

COMUNE DI PISA - PROVINCIA DI PISA



**«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»**

**RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche**

**Geol. Massimiliano Vannozzi**

**Proprietà: Anita e Silvia Pampana**

**Marzo 2022**

**«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»**

**RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - REGOLAMENTO DI ATTUAZIONE DELL'ARTICOLO 104 DELLA LEGGE REGIONALE 10 NOVEMBRE 2014 N.65 IN MATERIA DI INDAGINI GEOLOGICHE, IDRAULICHE E SISMICHE**

**Indagini di Fattibilità Geologica, Idraulica e Sismica**

**Premessa**

È stata redatta la presente relazione a supporto della presentazione della documentazione relativa al «Piano di Recupero di edificio bombardato nel 2° conflitto mondiale in Lungarno Galilei a Pisa secondo l'art. 109 della L.R. 65 e l'art. 2.1.2 del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa», redatta ai sensi del Regolamento D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Nella presente relazione verranno evidenziate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche e geotecniche relative ai terreni interessati dal Piano di Recupero in oggetto.

Lo studio si è svolto secondo un approccio metodologico che può essere riassunto come di seguito esposto:

- ⇒ sono stati acquisiti gli elaborati degli studi geologici di supporto alla pianificazione territoriale del Comune di Pisa (Piano Strutturale, Regolamento Urbanistico, Piano Strutturale Intercomunale, Studio di Microzonazione Sismica, etc.);
- ⇒ sono state analizzate le cartografie della "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - PAI" e del "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - PGRA"; l'intervento ricade sul versante del bacino dell'Arno;
- ⇒ sono stati acquisiti i dati dell'interferometria SAR satellitare per verificare l'esistenza di spostamenti superficiali, nello specifico movimenti di subsidenza dei terreni;
- ⇒ è stato verificato il quadro conoscitivo di riferimento (Piano Strutturale Intercomunale redatto ai sensi del DPGR 53/R);
- ⇒ sono state acquisite due indagini geofisiche dallo Studio di Microzonazione Sismica di 1° livello (HVSr\_33 e HVSr\_94);
- ⇒ sono state eseguite due indagini penetrometriche spinte alla profondità di 16,0 m dal p.c. con punta meccanica Begeman per caratterizzare i terreni presenti nell'area di intervento;
- ⇒ è stata eseguita una indagine sismica attiva MASW e un'indagine sismica passiva HVSr all'interno dell'area di intervento;
- ⇒ le indagini geofisiche si hanno consentito di ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico locale utile ad individuare il valore locale della  $V_{seq}$ , che nello specifico è equivalente alla  $V_{s30}$  visto che il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/sec) è ben al di sotto dei 40,0 m indagati;
- ⇒ è stato appurato che non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo di riferimento in merito agli aspetti geologici, idraulici e sismici (Piano Strutturale Intercomunale redatto ai sensi del DPGR 53/R);
- ⇒ sono stati acquisiti gli studi idraulici di supporto al Piano Strutturale Intercomunale per risalire al battente idraulico atteso nell'area di intervento per un TR 200 anni, così come la velocità di deflusso calcolata per un evento con TR 200 anni;
- ⇒ sono stati acquisiti e confermati i risultanti dello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (MS1);
- ⇒ sono state confermate le Carte della Pericolosità Geologica e Sismica del Piano Strutturale Intercomunale redatto ai sensi del DPGR 53/R;
- ⇒ è stata confermata la Carta della Pericolosità Idraulica di PGRA che risulta coerente con gli studi idraulici eseguiti nell'ambito del Piano Strutturale Intercomunale;
- ⇒ sono state redatte le tavole di sintesi con indicazione sulla tipologia delle indagini da eseguire o sui criteri e sugli accorgimenti tecnico-costruttivi da adottare ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

È possibile affermare che per gli aspetti geologici, idraulici e sismici non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo di riferimento aggiornato con il Piano Strutturale Intercomunale redatto ai sensi del DPGR 53/R; per la definizione della pericolosità idraulica si è fatto riferimento alla carta di PGRA aggiornata redatta dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale.

### **Quadro normativo di riferimento**

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

- *D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche;*
- *Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche (allegato A);*
- *Strumenti Urbanistici del Comune di Pisa (PI);*
- *L.R. 41/R del 01/08/2018 - Disposizioni urgenti in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49;*
- *D.P.C.M. 06/05/2005 - Piano di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) - Stralcio Assetto Idrogeologico;*
- *Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;*
- *Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018 - Circolare 11 febbraio 2019;*
- *Decreto del Presidente della Giunta Regionale, 19 gennaio 2022, n. 1/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014 n. 65 (norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;*
- *Allegato 1 - Art.5 Regolamento 1R/2022 - Linee Guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg. 1R/2022;*
- *Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. - Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007;*
- *Eurocodice 8 (1998) - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);*
- *Eurocodice 7.1 (1997) - Progettazione geotecnica - Parte I: Regole generali - UNI*
- *Eurocodice 7.2 (2002) - Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI;*
- *Eurocodice 7.3 (2002) - Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI;*
- *Del. C.I. n° 235 del 3 marzo 2016 - Autorità di Bacino del Fiume Arno - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.).*
- *D.Lgs 10/02/2006 n. 152 - "Norme in materia di Ambiente";*
- *Del. GRT n. 421 del 26/05/2014 - classificazione sismica del territorio regionale.*

### **Ubicazione dell'area oggetto del Piano di Recupero e caratteristiche degli interventi previsti**

L'area di intervento si trova nell'abitato di Pisa, più precisamente in Lungarno Galilei; l'area di intervento è compresa nella "CTR-Sezione 273.050 - Pisa" alla scala 1:10.000 e nella "CTR-Fogli 18F42, 17G13, 15G20 e 17G21" alla scala 1:2.000.

All'interno del Piano di Recupero sono previste opere ed operazioni volte a recuperare l'area nel suo complesso attraverso la realizzazione di un nuovo volume edilizio ed di un'area esterna funzionale a questo ultimo (viabilità, parcheggi, aree verdi, etc.); l'elemento principale del Piano di Recupero è la realizzazione del manufatto edilizio ad uso prevalentemente residenziale (piani 1°, 2° 3° e 4°) e direzionale (piano terra), mentre nel piano interrato, ancora esistente, sono previsti locali di sgombero e tecnici. Il manufatto in progetto verrà costruito sulla struttura interrata del manufatto edilizio originario distrutto durante i bombardamenti del 2° conflitto mondiale; il piano interrato verrà opportunamente consolidato per renderlo idoneo a sostenere la nuova struttura fuori terra secondo i canoni ed i criteri previsti dalle NTC'18.

A questo si affiancheranno opere ed operazioni volte alla sistemazione degli spazi esterni come meglio evidenziato nelle tavole progettuali redatte dall'Arch. Silvio Panichi.

### **Quadro geologico, geomorfologico ed idrogeologico**

La pianura di Pisa si è originata in seguito al progressivo sprofondamento (dell'ordine di migliaia di metri) del litorale pisano-versiliese causato dalla azione distensiva di faglie dirette. La subsidenza di quest'area, collegata al sollevamento generale dei rilievi montuosi formatisi durante le fasi parossistiche del

corrugamento dell'Orogene Appenninico, è stata controbilanciata dalla sedimentazione marina e fluvio-lacustre a partire dal Miocene superiore. Questa attività tettonica distensiva è ben documentata fino al Pleistocene medio, ma non è escluso che sia tuttora attiva, considerando l'attuale morfologia e le tendenze. Sulla base dei dati disponibili il sottosuolo della pianura di Pisa può essere schematicamente suddiviso in tre parti:

Il sub-strato profondo: comprende le formazioni litoidi della Serie Toscana, le stesse che affiorano sui Monti Pisani a Nord di Pisa e che nella pianura sono state ribassate dall'azione delle faglie dirette.

Il substrato intermedio: è costituito da sedimenti "neo-autoctoni" la cui deposizione ha un inizio variabile da zona a zona, ma non è mai anteriore al Miocene superiore. Si tratta di sedimenti deposti in presenza di una subsidenza di origine tettonica. La successione inizia alla base con sabbie e conglomerati a cui seguono argille lagunari sormontate da gessi variamente alternati a strati argillosi. Al di sopra dei gessi si ritrovano sabbie, argille e conglomerati che rappresentano la sedimentazione di un bacino senza comunicazione con i mari aperti. A questi è seguita la deposizione di argille azzurre di facies francamente marina che sono state invece deposte in un ambiente di mare più profondo cui seguono alternanze di argille azzurre e sabbie gialle che denotano l'alternarsi di ambienti marini più o meno profondi. Al di sopra si ritrovano Sabbie ed Argille contenenti al loro interno fossili di Arctica Islandica che ne attribuiscono l'età al Pleistocene a cui segue la sedimentazione delle sabbie di Nugola Vecchia che rappresentano un episodio di sedimentazione di mare basso ed indicano quindi un fenomeno di regressione marina avvenuto al termine del Pleistocene inferiore.

Il substrato superiore: è formato da sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore che si sono deposti in presenza di variazioni del livello del mare e di mutazioni del regime dei fiumi il cui trasporto solido cambiava, in seguito alle variazioni del clima, sia nella sua entità che nella granulometria più o meno fine dei clasti. Al substrato superiore appartiene la Formazione dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina che sono presenti uniformemente nel sottosuolo Pisano e si trovano a circa 145 metri nella zona di Pisa; questi depositi, il cui spessore varia tra 4 e 10 metri, sono costituiti da ciottoli delle formazioni affioranti sui Monti Pisani e sono sede di un importante acquifero artesiano attualmente molto sfruttato. Al di sopra della formazione precedentemente descritta si trova un livello di "Limi fluvio-palustri del sottosuolo" corrispondenti ad una fase di più limitata attività fluviale, a cui segue la deposizione delle dune di sabbia. A tali sabbie segue la deposizione dei "Limi fluvio-palustri di superficie" che sono legati a fenomeni di esondazioni dell'Arno e dei corsi d'acqua minori che, provenendo dai monti Pisani, spesso si impaludavano nella pianura fino ad epoche storiche.

In estrema sintesi è possibile considerare che quasi tutta la pianura pisana sia costituita da depositi geologicamente recenti (Pleistocene-Olocene) di ambiente lagunare e palustre; si tratta di limi, argille e sabbie fini, intercalati a sabbie eoliche costituenti antiche dune costiere. Procedendo dal piano di campagna verso il basso si incontrano generalmente tre "Complessi" aventi caratteri geotecnicamente distinti, e cioè:

Complesso A: è costituito dall'alternanza di strati di limi, argille e sabbie di vario spessore ed irregolarmente disposti, di colore prevalentemente giallastro, per una potenza complessiva generalmente di circa 10 m. All'estremo inferiore di questo complesso, a contatto con le sottostanti argille, si incontra generalmente uno strato di sabbie fini mediamente addensate di colore grigio, dello spessore di circa due metri.

Complesso B: è costituito prevalentemente da argille e generalmente si può ritrovare fino alla profondità di 40 m circa al di sotto del piano di campagna. Al suo interno si distinguono: le argille superiori, denominate localmente "pancone", di consistenza da ridotta a media, da leggermente sovraconsolidate a normalmente consolidate; le argille intermedie, sovraconsolidate di elevata consistenza; le sabbie intermedie; le argille inferiori, normalmente consolidate di consistenza medio-alta.

Complesso C: sabbie inferiori, che possono giungere fino alla profondità di circa 70 m al piano di campagna. Generalmente la superficie di separazione tra le sabbie superiori e le argille del pancone è disposta secondo un piano orizzontale con scarti massimi di pochi centimetri.

### **Analisi della Carta Geologica locale**

Nel territorio comunale di Pisa, pressoché pianeggiante, affiorano terreni di età relativamente recente datati dal Pleistocene superiore all'Olocene che scendono in profondità per circa 30 metri.

L'attuale situazione geologica e stratigrafica degli strati superficiali di terreno della pianura di Pisa è principalmente il risultato della attività di trasporto ed esondazione dell'Arno nonché delle variazioni del suo corso fluviale ed è legata agli effetti della presenza di vaste aree paludose in rapporto alle variazioni eustatiche del livello marino e dei variabili equilibri della dinamica costiera.

Si tratta quindi sostanzialmente di sedimenti fluvio-palustri localizzati nella parte orientale del comune di Pisa, separati dal mare aperto da depositi eolico transizionali dei lidi e dune litoranee più ad ovest.

Nelle varie cartografie geologiche di supporto alla pianificazione territoriale nell'area pisana affiorano i seguenti depositi:

*Depositi sabbiosi dei lidi e dune litoranee (Olocene) - (d).* I depositi sabbiosi si trovano lungo una fascia della larghezza di circa 7 km posta in direzione nord-sud che separa la pianura alluvionale di Pisa dal mare. Tale disposizione spaziale rappresenta gli antichi andamenti del litorale che è andato espandendosi fino al secolo scorso. I lidi e le dune litoranee sono costituiti da depositi sabbiosi su cui prevalgono composizionalmente i granuli quarzosi. Tali sabbie si presentano sciolte in superficie e mediamente addensate in profondità. I lidi, chiamati localmente "Cotoni", non raggiungono quote molto elevate. Corrispondono a barre emerse per sovraccumulo di sedimenti trasportati dall'azione marina litoranea, scaricati sulle spiagge dalle onde e, in tempi successivi, stabilizzati dalla vegetazione (Mazzanti, 1994b). Le dune sabbiose, dette "Tomboli", si sono formate invece in seguito ad accumuli di origine eolica. Si presentano mediamente più elevate rispetto ai lidi ed hanno una forma allungata prevalentemente nel senso del litorale. In generale la loro formazione è legata al prevalere di un vento costante ed hanno per questo un profilo asimmetrico che rimane visibile dove non è stato alterato dall'azione antropica.

