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o **1**

Regol. in altezza **sì** ▼ info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1.5**

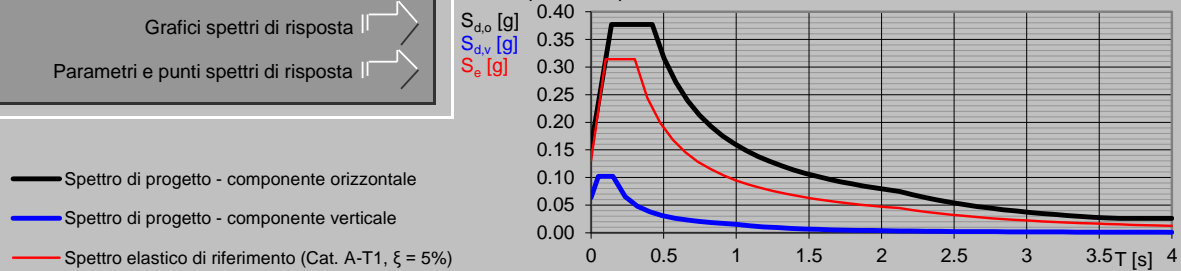
$\eta =$ **0.667** info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



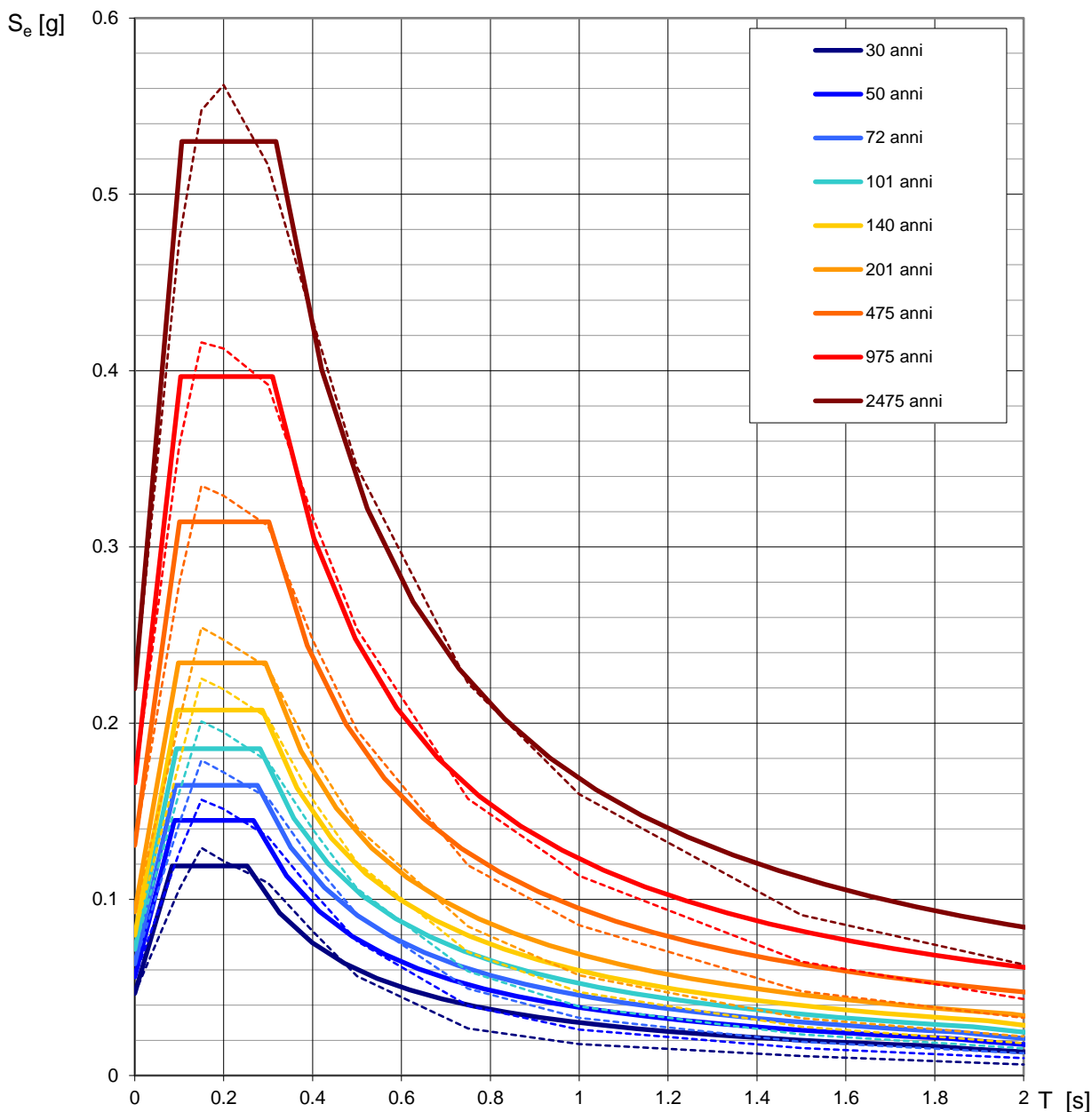
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

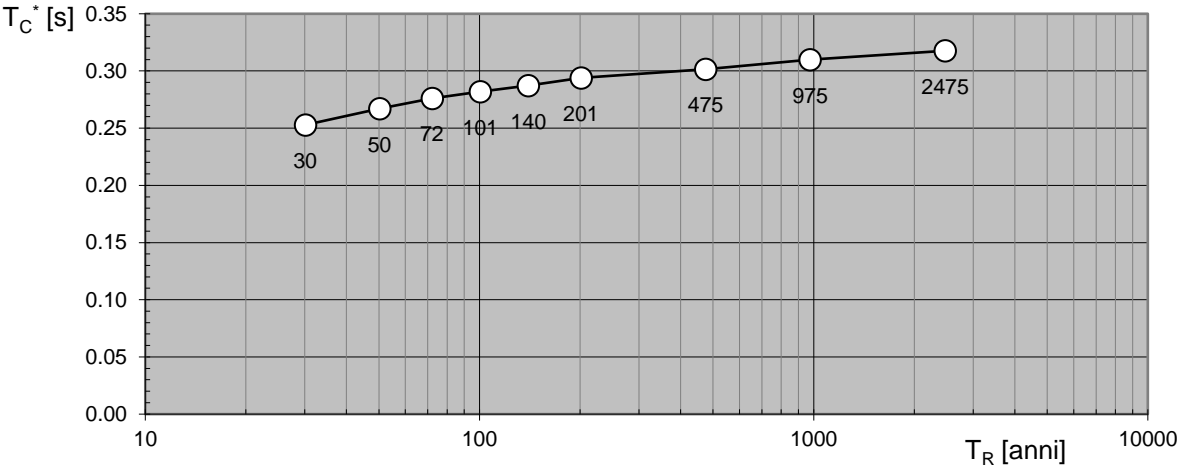
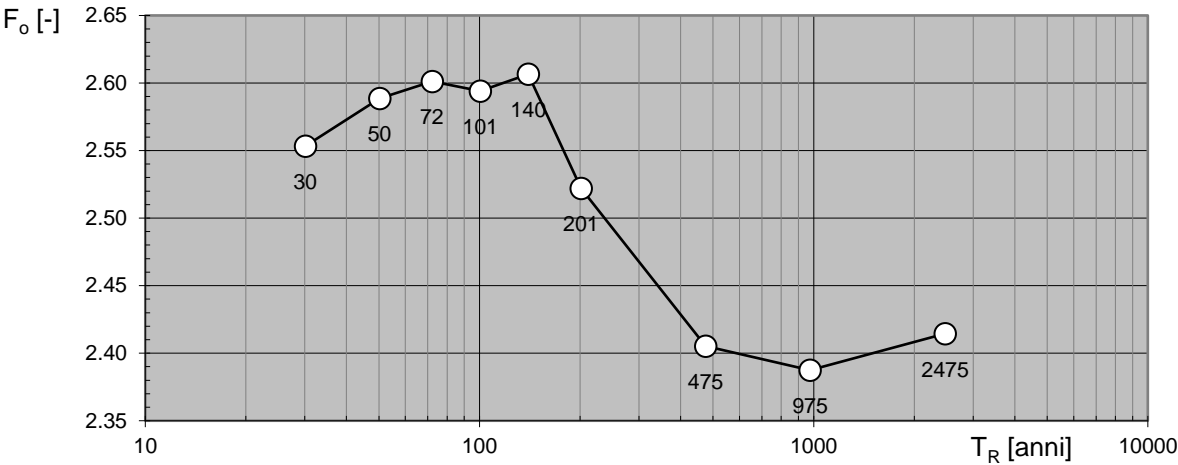
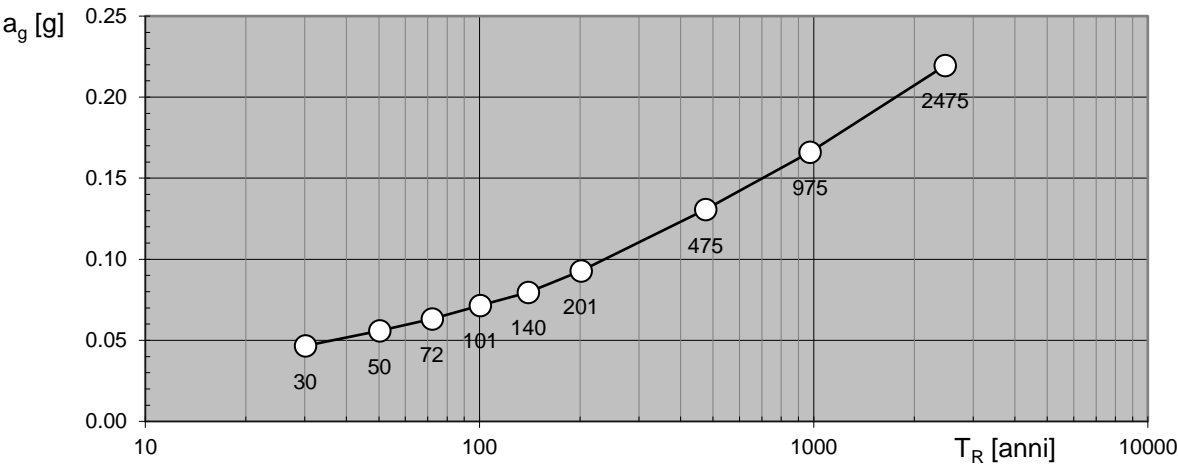


NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



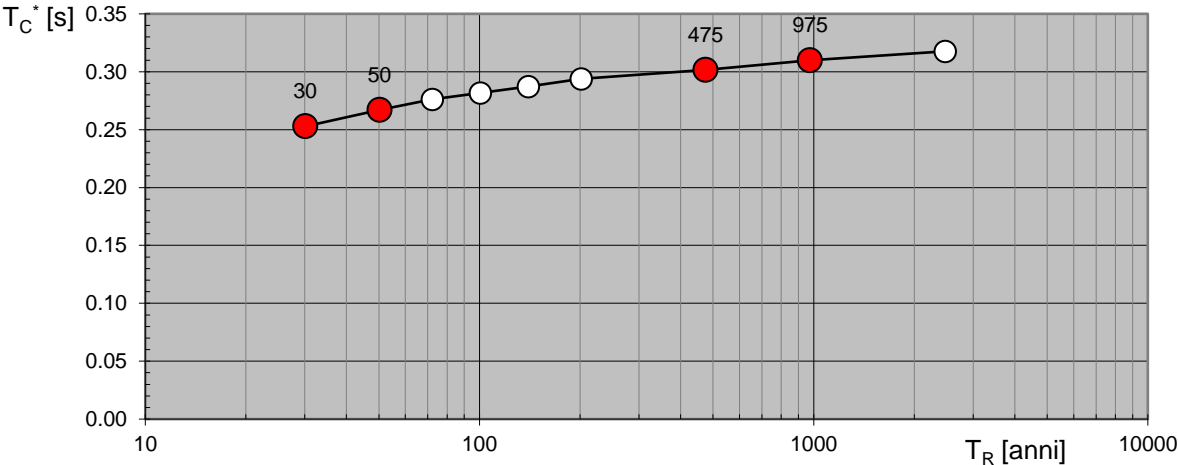
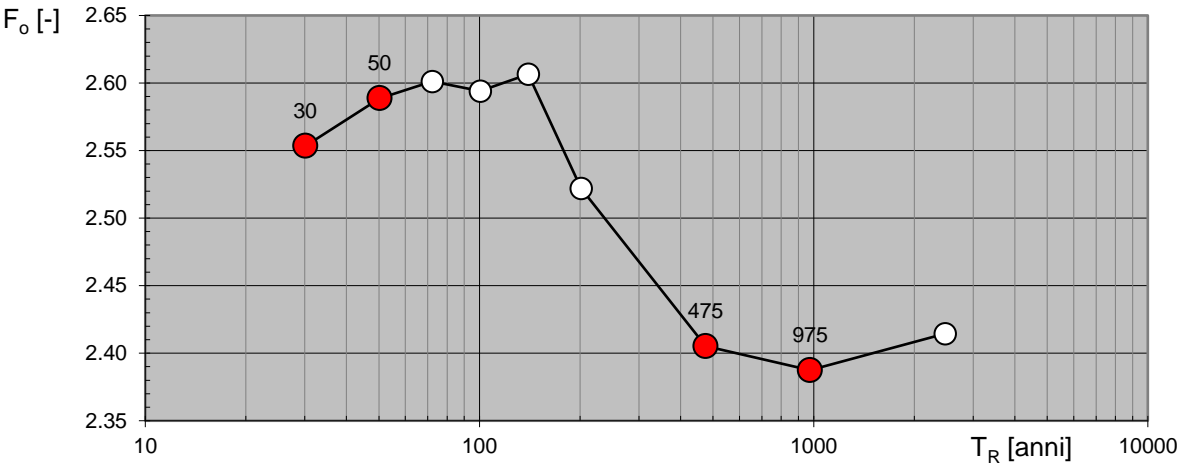
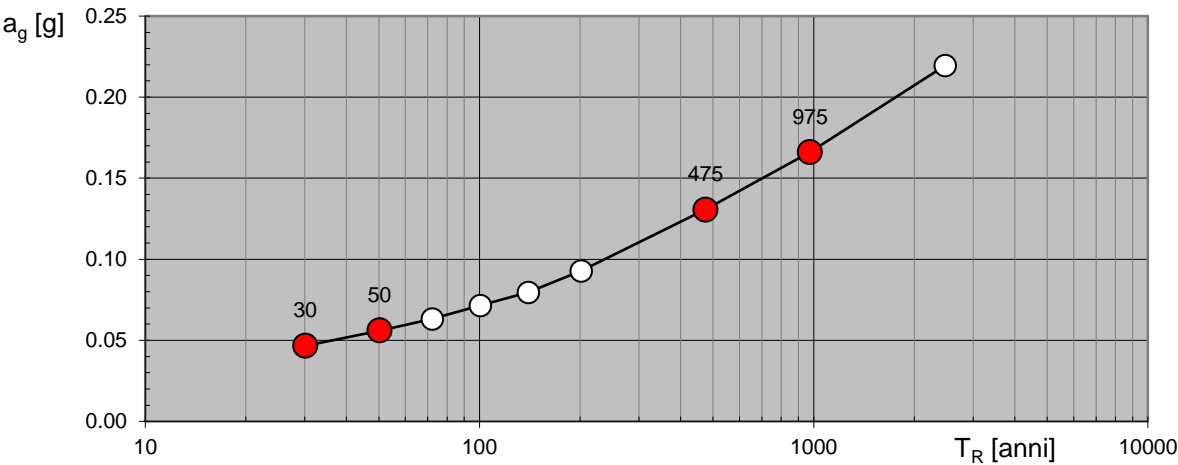
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

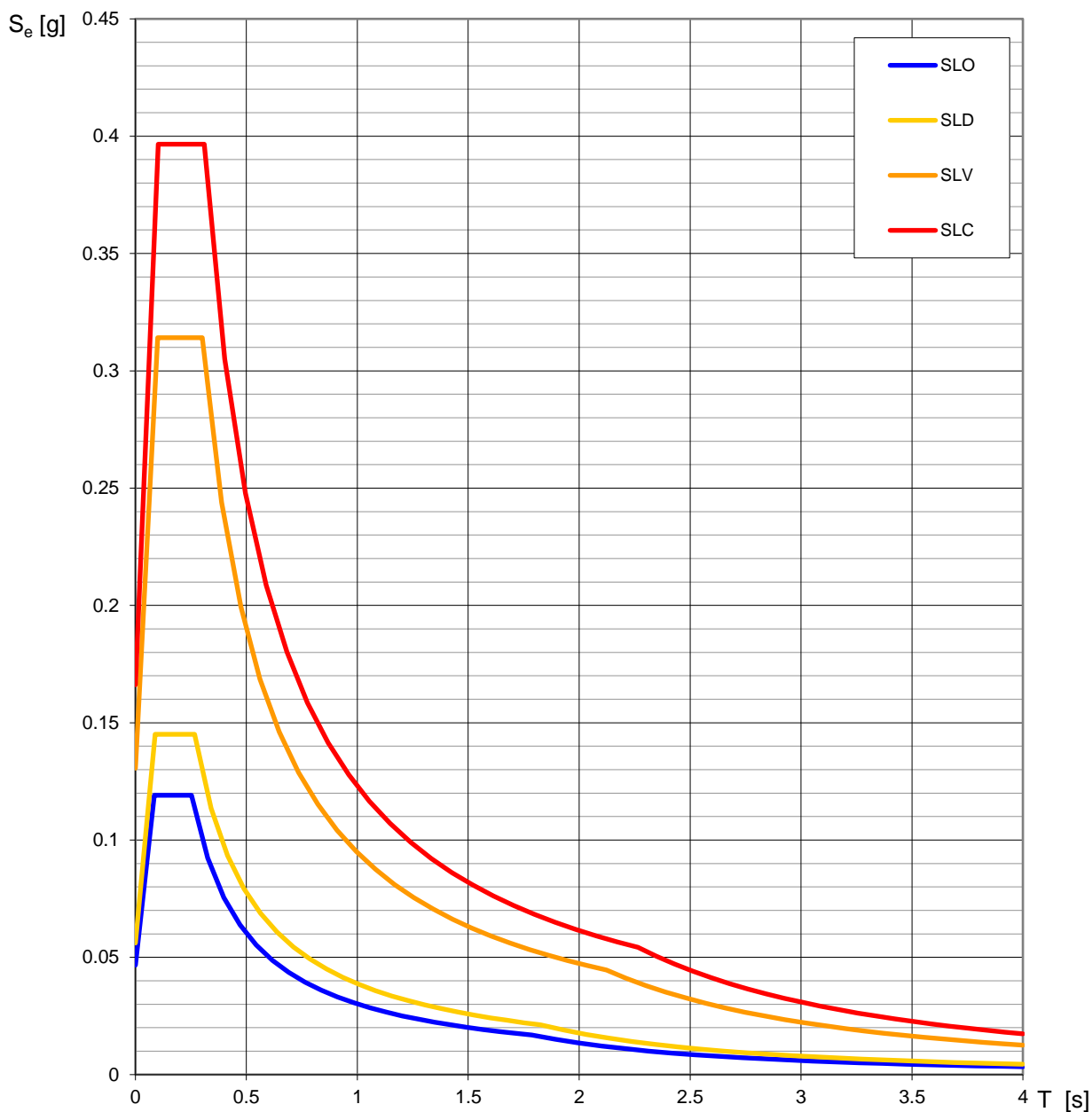
T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.047	2.553	0.253
50	0.056	2.589	0.267
72	0.063	2.601	0.276
101	0.071	2.594	0.282
140	0.080	2.607	0.287
201	0.093	2.522	0.294
475	0.131	2.405	0.301
975	0.166	2.387	0.310
2475	0.219	2.415	0.318