*Sedimenti interdunali costituiti da limi e sabbie limose talvolta con depositi superficiali costituiti da argille organiche e torbe (Olocene) - (i).* I sedimenti interdunali presentano un andamento parallelo ai lidi e sono stati depositi nelle depressioni comprese tra i lidi e le dune. Anche questi terreni, come quelli precedentemente descritti, si sono originati in prossimità di linee costiere dei secoli scorsi e di conseguenza sono costituiti da depositi sabbiosi in particolare arricchiti della frazione più fine. Nelle aree interdunali, in quanto morfologicamente depresse, si sono verificati ristagni d'acqua nei periodi di maggiore piovosità. Di conseguenza, in queste zone si è spesso notevolmente sviluppata una vegetazione igrofila, la cui alterazione ha dato origine a depositi organici e torbosi negli strati più superficiali di terreno.

*Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata - at (Olocene):* questi terreni sono costituiti prevalentemente da argille (la cui consistenza può variare localmente), da argille organiche e torbe. Queste ultime sono caratterizzate dal colore grigio scuro o nero e dalle scadenti proprietà meccaniche. All'interno degli strati argillosi sono talvolta presenti sottili livelli costituiti da limi e subordinatamente da sabbie. I depositi appartenenti a questo gruppo sono rappresentati da sedimenti molto fini.

*Depositi alluvionali prevalentemente limosi e sabbiosi con intercalazioni argillose - la (Olocene):* si tratta di depositi prevalentemente limosi e argillosi al cui interno sono più o meno frequenti intercalazioni sabbiose. Le zone il cui substrato è costituito da questi terreni sono leggermente più rilevate rispetto alle ex aree palustri in cui si ritrovano sedimenti mediamente più fini.

*Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi - sa (olocene):* nelle aree ove affiorano questi depositi i primi 5 metri di sottosuolo sono costituiti in prevalenza da sabbie con argille e limi in quantità subordinata.

Nell'area di intervento è stata indicata la presenza dei "Depositi alluvionali prevalentemente limosi e sabbiosi con intercalazioni argillose (la)".

### **Caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali**

Per quanto riguarda l'area pisana limitrofa zona di intervento, lo spessore di terreno normalmente interessato dai carichi trasmessi dalle strutture di fondazione superficiale, sono stati individuati due orizzonti riconoscibili sul territorio comunale attraverso l'interpretazione di indagini geognostiche. Per la zona di intervento sono da considerarsi le seguenti condizioni:

*Sabbie (s).* Questi terreni sono costituiti prevalentemente da sabbie a composizione principalmente quarzosa; talvolta sono presenti al loro interno delle intercalazioni di sabbie limose con Lamellibranchi. Le sabbie sono dotate di una coesione nulla, mentre l'angolo di attrito interno, in base a dati di prove penetrometriche statiche, è risultato variabile tra un minimo di 28° e massimi intorno a 43°. Nei primi 10 metri di profondità la resistenza alla punta (Rp) del penetrometro statico è generalmente maggiore di 45 kg/cmq con punte massime intorno a 250 kg/cmq. Il peso di volume varia tra minimi intorno a 1,80 kg/dmc per le sabbie con contenuto limoso, fino a 2,08 kg/dmc per le sabbie pure più addensate. La densità relativa (Dr) varia tra minimi intorno al 52% e massimi che in rari casi possono raggiungere il 100%. Il colore di questi terreni si presenta marrone chiaro-nocciola negli strati più superficiali e grigio in quelli più profondi.

In questa categoria litotecnica sono comprese anche le sabbie superficialmente sciolte delle spiagge attuali. Queste ultime sono caratterizzate da una granulometria da media a medio fine e dal fatto che le dimensioni dei granuli aumentano procedendo verso la linea di battigia e verso le zone di spiaggia alta di accumulo eolico. Questi sedimenti mostrano inoltre una classazione in senso verticale, sono notevolmente sciolti in superficie mentre in profondità si presentano mediamente addensati.

Sabbie fini limose (sl): Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose. Per quanto riguarda le sabbie, l'angolo di attrito interno varia generalmente tra 25° e 33°, mentre la coesione "c" è nulla. La densità relativa  $D_r$  è compresa tra 10 e 50 % e il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  varia tra circa 0,013 e 0,040 kg/cmq.

Argille e limi (al): questi terreni sono costituiti da limi ed argille di colore bruno-giallastro. La componente limosa è generalmente preponderante su quella argillosa. La  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente tra 9 e 15 kg/cmq. La coesione è compresa tra 0,4 e 0,7 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  assume valori tra 0,021 e 0,034 cmq/kg con valori medi intorno a 0,25 cmq/t. In base a prove edometriche effettuate su campioni indisturbati prelevati negli orizzonti argillosi e limo-argillosi, è risultato che gli strati superficiali di questi terreni sono generalmente preconsolidati. Presentano inoltre valori generalmente elevati dell'indice di consistenza e valori del peso di volume compresi tra 1,7 e 1,9 kg/cmq.

Terreni prevalentemente limosi (li): si tratta di terreni prevalentemente limosi di colore nocciola con intercalazioni argillose e talvolta sabbiose. Di conseguenza i parametri geotecnici di questi terreni sono variabili in relazione al tenore di limo, argilla o sabbia. In via indicativa per quanto riguarda la frazione limo-argillosa è stato riscontrato che la  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente intorno a valori compresi tra 11 e 20 kg/cmq. La coesione varia tra 0,40 e 0,85 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  è compreso tra 12 e 25 cmq/t. L'angolo di attrito interno si mantiene attorno a valori generalmente bassi.

### **Caratteristiche geotecniche generali sui terreni di fondazione**

Una seconda schematizzazione litotecnica dei terreni interessati dalle strutture di fondazione delle opere edili in genere considera l'assetto stratigrafico locale che di fatto può essere così anche terreni edifici suddivisibile che prende in considerazione anche i terreni più profondi: Argille e limi superficiali con intercalazioni sabbiose: questo primo orizzonte è caratterizzato da limi ed argille di colore bruno-giallastro talvolta con intercalazioni sabbiose. La componente limosa è generalmente preponderante su quella argillosa. Sono inoltre stati riscontrati casi in cui nei primi metri di terreno sono state ritrovate solo sabbie. Questo orizzonte risulta preconsolidato, di conseguenza caratterizzato da una compressibilità ridotta, pertanto presenta buone garanzie sia dal punto di vista della capacità portante che dei cedimenti del terreno stesso.

Argille grigio azzurre plastiche (ap): si trovano al di sotto del livello sopra descritto. Generalmente queste argille, caratterizzate da elevate plasticità ed umidità naturale, contengono al loro interno lenti sabbiose più o meno spesse; sono normalmente consolidate e più suscettibili ai cedimenti (compressibilità molto elevata). Al suo interno sono presenti strati di torba la cui frequenza e spessore influenzano negativamente il comportamento meccanico di questo orizzonte.

La distinzione tra questi due tipi di terreno, oltre che dal colore, è marcata dalla improvvisa diminuzione sia dei valori della coesione che del coefficiente di compressione forniti dai dati delle prove penetrometriche statiche e dalle prove di laboratorio su campioni indisturbati.

Nel comprensorio comunale di Pisa il tetto delle argille grigio plastiche si trova a profondità variabile da 0,0 fino a circa 30,0 m dal p.c.; le aree in cui le argille plastiche grigio scendenti non sono sormontate dalle argille e limi bruni preconsolidati ed affiorano sul piano di campagna, e le zone in cui queste argille sono a scarsa profondità dal p.c. (tra 1 e 2 m) sono evidentemente da considerarsi più problematiche.

È importante considerare il fatto che tra le zone critiche sono da annoverarsi anche le zone di passaggio laterale tra le argille grigio plastiche e le argille e limi preconsolidati, che a volte possono risultare molto brusche, e in cui possono verificarsi cedimenti differenziali se interessati dalla stessa struttura fondazionale.

Nella zona di intervento si ipotizza il tetto delle argille ad una profondità compresa tra 14,0 e 14,5 m dal p.c. (valore da confermare attraverso una campagna geognostica specifica).

Dal punto di vista geomorfologico l'area d'intervento è collocata in un ambito di pianura con andamento quasi orizzontale; l'assetto morfologico locale, seppur stabile, è il risultato dell'attività antropica che nei secoli ha interessato l'area di intervento e quelle limitrofe (area urbana).

### **Assetto litotecnico locale**

Per creare una suddivisione dei terreni che possiedono comportamento meccanico omogeneo, i litotipi affioranti nella pianura alluvionale sono stati raggruppati in "unità litologico-tecniche" (U.L.T.) sulla base dei seguenti parametri: litologia, grado di alterazione, presenza e frequenza di stratificazione e/o di altre discontinuità, grado di addensamento e/o di cementazione. Tali parametri sono stati valutati in maniera qualitativa o semi-quantitativa, mediante prove manuali e/o con penetrometro tascabile.

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "D"

Materiali coesivi con consistenza medio-elevata

D1.s1: sabbie limi di Vicarello- Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi consistenti

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "E"

Materiali granulari non cementati o poco cementati

E3.a4 – Depositi quaternari di spiaggia emersa. Granulometria dominante: sabbie medie

E3.a1/2.t3 – Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: sabbie limose

E3.a2.t3 – Depositi quaternari di cordone litorale. Granulometria dominante: sabbie da medie a fini

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "F"

Materiali con consistenza limitata o nulla

F1.s3/s4.t2 – Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi, argille limose da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa.

F2.s3/s4.t2 – Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: limi argillosi, argille moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa.

F2.s3/s4 – Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: limi argillosi, argille moderatamente consistenti o poco consistenti

F2.s5/s6-t4 – Depositi quaternari palustri. Granulometria dominante: argille e limi argillosi da poco consistenti a privi di consistenza con presenza di materiale torboso.

Nell'area di intervento viene segnalata la presenza della "U.L.T. E ⇒ *materiali granulari non cementati e o poco cementati*", precisamente dell'Unità E3.a1/2.t3 ⇒ Depositi quaternari alluvionali – Granulometria dominante: sabbie limose.

L'analisi dei risultati della campagna geognostica conferma la presenza di questa unità litotecnica nella porzione più superficiale della successione lito-stratigrafica attraversata.

**Quadro idrogeologico generale e locale**

Nel territorio comunale sono stati distinti due complessi idrogeologici:

Il complesso dei limi dell'Arno: in pratica il complesso dei limi superficiali (a componente limosa più o meno sabbiosa) e sovrastanti i terreni argillosi del "pancone" è formato da una successione di tratti di paleoalvei, sub-superficiali o sepolti ed interconnessi. Questa particolare forma di deposizione spiega l'estrema eterogeneità dei limi ed i frequenti collegamenti idraulici orizzontali e verticali presenti tra gli acquiferi freatici, semi-freatici e confinati di questi sedimenti.

I terreni ascrivibili al complesso dei limi possono presentare caratteristiche di permeabilità variabili, decrescenti dall'Arno verso sud e nord. Quando presenti gli acquiferi tendono a concentrarsi nelle zone prossimali e principalmente poste in corrispondenza dei paleoalvei (come dimostrato dalla densità di pozzi di grande diametro). Il tetto di questi acquiferi è molto superficiale e prossimo al p.c. ed il fiume Arno ne rappresenta il principale (talora unico) sistema di alimentazione.

La permeabilità di questo complesso di terreni è media, passante a medio basso verso le aree distali ed aumentando ad elevata in corrispondenza dei paleoalvei. In questo ultimo caso gli acquiferi (freatici/semifreatici) presenti nei paleoalvei assumono la caratteristica di prima risorsa vulnerabile (da proteggere e salvaguardare).

Il complesso delle argille: un ampio settore centrale del territorio comunale, a sud e a nord dell'Arno, si caratterizza per la presenza di terreni argillosi impermeabili, privi di falda freatica. In questi terreni la prima risorsa vulnerabile (che possiede le caratteristiche di risorsa da salvaguardare) è presente in un livello di sabbie sottostante i sedimenti argillosi ed a profondità significative dal p.c. (da plurimetriche a decametriche).

Nel sottosuolo pisano sono presenti depositi alluvionali e fluvio-lacustri, ciottolosi-ghiaiosi-sabbiosi a permeabilità primaria variabile tra elevata e bassa conosciuti in letteratura con il nome di "*conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina*".

Sulla base di queste considerazioni a carattere generale, la successione idrostratigrafica del sottosuolo del territorio comunale di Pisa può essere così sintetizzata:

- sistema acquifero di tipo freatico, presente in modo più o meno continuo sull'intero territorio

comunale, che ha sede nei sedimenti limoso-sabbiosi, possiede uno spessore di qualche metro e comprende alcune limitate falde sospese spesso semi-freatiche;

➤ sistema acquifero confinato, contenuto in sedimenti prevalentemente sabbiosi, esteso per gran parte del territorio comunale: A) l'*acquifero artesiano in ghiaia*, b) l'*acquifero artesiano in sabbia*.