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

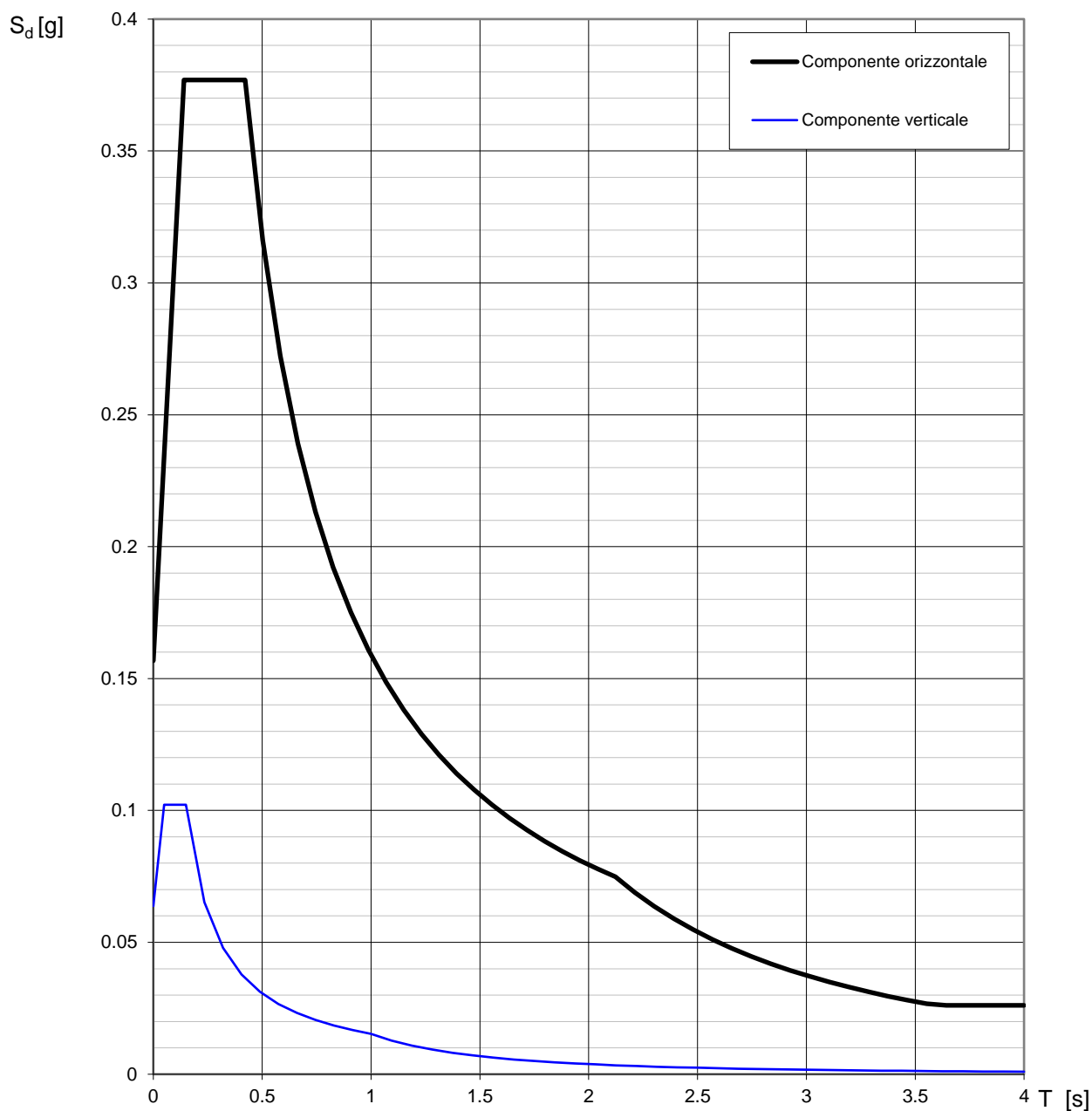
Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.047	2.553	0.253
SLD	50	0.056	2.589	0.267
SLV	475	0.131	2.405	0.301
SLC	975	0.166	2.387	0.310