Nell'area di studio è stata riscontrata la presenza del "sistema acquifero di tipo freatico" come ha confermato la misura del livello piezometrico nel foro lasciato dalle due prove penetrometriche eseguite il giorno 11/03/2022: CPT1 ⇒ -5,54 m dal p.c.; CPT2 ⇒ -3,65 m dal p.c..

### **Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS): assetto locale**

Gli studi di microzonazione sismica devono individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, per le infrastrutture e per l'ambiente.

Il primo livello è finalizzato alla realizzazione della carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica" (MOPS); questo elaborato individua le microzone dove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche e dei dati derivati da indagini sismiche, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica.

Sono state individuate alcune zone stabili suscettibili di amplificazione sismica e per ciascuna di queste è stata individuata una colonna stratigrafica "tipo".

Ogni colonna stratigrafica tipo mostra la successione di terreni semplificata, rappresentativa di una vasta area e quindi, per sua natura, non rappresentativa di un sito specifico.

Nel territorio comunale sono state individuate sei zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, ma nell'area di intervento è stata individuata la sola Zona 5; la colonna tipo si spinge sino ad una profondità di 30/60 m. È da considerarsi rappresentativa del territorio della pianura alluvionale prossimo all'Arno.

La campagna geognostica sito specifica ha evidenziato un assetto stratigrafico molto vicino a quello ipotizzato per la Zona 5.

### **Assetto geologico, geomorfologico, litotecnico e idrogeologico dell'area del Piano di Recupero**

I terreni olocenici presenti nell'area di intervento sono costituiti da depositi alluvionali attuali e recenti deposti dalle acque dei corsi d'acqua, principali e secondari, che dopo aver solcato i promontori collinari pisani laminavano le loro acque cariche di sedimenti nella pianura.

Per la successione stratigrafica di riferimento è stata utilizzata quella pervista nella "Zona 5" dello Studio di Microzonazione Sismica (SM1); la colonna stratigrafica tipo prevede: A) terreni di riporto R1 (prof. 1,0/2,0 m); B) limi sabbiosi prevalente, con intercalazioni di sabbie, più o meno spesse, talvolta anche grossolane, con ghiaie (paleoalvei) SM2 (prof. 7/10 m); C) Argille lagunari CH1 (prof. 15/25 m); D) argille, argille limose, talvolta con lenti di sabbie o di torbe CH2 (prof. 20/35 m); E) sabbie prevalenti anche grossolane SMC (prof. 30/60 m).

Dal punto di vista geomorfologico l'area di intervento è pianeggiante e non è interessata da fenomeni di dissesto tali da impedire la fattibilità dell'intervento in progetto; sono presenti elementi antropici in ragione dell'ubicazione del sito (centro abitato di Pisa).

L'idrografia di superficie è caratterizzata dalla rete fognaria che caratterizza l'urbanizzazione della città di Pisa; l'elemento idrografico principale è costituito dal F. Arno che scorre a poche decine di metri dall'area di intervento (Lungarno Galilei).

Dal punto di vista idrogeologico nella zona può essere presente una falda freatica in virtù della distribuzione dei litotipi alluvionali della pianura alluvionale; nella carta di supporto al Piano Strutturale (tavola 7) viene indicato un livello piezometrico compreso tra 1,0 m e 2,0 m slm, ovvero tra -5,5 m e -4,5 m dal p.c. del Lungarno Galilei. I valori del livello piezometrico misurato durante la campagna geognostica preventiva eseguita il giorno 11/03/2022 confermano questo assetto idrogeologico generale.

La presenza di acqua freatica si correla alla presenza degli orizzonti di sabbia e/o sabbia limosa che caratterizzano la porzione più superficiale della colonna stratigrafica locale. Dal punto di vista della permeabilità ai terreni affioranti vengono classificati come "sedimenti a permeabilità primaria generalmente medio-bassa, sono presenti livelli più o meno continui a permeabilità maggiore in corrispondenza delle intercalazioni sabbiose" (tavola 7 e tavola 14).

Dalla Carta Litotecnica (tavole 6 e 13) è stato possibile osservare che l'area di intervento ricade sui "Terreni di riporto - r: si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche molto variabili in relazione al tipo di materiale deposto, quindi la coesione può variare molto in relazione al contenuto locale di argilla o limo e l'angolo di attrito interno al tenore di materiale sabbioso o ghiaioso grossolano. Sono terreni

*eterogenei rimaneggiati che in generale non offrono garanzie dal punto di vista della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da ritenere utili indicare come necessaria la loro asportazione in caso di costruzione di manufatti o di posizionare il piano di imposta delle fondazioni sotto di essi”.*

Al di sotto dell'orizzonte dei terreni di riporto ed ovviamente delle opere antropiche, sono presenti i "Terreni prevalentemente limosi - li: si tratta di terreni prevalentemente limosi di colore nocciola con intercalazioni argillose e talvolta sabbiose. Di conseguenza i parametri geotecnici di questi terreni sono variabili in relazione al tenore di limo, argilla o sabbia. In via indicativa per quanto riguarda la frazione limo-argillosa si è riscontrato che la  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente intorno a valori compresi tra 11 e 20 Kg/cmq. La coesione varia tra 0,40 e 0,85 Kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$ , è compreso tra 12 e 25 cmq/t. L'angolo di attrito interno si mantiene attorno a valori generalmente bassi”.

Nella Carta Litotecnica del Piano Strutturale Intercomunale nell'area di intervento viene indicata la presenza della "U.L.T. E  $\Rightarrow$  materiali granulari non cementati e o poco cementati", precisamente dell'Unità E3.a1/2.t3  $\Rightarrow$  Depositi quaternari alluvionali – Granulometria dominante: sabbie limose.

Questo aspetto che è stato verificato con le indagini penetrometriche eseguite.

Lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (MS1) realizzato a supporto del Piano Strutturale Intercomunale non deve essere aggiornato in quanto presenta un quadro conoscitivo completo; per i dettagli si rimanda quanto pubblicato sul sito del Comune di Pisa.

Di seguito riportiamo quanto indicato nella cartografia ufficiale di MS1 per l'area di intervento ai fini della stesura della "Carta della Pericolosità Sismica" di supporto alla Piano Strutturale Intercomunale:

Carta Geologico Litotecnica (tavola 13)  $\Rightarrow$  "U.L.T. E  $\Rightarrow$  materiali granulari non cementati e o poco cementati", precisamente dell'Unità E3.a1/2.t3  $\Rightarrow$  Depositi quaternari alluvionali – Granulometria dominante: sabbie limose (tavola 13).

Analisi ed approfondimento del quadro conoscitivo Piano Strutturale – Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) – Sezione lito-stratigrafica tipo  $\Rightarrow$  Zona 5 (tavola 23);

Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi (tavola 22)  $\Rightarrow$  frequenza  $0,1 \leq f_0 < 0,5$  – Ampiezza  $2.0 \leq A_0 < 3.0$  -  $\Rightarrow$  frequenza  $0,5 \leq f_0 < 1,0$  – Ampiezza  $2.0 \leq A_0 < 3.0$ ;

MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavola 23)  $\Rightarrow$  Zona 5: R1 - terreni di riporto (prof. 1,0/2,0 m); SM2 - limi sabbioso-argillosi e sabbie limo-argillose da sciolte a mediamente addensate, con intercalazioni di sabbie, talvolta anche grossolane con ghiaie (prof. 7/10 m); CH1 - Argille prevalenti con livelli i torbe poco consistenti (argille lagunari), con spessori da 10 a 15 m (prof. 15/25 m); CH2 - argille, argille limo-sabbiose consolidate (con base dello strato tra 20 e 35 m); SMC - ciottoli, ghiaie e sabbie da mediamente addensate ad addensate (con base dello strato tra 30 e 60 metri).

L'analisi dei dati acquisiti consente di affermare la presenza nell'area di intervento di una successione alluvionale composta dall'alternanza di orizzonti incoerenti (sabbie, sabbie limose) e coesivi (argille, argille limose).

### **Indagini eseguite a supporto Piano di Recupero**

Nell'area di intervento affiorano depositi alluvionali attuali e recenti, come meglio descritto nei paragrafi precedenti; abbiamo assunto la seguente colonna stratigrafica tipo acquisita dagli studi di microzonazione sismica: A) terreni di riporto R1 (prof. 1,0/2,0 m); B) limi sabbiosi prevalente, con intercalazioni di sabbie, più o meno spesse, talvolta anche grossolane, con ghiaie (paleovalvei) SM2 (prof. 7/10 m); C) Argille lagunari CH1 (prof. 15/25 m); D) argille, argille limose, talvolta con lenti di sabbie o di torbe CH2 (prof. 20/35 m); E) sabbie prevalenti anche grossolane SMC (prof. 30/60 m).

Per verificare lo stato di consistenza dei depositi alluvionali, almeno in termini di resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica, sono state eseguite due prove penetrometriche nell'area di intervento con le quali è stata raggiunta la profondità massima di 16,0 m dal p.c.. Contemporaneamente è stata eseguita un'indagine sismica MASW per confermare i valori della  $V_{s_{eq}}$  acquisite con lo stesso tipo di indagine nelle aree limitrofe a quella di intervento.

Attraverso queste indagini preliminari è stato possibile avere una caratterizzazione di massima del sito di intervento; questi parametri dovranno essere verificati puntualmente in sede progettazione esecutiva.

**Prove penetrometriche statiche.**

Per la verifica strumentale della consistenza dei terreni presenti nell'area di intervento è stato utilizzato il penetrometro statico/dinamico, Pagani TG63 da 200 KN equipaggiato con punta Begeman, in grado di fornire i valori della resistenza alla punta ( $q_c$ ), della resistenza laterale ( $f_s$ ) e del rapporto Begeman ( $q_c/f_s$ ) ogni 20 cm di penetrazione nel terreno. L'analisi dei dati ci ha consentito di ricostruire l'assetto geologico-stratigrafico di massima dell'area di intervento.

Sono state eseguite due prove penetrometriche con punta meccanica e di seguito riportiamo i relativi profili litostratigrafici, attraverso i quali ricostruire un modello geologico generale da verificare puntualmente in sede di progettazione esecutiva.

Prova penetrometrica CPT1<sub>mar'22</sub> (profondità da p.c. locale 11/03/2022)

0,0 ÷ 1,4 m	materiale di riporto di composizione sabbiosa, med. addensato ( $Q_c = 70-110 \text{ Kg/cm}^2$ );
1,4 ÷ 2,0 m	Argilla limo-sabbiosa, da soffice a plastica ( $Q_c = 8-16 \text{ Kg/cm}^2$ );
2,0 ÷ 3,2 m	Sabbia limo-argillosa, med. addensata ( $Q_c = 45-75 \text{ kg/cm}^2$ );
3,2 ÷ 4,4 m	Sabbia e sabbia limosa, med. addensata ( $Q_c = 64-67 \text{ kg/cm}^2$ );
4,4 ÷ 7,4 m	Argilla ed argilla limosa, consistente ( $Q_c = 17-28 \text{ kg/cm}^2$ );
7,4 ÷ 9,6 m	Argilla limo-sabbiosa, da plastica a consistente ( $Q_c = 17-28 \text{ kg/cm}^2$ );
9,6 ÷ 11,8 m	Sabbia e sabbia limosa, da med. addensata ad addensata ( $Q_c = 62-92 \text{ kg/cm}^2$ );
11,8- ÷ 14,4 m	Sabbia limosa e sabbia limo argillosa, med. addensata ( $Q_c = 42-65 \text{ kg/cm}^2$ );
14,4 ÷ 16,0 m	Argilla, consistente ( $Q_c = 15-18 \text{ kg/cm}^2$ );

Nel foro lasciato dalla prova penetrometrica è stato possibile misurare il livello piezometrico a -5,45 m dal p.c. (11/03/2022).

Prova penetrometrica CPT2<sub>mar'22</sub> (profondità da p.c. locale 11/03/2022)

0,0 ÷ 1,0 m	materiale di riporto di composizione sabbiosa, med. addensato ( $Q_c = 80-120 \text{ Kg/cm}^2$ );
1,0 ÷ 1,4 m	Argilla limo-sabbiosa, consistente ( $Q_c = 25-30 \text{ Kg/cm}^2$ );
1,4 ÷ 2,6 m	Sabbia limo-argillosa, med. addensata ( $Q_c = 65-80 \text{ kg/cm}^2$ );
2,6 ÷ 6,4 m	Argilla ed argilla limosa, da plastica a consistente ( $Q_c = 10-15 \text{ kg/cm}^2$ );
6,4 ÷ 8,8 m	Argilla limo-sabbiosa, da plastica a consistente ( $Q_c = 18-26 \text{ kg/cm}^2$ );
8,8 ÷ 10,8 m	Sabbia e sabbia limosa, med. addensata ( $Q_c = 55-80 \text{ kg/cm}^2$ );
10,8- ÷ 13,6 m	Sabbia limosa e sabbia limo argillosa, med. addensata ( $Q_c = 50-60 \text{ kg/cm}^2$ );
13,6 ÷ 16,0 m	Argilla, consistente ( $Q_c = 15-18 \text{ kg/cm}^2$ );

Nel foro lasciato dalla prova penetrometrica è stato possibile misurare il livello piezometrico a -3,65 m dal p.c. (11/03/2022).

Analizzando il contesto geologico stratigrafico ed i risultati acquisiti con le prove penetrometriche statiche è stato possibile formulare le seguenti considerazioni a carattere generale, da verificare sempre puntualmente in fase esecutiva:

- in superficie è presente un primo orizzonte di materiale di riporto;
- le due verticali di indagine hanno attraversato depositi olocenici di origine alluvionale, costituiti dall'alternanza di orizzonti sabbiosi ed argillosi, aventi un diverso grado di addensamento/consistenza;
- le due indagini evidenziano una buona omogeneità litologica laterale per la massima profondità raggiunta; anche l'andamento della resistenza all'avanzamento della punta conferma questa omogeneità laterale;
- la successione lito-stratigrafica locale è stata concretizzata attraverso i modelli geologici ricostruiti sopra riportati;
- quanto osservato rispecchia il modello litologico di riferimento della "Zona 5" della carta delle MOPS;
- nei fori lasciati dalle prove penetrometriche è stata misurata direttamente la presenza di acqua compresa tra - 3,65 m e -5,45 m dal p.c. (11/03/2022);
- l'assetto lito-stratigrafico dell'area di intervento viene descritto nei modelli geologici ricostruiti (modello geologico locale); questo dovrà essere verificato puntualmente in sede di progettazione

esecutiva delle opere in progetto secondo quanto previsto dalla normativa tecnica vigente (NTC'18, DPGR1/R, etc.);

- l'assetto lito-stratigrafico dell'area di intervento può ritenersi abbastanza omogeneo, anche se posso presentarsi delle variazioni litologiche e geotecniche verticali e laterali, almeno in termini di resistenza alla punta, proprie del sistema deposizionale di origine (deposito alluvionale recente);
- i risultati ottenuti, seppur di massima, confermano l'assetto geologico-stratigrafico esposto nei paragrafi precedenti, che nell'insieme giustificano le variazioni litologiche laterali e verticali generalmente presenti nel contesto geologico-stratigrafico olocenico di pianura;
- le strutture di fondazione dei manufatti previsti dovranno essere verificate onde evitare problematiche di stabilità a breve e lungo termine, ovvero la loro forma, dimensione e profondità di imposta dovrà garantire la stabilità delle opere previste sia a breve che a lungo termine, in modo da potersi ritenere verificata agli Stati Limite di Utilizzo (SLU - SLV) ed agli Stati Limite di Esercizio (SLE - SLD);
- il piano di campagna indicato si riferisce al piano di calpestio presente al momento delle indagini (11/03/2022).

Le indagini sono state eseguite per evidenziare l'assetto geologico-stratigrafico generale dei terreni presenti nell'area di intervento; questi dati potranno essere utilizzati come base per redigere la campagna geognostica di supporto alla progettazione e realizzazione dei manufatti secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia (NTC'18, DPGR 1/R, etc.).

### **Aspetti sismici ed azioni sismiche**

Con l'Ordinanza del P.C.M. N° 3.519 del 28/04/06 e la Delibera di G.R.T. n° 431 del 19/06/06 sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A livello di mappatura macrosismica, l'intero territorio nazionale viene considerato sismico e suddiviso in quattro zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco "ag" su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità), derivante da studi macrosismici e sismotettonici a carattere nazionale.

Il territorio comunale di Pisa (PI) è inserito tra i 163 che rientrano nella classe "3" della zona sismica di riferimento, con accelerazione compresa tra 0,125g e 0,150g.

In attuazione ai disposti delle "Norme Tecniche per le costruzioni 2018" (D.M. 17.01.2018), la stima della pericolosità sismica viene effettuata con l'approccio "sito-dipendente"; l'azione sismica di progetto viene definita in funzione della pericolosità di base del sito.

L'azione sismica di progetto in base, alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di intervento, quale elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

I caratteri del moto sismico, su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono definite le forme spettrali per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ): "ag" ⇒ accelerazione massima di sito; "Fo" ⇒ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; "TC\*" ⇒ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di "ag" è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, mentre "Fo" e "TC\*" sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo del sito ove è previsto l'intervento e della morfologia dell'area ove lo stesso ricade. Per far questo vengono determinati la "categoria di sottosuolo di fondazione" e "coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica".

### **Categoria di sottosuolo**

Per determinare la categoria di sottosuolo ai fini delle azioni sismiche è stata eseguita un'indagine sismica "MASW" nell'area di intervento; questa ci ha consentito di determinare il valore del parametro  $V_{Seq}$  necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto (in allegato si riporta la relazione tecnica).

L'indagine sismica è stata realizzata dalla società Gaia Servizi snc dalla cui relazione tecnica allegata si evidenzia un valore della  $V_{Seq}$  pari a 226 m/sec con riferimento al piano campagna; in questo caso

specifico il  $V_{seq} = V_{S30}$  visto che il substrato inteso come deposito avente una  $V_s \geq 800$  m/sec non è stato individuato con l'indagine eseguita ed è ben al di sotto dei 40 m raggiunti con l'indagine sismica.

Visto il valore attribuito alla  $V_{seq} = V_{S30}$ , i terreni di fondazione vengono cautelativamente identificati con una "Categoria C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/sec; tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato". Il coefficiente di amplificazione stratigrafica "Ss" legato alla "Categoria C" è pari a 1,50 (tabella 3.2.IV).

Questo dato è stato indicato solo a titolo conoscitivo e dovrà essere verificato puntualmente in sede di progettazione esecutiva secondo quanto previsto dalle NTC'18 e dal DPGR 1/R.

### **Coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica**

L'assetto morfologico e topografico nel quale è previsto l'intervento in progetto si presenta con "superficie pianeggiante" (inclinazione media  $< 15^\circ$ ); per questo, ai sensi delle NTC'18 la categoria topografica è la "T1" (Tabella 3.2.III) dal quale deriva un coefficiente di amplificazione topografica  **$S_T$  pari a 1,0** (Tabella 3.2.V).

Nel caso specifico per la verifica sismica si dovrà considerare per i terreni di fondazione una categoria di sottosuolo "D" da cui un coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S = 1,5$  e per l'assetto morfologico una categoria topografica "T1", dalla quale deriva il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,0$ .

Da qui si ottiene il coefficiente "S" che tiene conto dell'amplificazione stratigrafica e topografica mediante la seguente relazione " $S = S_S \times S_T = 1,5$ ", dove " $S_S$  - coefficiente di amplificazione stratigrafica" e " $S_T$  - coefficiente di amplificazione topografica".

### **Azioni sismiche**

Alle azioni sismiche contribuiscono i parametri statici, che dipendono essenzialmente dalla sorgente del terremoto (accelerazione di picco orizzontale al suolo " $a_0$ ", intensità sismica "I") ed i parametri dinamici, che dipendono dalla posizione e dalle caratteristiche geologiche del sito (fattori di amplificazione "S" e "Fo") e dal periodo dello spettro di risposta (periodi di oscillazione massima del suolo). Questi parametri definiscono la pericolosità sismica dell'area di intervento.

La pericolosità sismica dell'area di intervento è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa " $a_g$ " in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, quindi a prescindere dalle caratteristiche litologiche e litotecniche dell'area, con superficie topografia orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente " $Se(T)$ ", con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza " $P_{VR}$ ", come definite, nel "periodo di riferimento -  $V_R$ ".

La vita di riferimento " $V_R$ ", che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale " $V_N$ " stabilita per questo ultima (tabella 2.4.I), per il proprio coefficiente d'uso " $C_U$ " (tabella 2.4.II).

Nel caso specifico e solo a titolo esemplificativo, sono stati considerati indicativamente i seguenti parametri:

**a) vita nominale  $V_N \geq 50$  anni; b) classe d'uso II; c) coefficiente d'uso  $C_U = 1,0$ .**

Pertanto, si giunge ad un valore del periodo di riferimento  **$V_R = 50 \times 1,0 = 50$  anni**

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni delle costruzioni nel suo complesso. I dati suddetti potranno comunque essere confermati o variati dal progettista; nel secondo caso i parametri sismici di progetto saranno riportati corretti nella Relazione Geotecnica redatta ai sensi delle NTC'18.

Gli Stati Limite di Esercizio (SLE) 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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile per nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Gli Stati Limite Ultimi (SLU) 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella 3.2.I.

I parametri sismici *sito specifici* sono stati acquisiti attraverso programmi di calcolo che utilizzano i quattro nodi del reticolo di riferimento prossimi al sito di intervento.

Gli spettri di risposta elastici orizzontali e verticali sono stati calcolati attraverso l'utilizzo del programma *Spettri di Risposta NTC - ver. 1.0.3*; alla presente vengono allegati i dati relativi alla localizzazione dell'area di indagine nell'ambito del reticolo di riferimento, nonché i dati ed i grafici relativi agli spettri di risposta agli stati limite SLV e SLD per le componenti orizzontali e verticali.

### **Parametri sismici**

Tipo di elaborazione: Strutture di fondazione Ubicazione del sito in esame.

Latitudine: 43,714208; longitudine: 10,40793; Classe: 2; Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 20268 Lat: 43,6936 Lon: 10,3783 Distanza: 3306,884

Sito 2 ID: 20269 Lat: 43,6954 Lon: 10,4474 Distanza: 3803,252

Sito 3 ID: 20047 Lat: 43,7453 Lon: 10,4450 Distanza: 4564,686

Sito 4 ID: 20046 Lat: 43,7435 Lon: 10,3757 Distanza: 4163,307

### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1,0

<b>Operatività</b>	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento (%)	81	63	10	5
Tr (anni)	30	50	475	975
Ag	0,038 g	0,048 g	0,118 g	0,153 g
Fo	2,575	2,549	2,395	2,380
Tc* (s)	0,220	0,249	0,280	0,283

Coefficienti Sismici (*da Geostru*)

<b>Operatività</b>	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,500
Cc	1,730	1,660	1,600	1,590
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,011	0,014	0,043	0,054
Kv	0,006	0,007	0,021	0,027
A <sub>max</sub>	0,563	0,699	1,742	2,218
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Dove: A<sub>max</sub> (accelerazione massima attesa al sito) A<sub>max</sub> = ag\*Ss\*St

Kh = β\*A<sub>max</sub>/g Kv = 0,5\*Kh

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 - Geostru software

Le coordinate WGS84 Lat. 43,713242; Lon. 10,406929

### **Verifica alla liquefazione dei terreni presenti nell'area di intervento**

Le NTC'18 propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni. Le NTC'18 recitano che "La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze":

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda (in genere vanno considerati livelli con spessore superiore a 3 m), occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."

È inoltre importante, al di là dei risultati della verifica, valutare le conseguenze della eventuale liquefazione degli strati sabbiosi, tenendo sempre presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere uno spessore maggiore di 3 m oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione è più sottile di 3 m.

La valutazione della Magnitudo attesa è stata effettuata secondo quanto proposto dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Gruppo di lavoro MS 2008" dove viene indicato il metodo che si basa, a partire sempre dalla zonazione sismogenetica (ZS 9), sulle coppie di valori "Magnitudo media - distanza M-R" caratteristici di ogni sito desunti dai dati di disaggregazione della pericolosità sismica (vedi dati Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di lavoro, 2004 e INGV Spallarossa e Barani, 2007), i quali ci permettono di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito per determinati tempi di ritorno. L'uso di tale metodica ci viene indicato anche dal Responsabile P.O. - Valutazione effetti locali in zona sismica - Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana, di cui alleghiamo un estratto della e-mail inviataci.

I risultati di tale operazione, esposti nelle tavole allegate, evidenziano che il valore della magnitudo media del sito di studio è sempre minore di 5,0.

Nel caso specifico e solo a titolo esemplificativo da verificare puntualmente in sede progettazione esecutiva, si è proceduto con la verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione utilizzando il metodo di *Robertson e Wride* a partire dalle prove CPT eseguite; per queste sono state assunte ipotetiche le seguenti caratteristiche:

- magnitudo attesa  $M_{max}$  5,91-6,14 (ZS9 - n° 921);
- livello piezometrico della falda: a - 3,65 m dal p.c. (situazione misurata il 11/03/2022);
- accelerazione  $a_{MAX} = a_{gSLV} \times (S_s \times S_t) = 0,118 \times 1,5 \times 1,0 = 0,177$
- profilo stratigrafico: come indicato nel modello geologico.

Adottando il metodo della "Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)" è stato possibile verificare che i terreni indagati con le due prove eseguite risultano non liquefacibili (N.L.) come evidenziato dalla tabella di analisi dei dati per lo spessore considerato (16,0 metri); questi risultati dovranno essere verificati puntualmente in sede di progettazione esecutiva ai sensi delle NTC'18 e del DPGR1/R.

Pertanto, in line adi massima i depositi presenti nell'area di intervento non sono suscettibili a liquefazione, in quanto il parametro CRR è sempre maggiore del parametro CSR, con un valore di Magnitudo pari a 6,14 ("zona 921" dalle ZS9). Ovviamente, in ragione delle possibili variazioni lito-stratigrafiche e litotecniche presenti nei depositi alluvionali recenti ed attuali, sarà necessario eseguire

un'indagine puntuale per la verifica oggettiva del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione in sede di progettazione esecutiva.

Inoltre, per quanto riguarda la valutazione della potenzialità di liquefazione dei terreni facciamo presente che il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento tellurico, nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare.

Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente; per tali motivazioni, soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

### **Il fenomeno della subsidenza**

La subsidenza naturale è dell'ordine di grandezza di qualche millimetro l'anno, a volte anche meno, e quindi le sue conseguenze sono relativamente ridotte, in quanto esse si manifestano in tempi geologici e comunque assai lunghi. Ben diverso è invece il caso della subsidenza indotta dall'attività antropica, che può raggiungere valori da dieci ad oltre cento volte superiori, fino a determinare possibili fenomeni di interferenza con le attività umane. Nel territorio pratese si è assistito al suddetto fenomeno principalmente a partire dalla seconda metà del secolo scorso, in concomitanza con il grande sviluppo industriale e tecnologico che ha sfruttato in modo massiccio le grandi risorse sotterranee di acqua. Per poter misurare e stimare l'entità della subsidenza in una determinata area si può ricorrere all'utilizzo di vari sistemi di misurazione, più o meno accurati.

Potendo disporre di due distinte campagne di misurazione, la prima dal satellite ERS per il periodo 1992-2000 e la seconda dal satellite ENVISAT per il periodo 2003-2010 si è potuto confrontare l'andamento del fenomeno della subsidenza in un arco temporale che ha visto un netto calo dei prelievi dalla falda dovuto alla crisi dell'industria tessile che ha interessato tutto il distretto pratese. Nella tavola della subsidenza sono state collocate le rappresentazioni delle due misurazioni in modo da poter evidenziare come gli areali a maggiore subsidenza si siano drasticamente ridotti mentre gli areali dove si verifica un "rialzamento" del terreno siano andati allargandosi.

Nel Piano Operativo si riporta l'andamento dei movimenti del terreno che scaturisce dall'*"Attività di monitoraggio del rischio idrogeologico nel territorio della Regione Toscana"* secondo un accordo stipulato il 06 dicembre 2017, ai sensi dell'art. 15 della legge 7 agosto 1990, n. 241, e dell'art. 6 della legge 24 febbraio 1992, n. 225, tra la Regione Toscana, il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'università degli Studi di Firenze.

La Regione Toscana ha varato un progetto di monitoraggio in continuo delle deformazioni del terreno del territorio regionale toscano tramite interferometria radar satellitare. L'interferometria radar satellitare si basa sull'analisi di lunghe serie di immagini SAR (Synthetic Aperture Radar) acquisite da piattaforma satellitare sulla stessa area in tempi diversi, in modo da consentire misurazioni non invasive e ad alta precisione degli spostamenti del suolo e dei manufatti.

L'interferometria SAR satellitare rappresenta lo strumento più all'avanguardia per la misura degli spostamenti superficiali e consente l'individuazione, la mappatura e l'analisi, anche tramite le serie temporali degli spostamenti, di quelle aree interessate da deformazioni indotte da fenomeni di dissesto idrogeologico come frane e subsidenza indotta da pompaggi della risorsa idrica o connessa allo sfruttamento della risorsa geotermica. Tale metodologia sebbene non consenta di intercettare fenomeni improvvisi ed imminenti, permette comunque un monitoraggio continuo di eventuali spostamenti e deformazioni che protraendosi nel tempo possono essere precursori e causa di possibili eventuali criticità sul territorio e sulle infrastrutture regionali.

Il recente lancio dei satelliti della costellazione Sentinel-1 dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea) ha aperto nuove opportunità per il monitoraggio della superficie terrestre e per la valutazione degli scenari di rischio connessi a movimenti del suolo. La missione Sentinel-1, progettata nell'ambito del progetto europeo Copernicus, è composta da una costellazione di due satelliti (Sentinel-1A e Sentinel-1B). Il satellite Sentinel-1A è stato lanciato il 3 aprile 2014, Sentinel-1B il 25 aprile 2016. Entrambi i satelliti sono equipaggiati con sensori SAR in banda C (lunghezza d'onda di circa 5,6 cm) ed hanno tempi di rivisitazione di 12 giorni. La presenza in orbita dei due satelliti gemelli ha permesso di ridurre il tempo di rivisitazione a 6 giorni. Tale missione opera in modo da acquisire archivi consistenti di immagini adatti a programmi di monitoraggio a lungo termine e garantisce un flusso continuo di dati radar satellitari acquisiti con regolarità su vaste aree del pianeta e in particolare sull'Italia. La costellazione di satelliti Sentinel-1 è ideata per fornire informazioni sempre aggiornate, in continuità con i dati provenienti dalle precedenti missioni ERS 1/2 e ENVISAT, ma con un notevole miglioramento delle informazioni, soprattutto in termini di affidabilità, fruibilità e tempestività di consegna dei dati stessi. Questa costellazione satellitare risulta la migliore scelta operativa per attività di studio e monitoraggio delle deformazioni del terreno a media risoluzione con coperture a scala regionale.

L'obiettivo generale dell'attività riguarda il monitoraggio geomorfologico in continuo dello scenario deformativo del territorio della Regione Toscana tramite dati radar interferometrici satellitari. Tale approccio di monitoraggio è finalizzato ad aggiornare in modo dinamico e continuo il quadro conoscitivo del territorio regionale per il rischio idrogeologico e geomorfologico, e a rilevare tempestivamente situazioni di criticità basate sull'individuazione di anomalie. La disponibilità di dati su tutto il territorio della Regione Toscana e il programma di acquisizioni rapide e sistematiche permettono oggi di effettuare analisi continue, specifiche e sempre aggiornate delle deformazioni in atto.

In questo contesto si inseriscono gli studi per il monitoraggio dei fenomeni di subsidenza dei terreni, visto che possono essere considerati fenomeni a dinamica lenta (per la stessa area sia hanno letture ogni 6 gg, visto che ogni satellite impiega 12 gg per registrare i dati della stessa area).

Considerando la precisione delle misure e la copertura spaziale e temporale, tra i campi di applicazione primari dei dati interferometrici ricade l'individuazione e mappatura delle aree in subsidenza: le aree urbane, frequentemente affette da subsidenza sia areale che locale, sono ambienti ideali per l'utilizzo dei dati interferometrici. Infatti, i lenti movimenti verticali legati all'abbassamento del suolo e l'alta densità di edifici e manufatti antropici rende la subsidenza in area urbana lo scenario migliore per un'analisi interferometrica.

Questo metodo consente la valutazione dell'andamento nel tempo delle deformazioni, visto che le serie temporali, grafici che rappresentano lo spostamento registrato alla data di acquisizione, sono il prodotto ultimo e più avanzato dell'analisi interferometrica. Permettono di ripercorrere la storia deformativa di un punto misura indietro nel tempo (fino ad ottobre 2014 nel caso del geoportale).

Un quadro di insieme delle precisioni ottenibili con un'analisi *SqueeSAR* di immagini SAR in banda C (come quelle acquisite dai satelliti Sentinel-1) è dato nella Tabella 1, nella quale vengono riportati i valori di deviazione *standard* ( $\sigma$ ) per la velocità di spostamento media, la misura di deformazione singola (millimetri di spostamento in un certo *intervallo* temporale), coordinate geografiche del punto (Nord, Est, quota). Aspetto quest'ultimo da non sottovalutare, specie se l'obiettivo dell'analisi si riduce a un singolo edificio o una parte di esso.

Parametro	Precisione banda C
Posizione in Nord	$\pm 2$ m
Posizione in Est	$\pm 7$ m
Quota ellissoidica	$\pm 1,5$ m
Velocità media di spostamento	$\pm 2$ mm/anno
Misura di spostamento singola	$\pm 5$ mm

Tabella 1 - Tabella riassuntiva relativa alle precisioni ottenibili con sensori in banda C.

I dati PS del Geoportale Regione Toscana vengono visualizzati utilizzando una specifica scala colori la quale potrà essere riprodotta dall'utente attraverso un *file* di vestizione consegnato congiuntamente ai dati puntuali. La scala colori è mostrata in Figura 7. I punti di misura sono classificati secondo la velocità media annua di deformazione (espressa in mm/anno) secondo tale convenzione:

- il colore verde corrisponde a quei punti la cui velocità di deformazione è molto bassa, compresa tra -2,0 e +2,0 mm/anno, ovvero all'interno dell'intervallo di sensibilità della tecnica interferometrica e definito sulla base della deviazione standard dei dati utilizzati;
- con i colori da giallo a rosso sono classificati quei punti di misura con velocità di deformazione negativa, che corrisponde a movimenti in allontanamento dal satellite lungo la linea di vista sensore-bersaglio;
- con i colori da azzurro a blu sono classificati quei punti di misura con velocità di deformazione positiva, che corrisponde a movimenti in avvicinamento al satellite lungo la linea di vista sensore-bersaglio.

- $vel [mm/yr] < -20$
- $-19.9 \leq vel [mm/yr] < -10.0$
- $-9.9 \leq vel [mm/yr] < -5.0$
- $-4.9 \leq vel [mm/yr] < -2.0$
- $-1.9 \leq vel [mm/yr] < 2.0$
- $2.1 \leq vel [mm/yr] < 5.0$
- $5.1 \leq vel [mm/yr] < 10.0$
- $10.1 \leq vel [mm/yr] \leq 20.0$
- $vel [mm/yr] \geq 20.1$

Figura 7 – Scala colori standardizzata per tutti i prodotti interferometrici visualizzati nel geoportale.

I dati sono disponibili in entrambe le orbite di acquisizione del satellite Sentinel-1, ascendente (da Sud a Nord) e discendente (da Nord a Sud). Ogni punto PS sul geoportale è interrogabile dall'utente. La tabella degli attributi associata ad ogni punto contiene diverse informazioni utili al fine dell'interpretazione dei

movimenti. Queste informazioni possono essere visualizzate anche in un qualsiasi sistema GIS una volta scaricato il dato dal geoportale. Di seguito sono elencati i campi che contraddistinguono ogni punto:

- CODE, codice univoco di riconoscimento del PS;
- HEIGHT, quota del punto estratta a partire dal modello digitale del terreno usato per elaborare le immagini *radar*;
- EFF\_AREA, se uguale a zero il punto è un PS. Se maggiore di zero il punto è un DS, quindi riferito ad un'area e non ad un oggetto puntuale (il valore è in m<sup>2</sup>);
- VEL, valore di velocità media del punto misurato lungo la LOS del satellite ed espresso in mm/anno;
- V\_STDEV, valore di deviazione *standard* della velocità media (espressa in mm/anno);
- H\_STDEV, stima dell'errore della stima della quota del PS (espresso in m);
- COHERENCE, indice che misura l'accordo tra i dati ed il modello di spostamento utilizzato in fase di analisi (numero compreso tra 0 e 1, rispettivamente nessuna attinenza ed elevato accordo con il modello). Essa indica la qualità della serie temporale per ogni punto. Se il valore è superiore a 0,75 la serie temporale si considera molto affidabile.

Per ogni punto di misura è possibile visualizzare la serie temporale di deformazione dall'inizio del periodo monitorato fino alla data dell'ultima acquisizione satellitare disponibile.

- A) Campi di velocità rilevabili: la tecnica PS è in grado di individuare deformazioni all'interno di un preciso campo di velocità (velocità della componente lungo LOS):
- B) Limite superiore: una delle leggi base dell'interferometria definisce lo spostamento massimo misurabile tra due acquisizioni come pari a 1/4 della lunghezza d'onda del segnale *radar*. Per il satellite Sentinel-1 questo limite è uguale a 1,4 cm tra due acquisizioni. La velocità massima misurabile è invece pari a 80 cm/anno. Questo valore permette la misura di movimenti connessi a fenomeni costanti nel tempo e a cinematica lenta, ma non consente né l'individuazione né la misura di movimenti a cinematica rapida o addirittura istantanei (come ad esempio colamenti veloci o collassi strutturali);
- C) Limite inferiore: bersagli con velocità lungo LOS pari a  $\pm 2$  mm/anno rientrano all'interno dell'intervallo di sensibilità della tecnica interferometrica.

### **Considerazioni sulla subsidenza nell'area di intervento**

Il tema della subsidenza nell'ambito della pianura alluvionale nel territorio comunale di Pisa e di quelli dei comuni limitrofi è oggetto di attenzione in ragione di possibili fenomeni di subsidenza indotta dalla presenza di terreni scadenti o per sovrasfruttamento delle falde acquifere confinate presenti nella successione lito-stratigrafica della zona di intervento. In particolare, sono stati analizzati i dati interferometrici satellitari che forniscono indicazioni sugli spostamenti sull'asse dei punti "bersaglio" in grado di riflettere con continuità le radiazioni radar emesse da sonde orbitali collocate a circa 800 chilometri di quota rispetto alla superficie terrestre.

Sia nell'area di studio che nelle aree limitrofe la misurazione dei PS rimane sempre al di sotto del limite inferiore di misurazione, quindi è possibile affermare che il fenomeno di subsidenza, se presente, non rientra tra i casi da attenzionare. È opportuno ricordare che lo spostamento misurato non è quello verticale ma quello lungo LOS (direttrice satellite-bersaglio), quello verticale, se presente può essere diverso e dipendente dall'inclinazione della direttrice LOS.

Sostanzialmente le misurazioni degli ultimi anni, che sono anche le più precise perché basate su rilevamenti degli stessi punti per cicli di 12 giorni, confermano che l'entità del fenomeno subsidenza presente nell'area di studio non costituisce una problematica particolare per le attività antropiche.