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.131 g
F_o	2.405
T_C^*	0.301 s
S_S	1.200
C_C	1.398
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.140 s
T_C	0.421 s
T_D	2.122 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.157
$T_B \leftarrow$	0.140	0.377
$T_C \leftarrow$	0.421	0.377
	0.502	0.316
	0.583	0.272
	0.664	0.239
	0.745	0.213
	0.826	0.192
	0.907	0.175
	0.988	0.161
	1.069	0.149
	1.150	0.138
	1.231	0.129
	1.312	0.121
	1.393	0.114
	1.474	0.108
	1.555	0.102
	1.636	0.097
	1.717	0.093
	1.798	0.088
	1.879	0.085
	1.960	0.081
	2.041	0.078
$T_D \leftarrow$	2.122	0.075
	2.212	0.069
	2.301	0.064
	2.391	0.059
	2.480	0.055
	2.569	0.051
	2.659	0.048
	2.748	0.045
	2.838	0.042
	2.927	0.039
	3.016	0.037
	3.106	0.035
	3.195	0.033
	3.285	0.031
	3.374	0.030
	3.464	0.028
	3.553	0.027
	3.642	0.026
	3.732	0.026
	3.821	0.026
	3.911	0.026
	4.000	0.026

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0.064 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.173
S	1.000
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.064
$T_B \leftarrow$	0.050	0.102
$T_C \leftarrow$	0.150	0.102
	0.235	0.065
	0.320	0.048
	0.405	0.038
	0.490	0.031
	0.575	0.027
	0.660	0.023
	0.745	0.021
	0.830	0.018
	0.915	0.017
$T_D \leftarrow$	1.000	0.015
	1.094	0.013
	1.188	0.011
	1.281	0.009
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.656	0.006
	1.750	0.005
	1.844	0.005
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-08)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella **Tab. 2.4.I** delle NTC-08 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

	Tipi di costruzione	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita di riferimento (§ 2.4.3 NTC-08)

Le azioni sismiche su 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

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (\text{NTC-08 Eq. 2.4.1})$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella **Tab. 2.4.II** delle NTC-08.

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1	1.5	2

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Stati limite e relative probabilità di superamento (§ 3.2.1 NTC-08)

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, 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 compromettere 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:

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 P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella **Tab. 3.2.I delle NTC-08**.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-08)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.5 delle NTC-08. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (**Tab. 3.2.II** delle NTC-08).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Condizioni topografiche (§ 3.2.2 NTC-08)

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (**Tab. 3.2.IV** delle NTC-08):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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 $i > 30^\circ$

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Amplificazione stratigrafica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B,C,D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di a_g , F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella **Tab. 3.2.V** delle NTC-08, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	SS	CC
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella **Tab. 3.2.VI** delle NTC-08, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove S_T assume valore unitario.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio (§§ 3.2.3.4 e 7.3.7.1 NTC-08)

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Per costruzioni di Classe III e IV, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD ed attribuendo ad η il valore di 2/3 (corrispondente ad un valore $\xi = 17.5\%$) sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto.

Spettri di progetto per gli stati limite ultimi (§ 3.2.3.5 NTC-08)

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Fattore di struttura (§ 7.3.1 NTC-08)

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (\text{NTC-08 Eq. 7.3.1})$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le costruzioni regolari in pianta, qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto α_u/α_1 , per esso possono essere adottati i valori indicati nei paragrafi successivi per le diverse tipologie costruttive.

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Riferimenti normativi

Criteri generali (§ 7.2.1 NTC-08)

La componente verticale deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti, costruzioni con isolamento nei casi specificati in § 7.10.5.3.2 e purché il sito nel quale la costruzione sorge non ricada in zona 3 o 4.

Fattore di struttura (§ 7.3.1 NTC-08)

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è $q = 1,5$ per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

UBICAZIONE SONDAGGI

FOSSO CURTATONE/ARNO – FIRENZE



Immagine google maps

	X (LONG)	Y (LAT)
S1	11.2412859	43.7733267

S1 - ubicazione



GEOGNOSTICA
MEDICEA



Cassetta 1: 0 - 5 m



Cassetta 2: 5 - 10 m



Cassetta 3: 10 - 15 m



Cassetta 4: 15 - 20 m

LEGENDA STRATIGRAFIA

o num	R v	A s	Pz	metri bat	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT SPT	N	RQD % 0 --- 100	prof m	DESCRIZIONE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

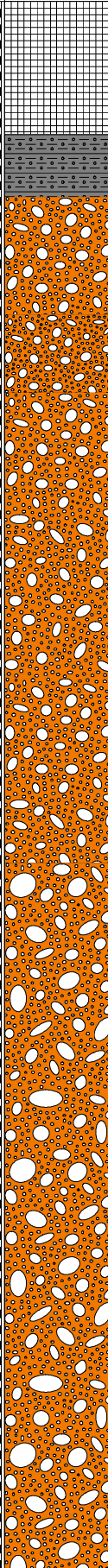
- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
- 4) Piezometri
- 5) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 6) Simbolo litologico
- 7) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 8) Resistenza alla punta (kg/cm²)
- 9) Vane test (kg/cm²)
- 10) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 11) Prova S.P.T.
- 12) Valore di N_{spt}
- 13) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 14) Profondità della base dello strato (m)
- 15) Descrizione della litologia dello strato

Tubo aperto	Casagrande
tubo cieco	tubo cieco
finestrato	cella drenaggio

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

**GEOGNOSTICA
MEDICEA**

Riferimento: SilexTech	Sondaggio: S1
Località: Fosso Curtatone/Arno - Firenze	Quota: 40,3 m slm
Impresa esecutrice: Geognostica Medicea Snc	Data: 20/11/24
Coordinate: X: 11.2412859 Y: 43.7733267	Redattore:
Perforazione: a carotaggio continuo	

ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
				1										Pavimentazione in conglomerato cementizio, massiciata e massi di scogliera
				1.7										
				2										Limo sabbioso e argilloso poco consistente color grigio
				2.5										
				3										Ghiaie prevalenti Ømax = 6 cm, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro
				4										
				4.0										Sabbie prevalenti con ghiaia grossolana sparsa
				5										
				5.0										
				6										Ghiaie prevalenti Ømax = 10 cm eterometriche, in abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro
				7										
				8										
				9										
				10						10-13-18	31			
				11										
				11.0										
				12										Ghiaie Ømax = 10 cm, prevalenza di ghiaia grossa in matrice sabbiosa debolmente limosa color marrone chiaro
				13						18-21-22	43			
				14										
				15										
				16										
				17						28-22-24	46			
				18										
				19										
101				20									20.0	

input SPT1

NSPT

s_{v0}

[kg/cm²]

31

1700

s_{v0}

[kg/cm²]