In ogni caso la subsidenza assume un significato importante all'interno del quadro conoscitivo perché, indipendentemente dalla sua entità e dagli effetti che potrà provocare, può essere anche indice dell'esistenza di un forte squilibrio tra i volumi di acqua che vengono costantemente prelevati dalla falda e la capacità di ricarica della stessa da parte di tutte le acque di infiltrazione che contribuiscono alla ricostituzione della risorsa primaria. In quest'ottica il fenomeno della subsidenza può essere considerato come un elemento di monitoraggio per l'equilibrio del bilancio idrico della falda.

Per l'area di studio è stato considerato l'andamento dei PS sia nella configurazione discendente che ascendente: i PS mostrano un'ottima coerenza del dato (stesso colore); è stata analizzata la curva dei singoli bersagli ubicati nei pressi dell'area di intervento ed in entrambe le configurazioni le oscillazioni misurate lungo la LOS, seppur minime, possono essere ricondotte ad oscillazioni riconducibili alla variazione stagionale di umidità naturale dei depositi argillosi su cui il manufatto "bersaglio" è fondato, alla dilatazione termica del bersaglio, etc. (alleghiamo alcuni dei grafici osservati).

**Pericolosità geologica, geomorfologica ed idraulica**

**Piano Strutturale vigente redatto ai sensi del DCTR 94/85**

Nella Carta della Pericolosità approvata con deliberazione di Consiglio Comunale n°103 del 2 ottobre 1998 (ai sensi del DPGR 86/94), l'area di intervento ricade "Classe 3, pericolosità media, in questa classe sono comprese aree in cui sono assenti fenomeni attivi; sono protette da opere idrauliche; esistono notizie storiche di esondazioni dell'Arno; sono poste a quote inferiori a 2 ml, misurate dal piede esterno dell'argine del corso d'acqua corrispondente; Sottoclasse 3a, pericolosità medio-bassa, zone in cui il tetto delle argille compressibili è posto a profondità maggiori di 2 m dal p.c."

Nella Carta della Pericolosità Sismica allegata all'Aggiornamento del quadro conoscitivo del RU, ai sensi dell'art. 21 L.R. 65/2014 – Indagini Geologiche, approvato con Deliberazione di Consiglio Comunale n° 3 del 28/01/2020, l'area di intervento ricade in "Classe S.3 – pericolosità sismica locale elevata"; rientrano in queste aree le "zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri".

**Piano Strutturale Intercomunale redatto ai sensi del DPGR 53/R**

Nella Carta della Pericolosità Geologica redatta ai sensi del DPGR 53/R l'area di intervento ricade in "Classe G.1 – pericolosità bassa", ovvero "Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi".

Nella Carta della Pericolosità Idraulica redatta ai sensi del DPGR 53/R l'area di intervento non ricade nelle due classi di pericolosità considerate in questo elaborato ("Classe I.3 – aree a pericolosità idraulica elevata" e "Classe I.4 – aree a pericolosità idraulica molto elevata"); nella carta ufficiale c'è un errore materiale, sono state invertite le colorazioni, aspetto confermato dall'istruttore tecnico del Comune di Pisa.

Nella Carta della Pericolosità Sismica redatta ai sensi del DPGR 53/R l'area di intervento ricade in "Classe S.2 – pericolosità sismica locale media"; rientrano in queste aree le "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità S.3. Non è necessario indicare condizioni per la definizione della fattibilità degli interventi da attuare a livello di P.O."

Nella Carta della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche redatta ai sensi del DPGR 53/R l'area di intervento ricade in "Classe di Vulnerabilità media", ove non è presente intrusione salina e senza problematiche di subsidenza.

Nella Carta dei Battenti idraulici redatta ai sensi del DPGR 53/R l'area di intervento non ricade tra le aree ove è previsto un battente idraulico per TR di 200 anni (nessun battente idraulico), così come nella Carta delle Velocità di deflusso l'area non è interessata da tale fenomeno.

Nella "Carta della Pericolosità Idraulica" del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), l'area di intervento rientra tra i terreni classificati dal PGRA in: "P1 – Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità" come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010.

**Pericolosità dell'area secondo Distretto dell'Appennino Settentrionale**

Per definire la pericolosità dell'area sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

L'area di intervento non rientra tra le aree classificate nella carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante" come acquisto dal sito ufficiale dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale.

L'area di intervento ricade in classe di pericolosità: in: "P1 - Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità" come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010. Per mitigare il rischio idraulico è comunque opportuno realizzare le opere in progetto secondo quanto previsto dalla L.R.41/R (si deve raggiungere almeno il livello di "rischio idraulico medio R2"). L'area di intervento si colloca a poche decine di metri dal Fiume Arno (Lungarno Galilei).

### **Fattibilità degli interventi previsti ai sensi del Regolamento Urbanistico Vigente**

Nella Carta della Fattibilità di supporto al Regolamento Urbanistico vigente, l'area di intervento ricade in "Classe II - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto: equivale a livelli di rischio basso. Non sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva. Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica/idraulica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dalla Carta di Pericolosità del Piano strutturale del Comune di Pisa".

La relazione geologica e la relazione geotecnica/idraulica possono formare un unico elaborato nel quale la ricostruzione geologica del sito e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo debbono essere reciprocamente coerenti: la relazione geotecnica/idraulica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

### **Particolari disposizioni relative alle opere sotto il piano di campagna**

"Come noto tutto il territorio urbano e sub-urbano del Comune di Pisa si caratterizza per diffuse condizioni di fragilità idraulica. Si vedano al riguardo i relativi elaborati di base del Piano Strutturale e la carta della Pericolosità, nella quale ampie zone del territorio sono state classificate a pericolosità 3, media, per implicazioni dominanti a carattere idraulico.

Per nuove previsioni urbanistiche che comportino opere poste al di sotto del piano campagna, (indipendentemente dalle loro dimensioni e dalla classe di fattibilità derivante dalla matrice di correlazione) dovrà essere predisposta un'attenta ricostruzione del quadro idraulico-idrogeologico-idrologico esteso ad un intorno significativo di territorio, e preliminarmente all'adozione della previsione stessa e/o alla realizzazione dell'intervento.

Per ogni previsione di trasformazione sotto il piano di campagna devono essere quindi effettuati:

1. uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali;
2. uno studio idrologico-idraulico riferito al bacino/sottobacino sotteso alla previsione di trasformazione ed alla porzione di rete idraulica superficiale corrispondente, e comprendente l'analisi della consistenza della rete fognaria (per l'area urbana) ovvero del comparto della bonifica (per la cintura suburbana). Per la definizione dell'area di studio dovrà essere consultata la carta del reticolo idraulico superficiale del Piano strutturale del Comune di Pisa.

Il progetto della trasformazione deve tenere conto dei risultati degli studi di cui ai commi 1 e 2. La trasformazione può essere effettuata soltanto a seguito dell'esecuzione degli eventuali interventi di bonifica idraulica, che si rendessero necessari, previsti dai medesimi studi".

### **Considerazioni idrauliche relative all'area di intervento**

L'area di intervento si trova nella porzione urbanizzata della Città di Pisa, in Lungarno Galilei; dall'analisi morfologica della cartografia ufficiale della Regione Toscana è stato possibile osservare che il piano di calpestio ove è previsto il nuovo manufatto edilizio si attesta intorno alla quota di +6,5 m s.l.m. (piano stradale di Lungarno Galilei), mentre la porzione ove sono previste le opere accessorie quali, parcheggi, verde privato, si trova ad una quota di circa +6,0 m s.l.m.; soltanto una piccola porzione risulta depressa rispetto al resto (area a +3,5 m s.l.m.). La rete di drenaggio delle acque superficiali è individuata nella rete fognaria esistente (area urbanizzata).

Visto l'assetto morfologico dei luoghi è possibile affermare che gli stessi siano liberi da possibili problematiche di alluvionamento e le uniche accortezze da seguire sono relative alla gestione delle acque superficiali, specialmente durante eventi meteorici intensi.

Per una corretta gestione delle acque superficiali drenate dalle superfici impermeabili si consiglia far uso di opere volte a mitigare il livello di rischio accertato, ovvero quello che può presentarsi sia in caso di piogge standard ma ancora di più in caso di piogge molto intense.

In questo contesto sarebbe importante limitare al massimo il deflusso istantaneo delle acque meteoriche raccolte nell'area di intervento verso la rete di drenaggio esterna, attraverso la realizzazione di opere di

ritenzione temporanea delle acque. Si possono prevedere: a) vasche di accumulo delle acque provenienti dai pluviali; b) condotte fognaria con minima pendenza e sezione sovradimensionata. Per la stabilità dell'assetto geomorfologico locale si consiglia di non realizzare aree di infiltrazione delle acque meteoriche.

Nella Carta di PGRA l'area di intervento ricade in classe: "P1 – Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità". In queste aree non sono previsti fenomeni di alluvionamento ne tanto meno fenomeni di transito idraulico in occasioni di eventi alluvionali calcolati per un TR di 200 anni.

Secondo quanto indicato nella L.R. 41/R l'intervento in oggetto rientra tra quelli ricompresi nel "Capo III - Interventi edilizi all'interno del perimetro del territorio urbanizzato"; l'area non rientra tra le "Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti" ne tanto meno tra le "Aree a pericolosità per alluvioni frequenti", per cui l'intervento edilizio in progetto dal punto di vista idraulico è ammesso senza alcuna limitazione secondo quanto previsto dalla L.R.41/R.

Con la realizzazione dell'intervento edilizio in progetto le condizioni di rischio idraulico dell'area non dovranno superare il "Rischio medio R2", inteso come il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche.

L'area di intervento non rientra nella fascia di rispetto del Fiume Arno, corso d'acqua compreso nel reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della L.R. 79/2012 e successive mod. ed int. (DCR 28/2020).

### **Valutazione della Pericolosità Geologica, Sismica ed Idraulica ai sensi del DPGR 5/R del "Piano di Recupero di Lungarno Galilei"**

Dalla stesura del Piano Strutturale Intercomunale non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo esistente relativamente agli aspetti geologici, idraulici e sismici. Per gli aspetti idraulici è stata acquisita anche la cartografia di PGRA dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale che adegua alla nuova normativa la pericolosità idraulica dell'area di studio.

Per la stesura della documentazione di supporto al Piano di Recupero in oggetto non è stato necessario procedere con l'aggiornamento del quadro conoscitivo locale per gli aspetti geologici, idraulici e sismici; infatti, viene acquisito integralmente quello del Piano Strutturale Intercomunale a cui si aggiunge quello dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale per gli aspetti idraulici.

Le classi di pericolosità individuate all'interno del "Piano di Recupero di Lungarno Galilei" ai sensi del DPGR n.5/R del 30/01/20, sono le seguenti (per la corretta distribuzione vedasi le tavole allegate):

Pericolosità geologica bassa (G.1), aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici.

Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010.

Pericolosità sismica locale media (S.2): a) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz; b) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ ) < 1.4; c) zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi); d) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;

### **Condizioni di Fattibilità degli interventi previsti dal "Piano di Recupero in Lungarno Galilei"**

I criteri di fattibilità sono dettati dal DPGR 5/R del 30/01/2020. Le condizioni di fattibilità sono definite in funzione delle situazioni di pericolosità e di rischio, e specificano gli studi e le indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio e le eventuali opere da realizzare per la mitigazione del rischio. La mitigazione del rischio è perseguita attraverso azioni combinate per la riduzione della pericolosità e della vulnerabilità degli elementi esposti.

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica media (G1)**, non è necessario dettare condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.

Comunque, per gli interventi previsti anche in aree caratterizzate da questa pericolosità geologica le indagini dovranno essere svolte nella fase di progetto esecutivo ed avranno come obiettivo la

caratterizzazione geotecnica del sottosuolo. In ragione delle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti nell'area di intervento, la realizzazione degli interventi previsti nell'area in oggetto dovrà essere supportata da apposite indagini geognostiche di dettaglio, finalizzate alla verifica puntuale delle caratteristiche geotecniche dei terreni, che potrebbero dar luogo instabilità a breve termine (rottura dei terreni di fondazione) e lungo termine (cedimenti assoluti e differenziali).

Pertanto, a supporto della progettazione e realizzazione delle opere in progetto dovranno essere realizzate specifiche relazioni geologiche e geotecniche, supportate da adeguate indagini geotecniche e geofisiche nel rispetto della normativa tecnica e sismica per le costruzioni vigente (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 1/R del 19/01/22).

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)**, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010, gli interventi in progetto dal punto di vista idraulico sono ammessi senza alcuna limitazione secondo quanto previsto dalla L.R.41/R.L.. Nei casi in cui la fattibilità degli interventi non sia condizionata dalla L.R. 41/R alla realizzazione delle opere di cui all'art.8, comma1, ma comunque preveda che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali, la gestione del rischio alluvioni può essere perseguita attraverso misure da individuarsi secondo criteri di appropriatezza, coniugando benefici di natura economica, sociale ed ambientale, unitamente ai costi ed ai benefici.