1800

Densità relativa

[%]

50

Accelerazione sismica

[amax/g]

0.25

Percentuale argilla

[%]

20

Profondità sondaggio

[m]

10

Falda

Apri

Salva

↺

Calcola

terreni incoerenti

Densità relativa

[Dr]

Bazara = 4.14
Meyerhof = 2.76
Schultze = 12.40
Skempton = 64.50 (sabbia e limo)
Skempton = 0.39 (sabbia fine e grossolana)

Angolo resistenza a taglio

[φ]

Sowers = 36.68 (sabbia a profondità max 4m)
Meyerhof = 39.89 (sabbia e sabbia limosa ≤ 5%)
Meyerhof = 35.60 (sabbia e sabbia limosa > 5%)
DeMello = -6791.02 (sabbia a profondità min 2m)
Muromachi = 39.49
Schmertmann = 35.00 (sabbia fine uniforme)
Schmertmann = 37.25 (sabbia media uniforme)
Schmertmann = 39.50 (sabbia media gradata, sabbia grossa uniforme)
Schmertmann = 42.00 (sabbia, ghiaia poco limosa, ghiaietto)
Schmertmann = 39.50 (ghiaia)
Peck = 35.86
Shioi = 36.56 (sabbia)
Shioi = 36.30 (ghiaia)
Japanese = 36.30 (limo sabbioso)
Mitchell = 32-35 (sabbia e ghiaia)
Malcev = 14.41 (sabbia e ghiaia)

Velocità onde di taglio

[Vs] [m/s]

Ohta = 193.25 (limo, sabbia, ghiaia)
Lee = 317.00 (limo, sabbia, argilla)
Dikmen = 221.34 (limo, sabbia, argilla)

Peso unità volume

[g] [t/m³]

Meyerhof = 2.14 (assenza di falda)
Terzaghi = 2.50 (presenza di falda)

Modulo edometrico

[Ed] [kg/cm³]

Menzenbach = 147.74 (sabbia fine)
Menzenbach = 176.26 (sabbia media)
Menzenbach = 362.26 (sabbia e ghiaia)
Menzenbach = 405.04 (sabbia ghiaiosa)
Begemann = 91.14 (limo con sabbia)
Begemann = 375.10 (ghiaia con sabbia)
Farrent = 220.10 (sabbia)
Buisman = 186.00 (sabbia)
Buisman = 248.00 (sabbia con argilla)

Modulo elasticità

[Ey] [kg/cm²]

Bowles = 147.20 (sabbia argillosa)
Bowles = 111.00 (sabbia limosa e limo sabbioso)
Bowles = 230.00 (sabbia media)
Bowles = 444.00 (sabbia e ghiaia)
Dapollonia = 412.50 (sabbia)

Dapollonia = 430.01 (sabbia e ghiaia)
Dapollonia = 704.53 (ghiaia)
Schmertmann = 248.00 (sabbia fine)
Schmertmann = 372.00 (sabbia media)
Schmertmann = 620.00 (sabbia grossolana)
Schmertmann = 193.41 (limo siltoso sabbioso - valore minimo)
Schmertmann = 270.89 (limo siltoso sabbioso - valore massimo)
Schultze = 173.60 (sabbia fine(presenza falda))
Schultze = 259.80 (sabbia fine(assenza falda))
Schultze = 214.90 (sabbia media)
Schultze = 209.40 (sabbia limosa)
Schultze = 200.80 (limo siltoso sabbioso - valore minimo)
Schultze = 451.10 (sabbia ghiaiosa)
Schultze = 456.70 (sabbia e ghiaia)
Terzaghi = 397.42 (sabbia e sabbia con ghiaia)

Modulo di taglio [G'] [kg/cm²]

Robertson = 1018.90 (sabbia)
Ohsaki = 1607.14 (sabbia con fine plastico(limo o argilla))
Ohsaki = 1639.81 (sabbia pulita)

Coefficiente Poisson [n]

Poisson = 0.29 (Fi = 35.60)

Liquefazione

NSPT normalizzato con la tensione efficace = 0.029
Sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma = 0.130
Resistenza del terreno alla liquefazione = 0.102
Fattore di sicurezza liquefazione = 0.783

terreni coesivi

Coesione non drenante [cu] [kg/cm²]

Begemann = 0.00
DeBeer = 3.88
Fletcher = 2.50
Houston = 3.20
Sanglerat = 3.16 (terreni coesivi saturi)
Sanglerat = 3.88 (argilla plastica)
Sanglerat = 3.10 (argilla siltosa)
Sanglerat = 2.06 (argilla limosa-sabbiosa poco coerente)
Schmertmann = 3.08 (valore minimo)
Schmertmann = 2.17 (valore massimo)
ShioiFukui = 0.78 (valore minimo per suoli poco coerenti e plastici)
ShioiFukui = 1.55 (valore massimo per suoli poco coerenti e plastici)
ShioiFukui = 1.55 (argilla a media plasticità)
ShioiFukui = 3.10 (argilla ad alta plasticità)
TerzaghiPeck = 2.09 (argilla sabbiosa-siltosa)
TerzaghiPeck = 2.09 (argilla sabbiosa-siltosa mediamente plastica)
TerzaghiPeck = 2.25 (argilla marnosa alterata/fratturata)
TerzaghiPeck = 3.10 (argilla marnosa)

Peso unità volume [g] [t/m³]

Meyerhof = 2.18 (assenza di falda)
Bowles = 2.40 (presenza di falda)

Modulo edometrico [Ed] [Kg/cm²]

Buisman = 310.00 (argilla compatta)
Buisman = 232.50 (argilla sabbiosa)
Stroud-Butler = 142.23 (litotipi a media plasticità)
Stroud-Butler = 189.66 (litotipi a bassa plasticità)
Trofimenkov = 317.97
Vesic = 0.00 (argilla molle - valore minimo)
Vesic = 0.00 (argilla molle - valore massimo)

Modulo elasticità [Ey] [kg/cm²]

Schultze = 336.10 (limo coerente e limo argilloso con IP <= 15)
Schultze = 384.90 (limo coerente e limo argilloso con IP > 15)

formule

Densità relativa

Bazara

input SPT2

NSPT

s_{v0}

[kg/cm²]

43

1700

s_{v0}

[kg/cm²]

1800

Densità relativa

[%]

50

Accelerazione sismica

[amax/g]

0.25

Percentuale argilla

[%]

20

Profondità sondaggio

[m]

13

Falda

Apri

Salva

↺

Calcola

terreni incoerenti

Densità relativa

[Dr]

Bazara = 4.88
Meyerhof = 3.25
Schultze = 14.50
Skempton = 74.74 (sabbia e limo)
Skempton = 0.45 (sabbia fine e grossolana)

Angolo resistenza a taglio

[φ]

Sowers = 40.04 (sabbia a profondità max 4m)
Meyerhof = 41.85 (sabbia e sabbia limosa ≤ 5%)
Meyerhof = 37.12 (sabbia e sabbia limosa > 5%)
DeMello = -6788.16 (sabbia a profondità min 2m)
Muromachi = 42.95
Schmertmann = 35.00 (sabbia fine uniforme)
Schmertmann = 37.25 (sabbia media uniforme)
Schmertmann = 39.50 (sabbia media gradata, sabbia grossa uniforme)
Schmertmann = 42.00 (sabbia, ghiaia poco limosa, ghiaietto)
Schmertmann = 39.50 (ghiaia)
Peck = 39.29
Shioi = 40.40 (sabbia)
Shioi = 39.90 (ghiaia)
Japanese = 39.90 (limo sabbioso)
Mitchell = 35.38 (sabbia e ghiaia)
Malcev = 14.94 (sabbia e ghiaia)

Velocità onde di taglio

[Vs] [m/s]

Ohta = 215.13 (limo, sabbia, ghiaia)
Lee = 352.00 (limo, sabbia, argilla)
Dikmen = 251.47 (limo, sabbia, argilla)

Peso unità volume

[g] [t/m³]

Meyerhof = 2.21 (assenza di falda)
Terzaghi = 2.50 (presenza di falda)

Modulo edometrico

[Ed] [kg/cm³]

Menzenbach = 190.22 (sabbia fine)
Menzenbach = 229.78 (sabbia media)
Menzenbach = 487.78 (sabbia e ghiaia)
Menzenbach = 547.12 (sabbia ghiaiosa)
Begemann = 115.79 (limo con sabbia)
Begemann = 484.30 (ghiaia con sabbia)
Farrent = 305.30 (sabbia)
Buisman = 258.00 (sabbia)
Buisman = 344.00 (sabbia con argilla)

Modulo elasticità

[Ey] [kg/cm²]

Bowles = 185.60 (sabbia argillosa)
Bowles = 147.00 (sabbia limosa e limo sabbioso)
Bowles = 290.00 (sabbia media)
Bowles = 588.00 (sabbia e ghiaia)
Dapollonia = 502.50 (sabbia)

Dapollonia = 522.53 (sabbia e ghiaia)
Dapollonia = 832.09 (ghiaia)
Schmertmann = 344.00 (sabbia fine)
Schmertmann = 516.00 (sabbia media)
Schmertmann = 860.00 (sabbia grossolana)
Schmertmann = 268.98 (limo siltoso sabbioso - valore minimo)
Schmertmann = 375.86 (limo siltoso sabbioso - valore massimo)
Schultze = 213.20 (sabbia fine(presenza falda))
Schultze = 318.60 (sabbia fine(assenza falda))
Schultze = 268.90 (sabbia media)
Schultze = 273.00 (sabbia limosa)
Schultze = 270.40 (limo siltoso sabbioso - valore minimo)
Schultze = 592.70 (sabbia ghiaiosa)
Schultze = 582.70 (sabbia e ghiaia)
Terzaghi = 468.06 (sabbia e sabbia con ghiaia)

Modulo di taglio [G'] [kg/cm²]

Robertson = 1244.40 (sabbia)
Ohsaki = 2060.88 (sabbia con fine plastico(limo o argilla))
Ohsaki = 2230.35 (sabbia pulita)

Coefficiente Poisson [n]

Poisson = 0.28 (Fi = 37.12)

Liquefazione

NSPT normalizzato con la tensione efficace = 0.041
Sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma = 0.124
Resistenza del terreno alla liquefazione = 0.102
Fattore di sicurezza liquefazione = 0.828

terreni coesivi

Coesione non drenante [cu] [kg/cm²]

Begemann = 0.00
DeBeer = 5.38
Fletcher = 3.28
Houston = 4.59
Sanglerat = 4.41 (terreni coesivi saturi)
Sanglerat = 5.38 (argilla plastica)
Sanglerat = 4.30 (argilla siltosa)
Sanglerat = 2.86 (argilla limosa-sabbiosa poco coerente)
Schmertmann = 4.29 (valore minimo)
Schmertmann = 3.01 (valore massimo)
ShioiFukui = 1.07 (valore minimo per suoli poco coerenti e plastici)
ShioiFukui = 2.15 (valore massimo per suoli poco coerenti e plastici)
ShioiFukui = 2.15 (argilla a media plasticità)
ShioiFukui = 4.30 (argilla ad alta plasticità)
TerzaghiPeck = 2.90 (argilla sabbiosa-siltosa)
TerzaghiPeck = 2.90 (argilla sabbiosa-siltosa mediamente plastica)
TerzaghiPeck = 3.12 (argilla marnosa alterata/fratturata)
TerzaghiPeck = 4.30 (argilla marnosa)

Peso unità volume [g] [t/m³]

Meyerhof = 2.50 (assenza di falda)
Bowles = 2.50 (presenza di falda)

Modulo edometrico [Ed] [Kg/cm²]

Buisman = 430.00 (argilla compatta)
Buisman = 322.50 (argilla sabbiosa)
Stroud-Butler = 197.28 (litotipi a media plasticità)
Stroud-Butler = 263.07 (litotipi a bassa plasticità)
Trofimenkov = 440.37
Vesic = 0.00 (argilla molle - valore minimo)
Vesic = 0.00 (argilla molle - valore massimo)

Modulo elasticità [Ey] [kg/cm²]

Schultze = 474.10 (limo coerente e limo argilloso con IP <= 15)
Schultze = 522.90 (limo coerente e limo argilloso con IP > 15)

formule

Densità relativa

Bazara

$$Dr = \sqrt{\frac{NSPT_{corr}}{20 \cdot (a + b \cdot \sigma_{pv0})}} \cdot 100$$