Con la realizzazione dell'intervento edilizio in progetto le condizioni di rischio idraulico dell'area non dovranno superare il "*Rischio medio R2*", inteso come il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità sismica locale media (S2)**, non è necessario indicare condizioni di attuazione per la fase attuativa o progettuale degli interventi. Limitatamente a quelle connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore ad 1,0 herz, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione tiene conto dell'analisi combinata della frequenza fondamentale del terreno e del periodo proprio delle tipologie edilizie, al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura nella fase della progettazione edilizia.

Per gli interventi previsti in aree caratterizzate da questa pericolosità sismica le indagini dovranno comunque essere svolte nella fase di progetto esecutivo ed avranno come obiettivo la verifica della risposta sismica dei terreni di fondazione nei confronti delle criticità possibili: suscettibilità alla liquefazione, fenomeni di cedimento in presenza di terreni scadenti e contrasti di impedenza sismica nell'assetto sismo-stratigrafico locale (frequenze di risonanza dei terreni). Pertanto, a supporto della progettazione e realizzazione delle opere in progetto dovranno essere realizzate specifiche indagini geotecniche e geofisiche nel rispetto della normativa tecnica e sismica vigente per le costruzioni (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 1/R del 19/01/2022).

Alla luce di quanto sopra, risulta che gli interventi previsti dal Piano di Recupero sono fattibili e compatibili con le condizioni del sito di imposta, verificando in sede esecutiva la effettiva costituzione stratigrafico - geotecnica del sottosuolo in ragione delle qualità osservate a livello conoscitivo con le due prove penetrometriche eseguite.

Non si esclude che, in ragione della possibile incidenza strutturale sul terreno di imposta, si debba ricorrere a opere fondazionali speciali; si sottolinea l'importanza di verificare la quota del livello piezometrico dell'area di intervento possibilmente verificandone l'oscillazione naturale.

La caratterizzazione geologica, geotecnica e geofisica dell'area interessata dal Piano di Recupero dovrà rispettare i dettami delle NTC 2018 e della DPGR 01/R/2022 in accordo con le indicazioni derivanti dalle reali pericolosità di sito.

**Allegati:**

Estratto dalla CTR Regione Toscana (sezione 273.050), 1:10.000;

Estratto dalla CTR Regione Toscana (Tavoletta 18F50), 1:2.000;

Planimetria di dettaglio dello stato attuale, 1:200;

Estratto dalla Carta Geologica della Regione Toscana, 1:10.000;  
Estratto dalla Carta Geologica del P.S. vigente (B.2.4), 1:20.000;  
Estratto dalla Carta Litotecnica del P.S. vigente (B.2.5), 1:20.000;  
Estratto dalla Carta Idrogeologica del P.S. vigente (B.2.6), 1:20.000;  
Estratto dalla Carta della Pericolosità del P.S. vigente (B.2.2), 1:20.000;  
Estratto dalla Carta delle MOPS adeguamento del RU Del. C.C. n.3, 1:30.000;  
Estratto dalla Carta delle Pericolosità Sismica adeguamento del RU Del. C.C. n.3, 1:30.000;  
Carta Geologica - Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Carta Geomorfologica - Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Carta Litotecnica - Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Estratto dalla Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Estratto dalla Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Estratto dalla Carta della Pericolosità Geologica del Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Estratto dalla Carta della Pericolosità Sismica del Piano Strutturale Intercomunale, 1:25.000;  
Estratto dalla Carta della Pericolosità Idraulica TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale, 1:10.000;  
Estratto dalla Carta di PGRA Distretto Appennino Settentrionale, 1:5.000;  
Estratto dalla Carta del battente idraulico TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale, 1:10.000;  
Estratto dalla Carta delle velocità massime TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale, 1:10.000;  
Estratto dalla Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi (MS1), 1:10.000;  
Estratto dalla Carta delle MOPS - MS1, 1:30.000;  
Verifica della subsidenza locale con l'interferometria radar (configurazione discendente e ascendente);  
Ubicazione delle indagini eseguite: CPT - MASW e HVSr (Google Earth Pro);  
Planimetria dello stato di progetto con l'ubicazione delle indagini eseguite: CPT - MASW e HVSr  
Carta della Pericolosità Geologica de Piano di Recupero, 1:2.000;  
Carta della Pericolosità Sismica del Piano di Recupero, 1:2.000;  
Carta della Pericolosità Idraulica del Piano di Recupero, 1.2.000;  
Carta della Fattibilità del Regolamento Urbanistico;  
Verifica a liquefazione dei terreni (riferimento CPT2);  
Prove penetrometriche statiche CPT;  
Indagine sismica MASW e HVSr.

Arena Metato, 16 marzo 2022

Geol. Massimiliano Vannozi

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R -  
Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre  
2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Estratto dalla CTR Regione Toscana  
(sezione 273.050)

Marzo 2022

Scala 1: 10.000

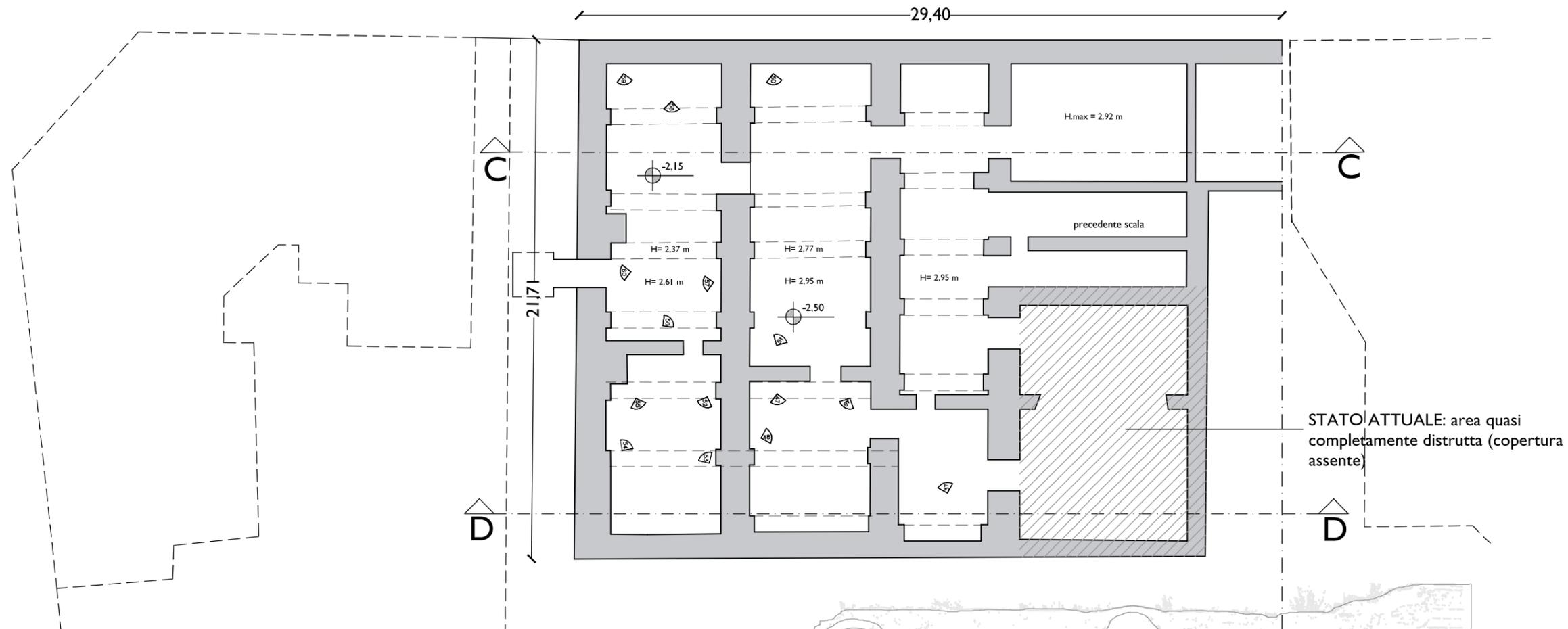


(cartografia acquisita dal SITA della Regione Toscana)

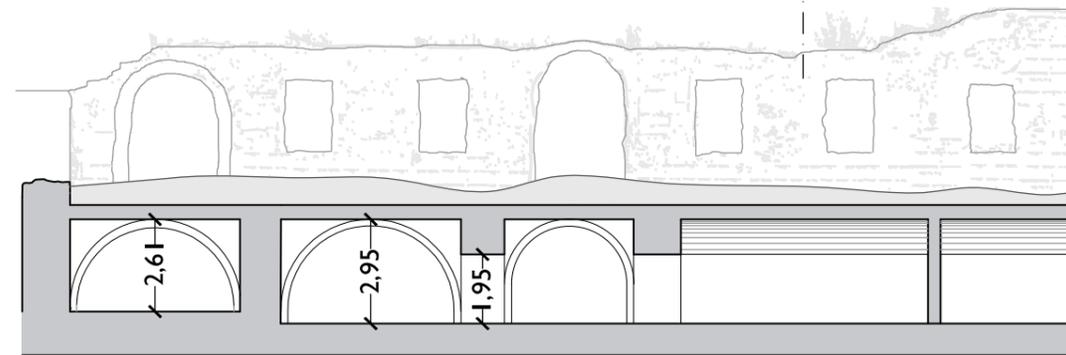


Planimetria di dettaglio dello stato attuale

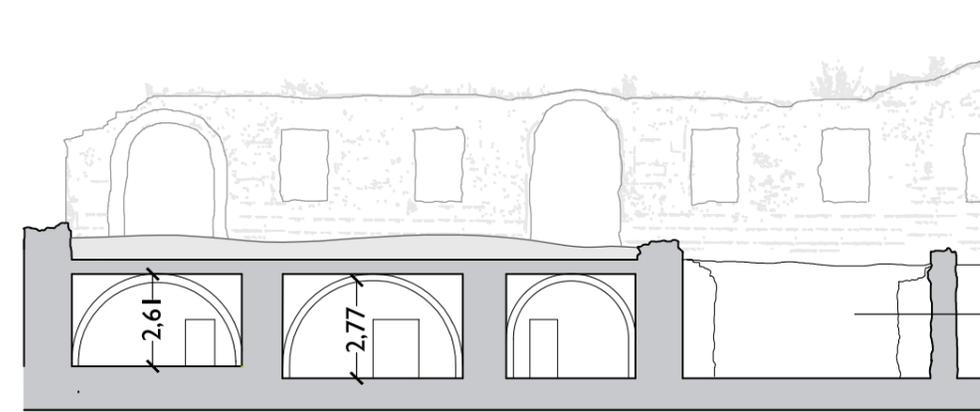
Scala 1: 200



Area interessata dall'intervento di recupero Scala 1: 1.000

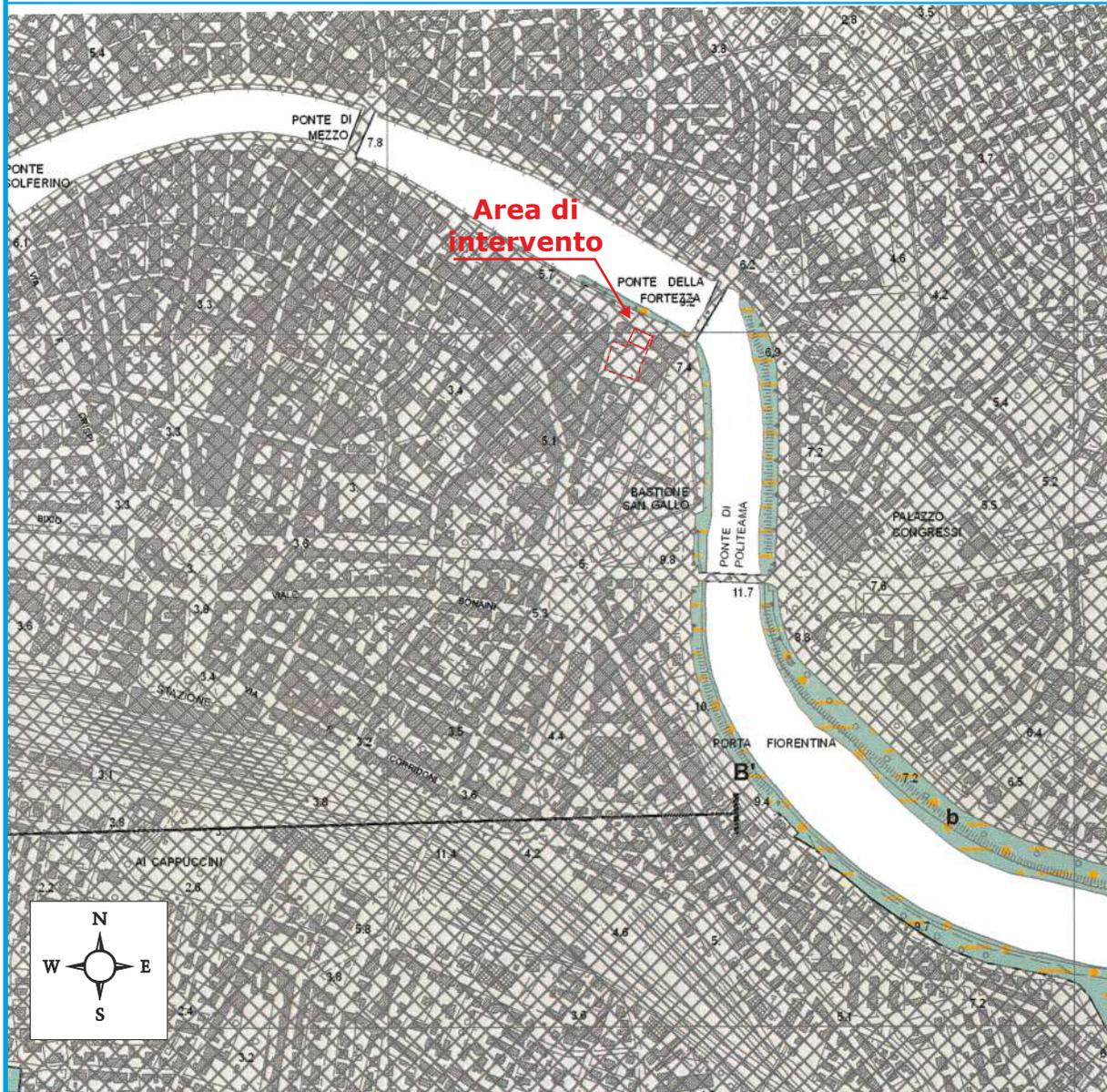


Sezione C-C stato attuale I:200



Sezione D-D stato attuale I:200

STATO ATTUALE: area quasi completamente distrutta (copertura assente)