Meyerhof

$$Dr = 21 \cdot \sqrt{\frac{NSPT_{corr}}{t_{eff} + 0.7}}$$

Schultze

$$Dr = 2.718282^{0.478 \cdot \log(NSPT_{corr}) - 0.262 \cdot \log(\sigma_{pv0}) + 2.84}$$

Skempton

$$a : Dr = 6.2277645 + 3.1873281 \cdot NSPT_{corr} - 0.05536254 \cdot NSPT_{corr}^2 + 0.0004253959 \cdot NSPT_{corr}^3$$

$$b : Dr = 10 \cdot \sqrt{\frac{NSPT_{corr} \cdot \sqrt{\frac{98}{t_{eff} \cdot cdof 98.0665}}}{32 + 0.288 \cdot t_{eff} \cdot 98.0665}}$$

Angolo resistenza a taglio

Sowers

$$\varphi = 28 + 0.28 \cdot NSPT$$

Meyerhof

$$\varphi = a + b \cdot NSPT - c \cdot NSPT^2$$

DeMello

$$\varphi = 19 - 3.8 \cdot \sigma_{pv0} + 8.73 \cdot \log(NSPT)$$

Muromachi

$$\varphi = 3.5 \cdot \sqrt{NSPT} + 20$$

$$\varphi = a + b \cdot Dr$$

Peck

$$\varphi = 27 + \left(10 \cdot \frac{NSPT_{corr}}{35} \right)$$

Shioi

$$\varphi = (a \cdot NSPT_{corr})^b + c$$

Japanese

$$\varphi = 0.3 \cdot NSPT_{corr} + 27$$

Malcev

$$\varphi = 25 - 5 \cdot \log_{10}(\sigma_{v0}) + 3.73 \cdot \log_{10}(NSPT_{corr})$$

Velocità onde di taglio

Ohta

$$v_s = 54.33 \cdot 0.173 \sqrt{NSPT_{corr}} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{z}{0.303}^{0.193}$$

Lee

$$v_s = a \cdot NSPT^b$$

Dikmen

$$v_s = a \cdot NSPT^b$$

Peso unità volume

Meyerhof

$$\gamma = 1.29968 + 0.05291 \cdot NSPT_{corr} - 0.00106 \cdot (NSPT_{corr}^2 + 7.58E-06 \cdot NSPT_{corr}^3)$$

Terzaghi

$$\gamma = a + b \cdot NSPT_{corr}$$

Modulo edometrico

Menzenbach

$$E_d = a \cdot NSPT_{corr} + 38$$

Begemann

$$E_d = a + NSPT_{corr} + b$$

Farrent

$$E_d = 7.1 \cdot NSPT_{corr}$$

Buisman

$$E_d = a \cdot NSPT_{corr}$$

Modulo elasticità

Bowles

$$E_y = a \cdot (NSPT_{corr} + b)$$

Dapollonia

$$E_y = a \cdot NSPT_{corr} + 180$$

Schmertmann

$$E_y = a \cdot b \cdot NSPT_{corr} - c$$

Schultze

$$E_{y \min} = a + b \cdot NSPT_{corr} - c$$

$$E_{y \max} = a + b \cdot NSPT_{corr} + c$$

Terzaghi

$$E_y = (7 \cdot \sqrt{NSPT_{corr}}) \cdot 10.197$$

Modulo di taglio

Robertson

$$G = 125 \cdot NSPT_{corr}^{0.611}$$

Ohsaki

$$G = \frac{a \cdot NSPT_{corr}^b}{10}$$

Coefficiente Poisson

$$v = \frac{1 - \sin \varphi}{2 - \sin \varphi}$$

Liquefazione

$$F_s = \frac{CSS}{CSR}$$

Coesione non drenante

Begemann

$$Cu=\frac{2.5\cdot NSPT_m-\sigma_{v0}\cdot 10}{14}$$

DeBeer

$$Cu=\frac{2.5\cdot NSPT_m}{20}$$

Fletcher

$$Cu=\frac{0.1844\cdot NSPT_m-0.00074\cdot NSPT_m^2}{2}$$

Houston

$$Cu=\frac{0.00126\cdot (NSPT_m^2+0.1384\cdot NSPT_m+0.889)}{2}$$

Sanglerat

$$Cu=\frac{\frac{2.5\cdot NSPT_m}{0.8}\cdot 0.5-1}{15}$$

$$Cu=\frac{2.5\cdot NSPT_m\cdot 0.1}{2}$$

$$Cu=\frac{2\cdot NSPT_m\cdot 0.1}{2}$$

$$C_u = \frac{1.33 \cdot NSPT_m \cdot 0.1}{2}$$

Schmertmann

$$C_u = 0.0954 \cdot NSPT_m^{1.01187}$$

$$C_u = 0.7 \cdot NSPT_m \cdot 0.1$$

ShioiFukui

$$C_u = \frac{NSPT_m \cdot 0.05}{2}$$

$$C_u = \frac{NSPT_m \cdot 0.1}{2}$$

$$C_u = NSPT_m \cdot 0.05$$

$$C_u = NSPT_m \cdot 0.1$$

Terzaghi-Peck

$$C_u = \frac{a \cdot NSPT_m \cdot 0.1}{2}$$

Meyerhof

Peso unità volume

$$\gamma=1.3936+0.0918\cdot NSPT_m-0.004\cdot NSPT_m^2+6.2E-05\cdot NSPT_m^3$$

Bowles

$$\gamma=\frac{1}{a-b\cdot NSPT}$$

Modulo edometrico

Buisman

$$E_d=2.5\cdot NSPT\cdot a$$

Stroud-Butler

$$E_d=4.588\cdot NSPT$$

$$E_d=6.118\cdot NSPT$$

Trofimenkov

$$E_d=10.1993\cdot NSPT+1.7919$$

Vesic

$$E_d=10\cdot 1.5\cdot NSPT_m$$

$$E_d=6\cdot 1.5\cdot NSPT_m$$

Modulo elasticità

Schultze

$$E_y = 4 + 11.5 \cdot NSPT - 24.4$$

$$E_y = 4 + 11.5 \cdot NSPT + 24.4$$