SIMBOLI E ELEMENTI LINEARI

- Contatto stratigrafico
- H Traccia di sezione geologica

FORME FLUVIALI

- ≡≡≡ Traccia di alveo abbandonato

FORME EOLICHE

- Allineamento di dune

POZZI E SONDAGGI

- Trivellata (1,00 - 2,00 m di profondità)

FORME E STRUTTURE ANTROPICHE

- ▨ Struttura antropica che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno. (Vasta area urbanizzata)

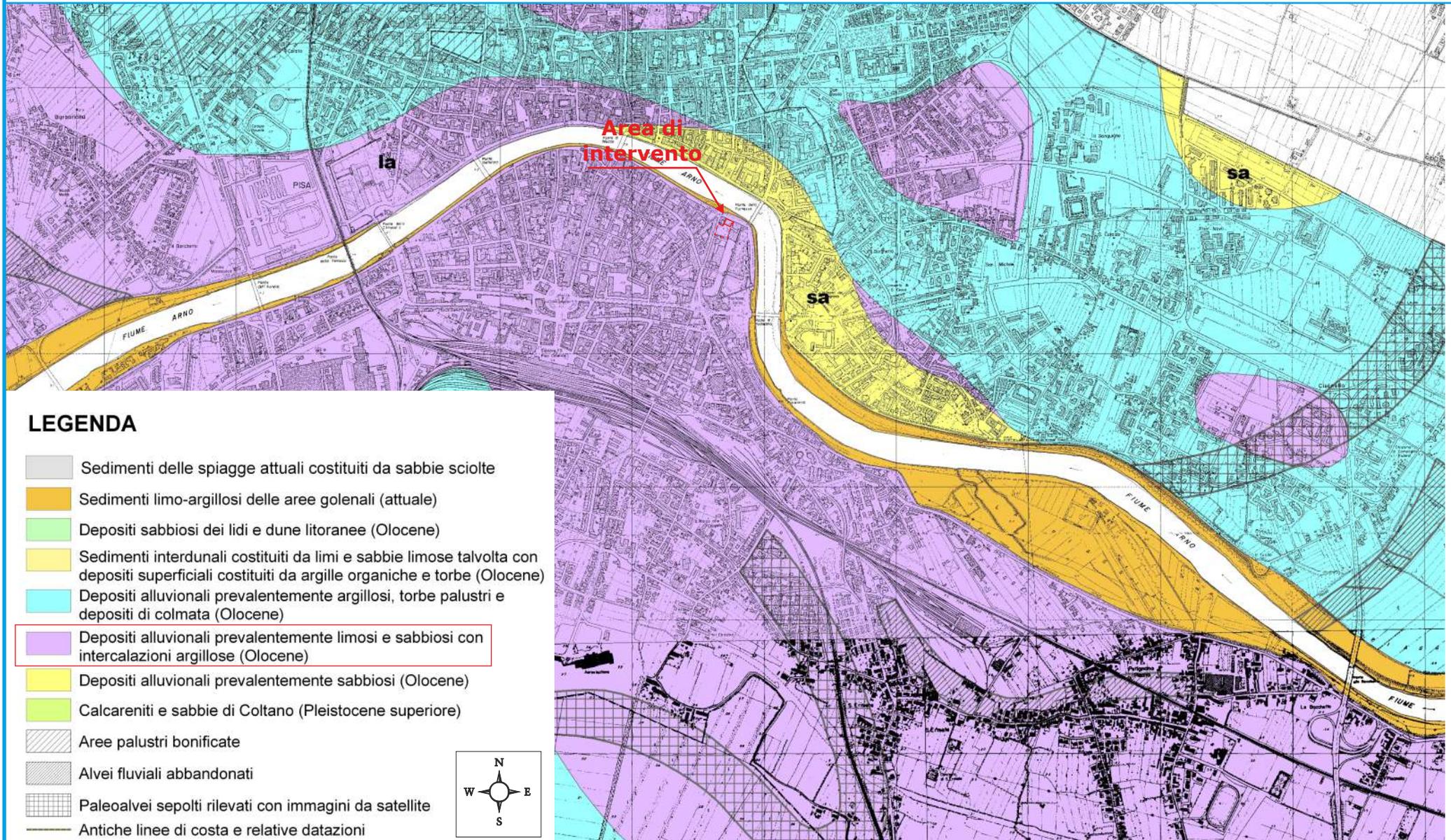
DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

DEPOSITI OLOCENICI

- Terreni di riporto, bonifica per colmata - h5
- ▨ Depositi alluvionali attuali - Sabbie e limi - b
- ▨ Depositi alluvionali attuali- Limi e argille prevalenti - b
- Depositi eolici - Sabbie di dune costiere - da
- ▨ Depositi eolici - Depositi interdunal, sabbie e limi - d1a
- ▨ Depositi palustri - e3a

DEPOSITI PLEISTOCENICI

- ▨ Depositi eolici - Sabbie di dune costiere (Sabbie eoliche dell'isola di Coltano) - db Pleistocene superiore



### r - Terreni di riporto

Si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche molto variabili in relazione al tipo di materiale deposto, quindi la coesione può variare molto in relazione al contenuto locale di argilla o limo e l'angolo di attrito interno al tenore di materiale sabbioso o ghiaioso grossolano. Sono terreni eterogenei rimaneggiati che in generale non offrono garanzie dal punto di vista della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da ritenere utile indicare come necessaria la loro asportazione in caso di costruzione di manufatti o di posizionare il piano di imposta delle fondazioni al di sotto di essi.

### s - Sabbie

Questi terreni sono costituiti prevalentemente da sabbie con intercalazioni di sabbie limose talvolta con Lamellibranchi. L'angolo di attrito interno delle sabbie da dati di prove penetrometriche statiche è risultato variabile tra un minimo di 29° e un massimo di 43°. Nei primi 10 metri di profondità la resistenza alla punta ( $R_p$ ) del penetrometro statico è generalmente maggiore di 45 kg/cmq con punte massime intorno a 170 kg/cmq. La coesione degli strati sabbiosi è da considerarsi nulla. Il peso di volume varia tra minimi intorno a 1,80 kg/dmc per le sabbie pure più addensate. La densità relativa ( $D_r$ ) varia tra minimi intorno al 52% e massimi che in rari casi possono raggiungere il 100%. Il colore di queste sabbie si presenta marrone chiaro-nocciola negli strati più superficiali e grigio in quelli più profondi.

### sl - Sabbie fini limose

Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose. Per quanto riguarda le sabbie, l'angolo di attrito interno  $\Phi$  varia generalmente tra 25° e 33°, mentre la coesione  $c$  è nulla. La densità relativa  $D_r$  è compresa tra 10 e 50% e il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  varia tra circa 0,013 e 0,040 kg/cmq.

### al - Argille e limi

Questi terreni sono costituiti da limi ed argille di colore bruno-giallastro. La componente limosa è generalmente preponderante su quella argillosa. La  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente tra 9 e 15 kg/cmq. La coesione è compresa tra 0,4 e 0,7 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  assume valori tra 0,21 e 0,34 cmq/t con valori medi intorno a 0,25 cmq/t. In base a prove edometriche effettuate su campioni indisturbati prelevati negli orizzonti argillosi e limo-argillosi, è risultato che gli strati superficiali di questi terreni sono generalmente preconsolidati. Presentano inoltre valori generalmente elevati dell'indice di consistenza e valori del peso di volume compresi tra 1,7 e 1,9 kg/cmq.

### ap - Argille grigio azzurre plastiche

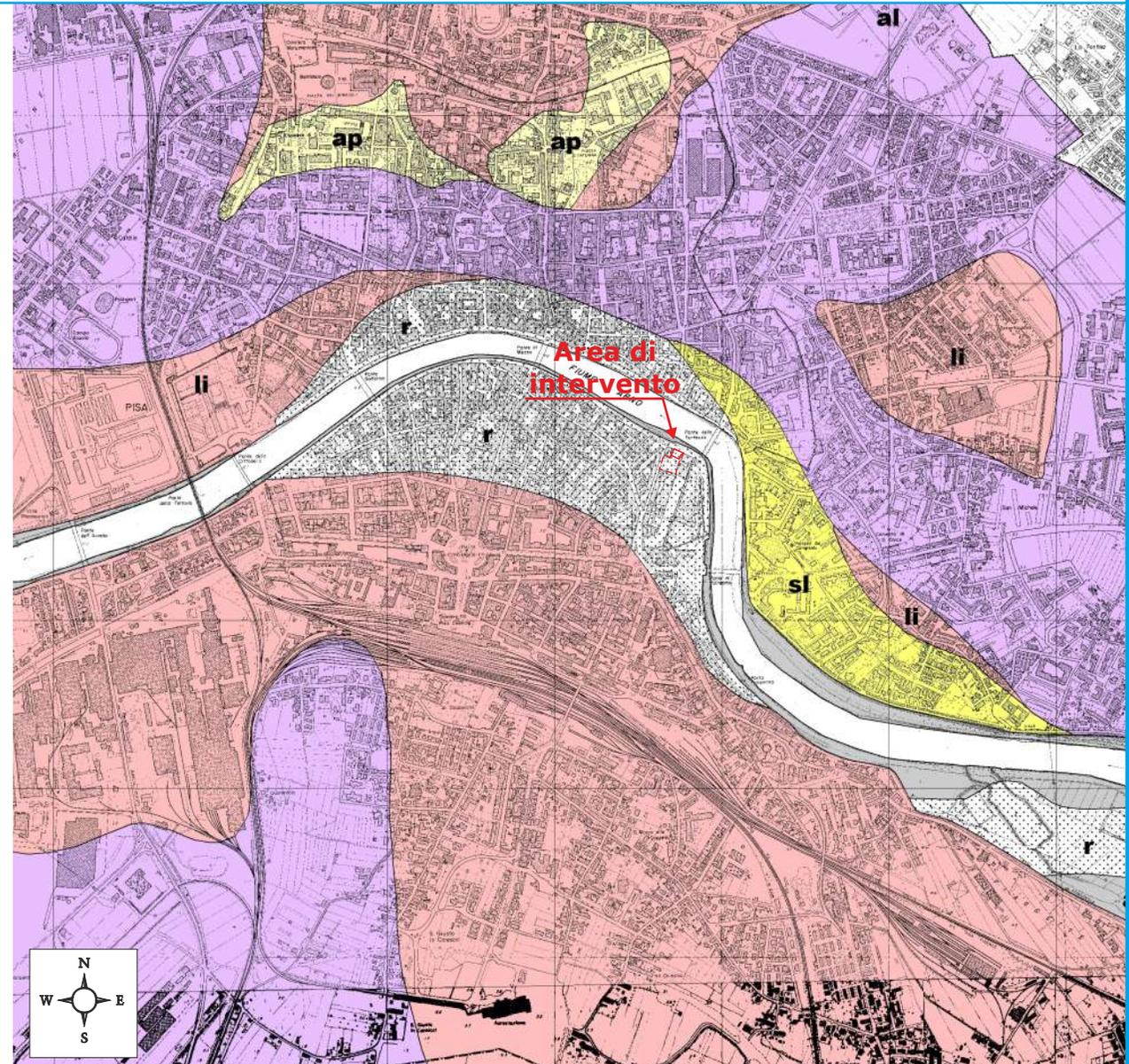
Queste argille, caratterizzate da elevate plasticità ed umidità naturale, contengono al loro interno lenti sabbiose più o meno spesse. Sono normalmente consolidate e quindi più suscettibili ai cedimenti, in quanto, dai dati di prove edometriche su campioni indisturbati, la compressibilità è risultata molto elevata. Il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  è compreso tra 0,026 e 0,100 cmq/kg i cui valori più frequenti sono di circa 0,50 cmq/kg. Spesso all'interno di queste argille si trovano degli strati torbosi la cui frequenza e spessore ne influenzano negativamente il comportamento meccanico. Le argille grigie plastiche presentano valori dell'indice di consistenza e del peso di volume (variabile tra 1,6 e 1,7 kg/cmq) marcatamente più bassi dei terreni sovrastanti. La  $R_p$  assume valori genericamente poco elevati compresi tra 1 e 9 kg/cmq. Anche la coesione è bassa ed è variabile tra 0,1 e 0,35 kg/cmq.

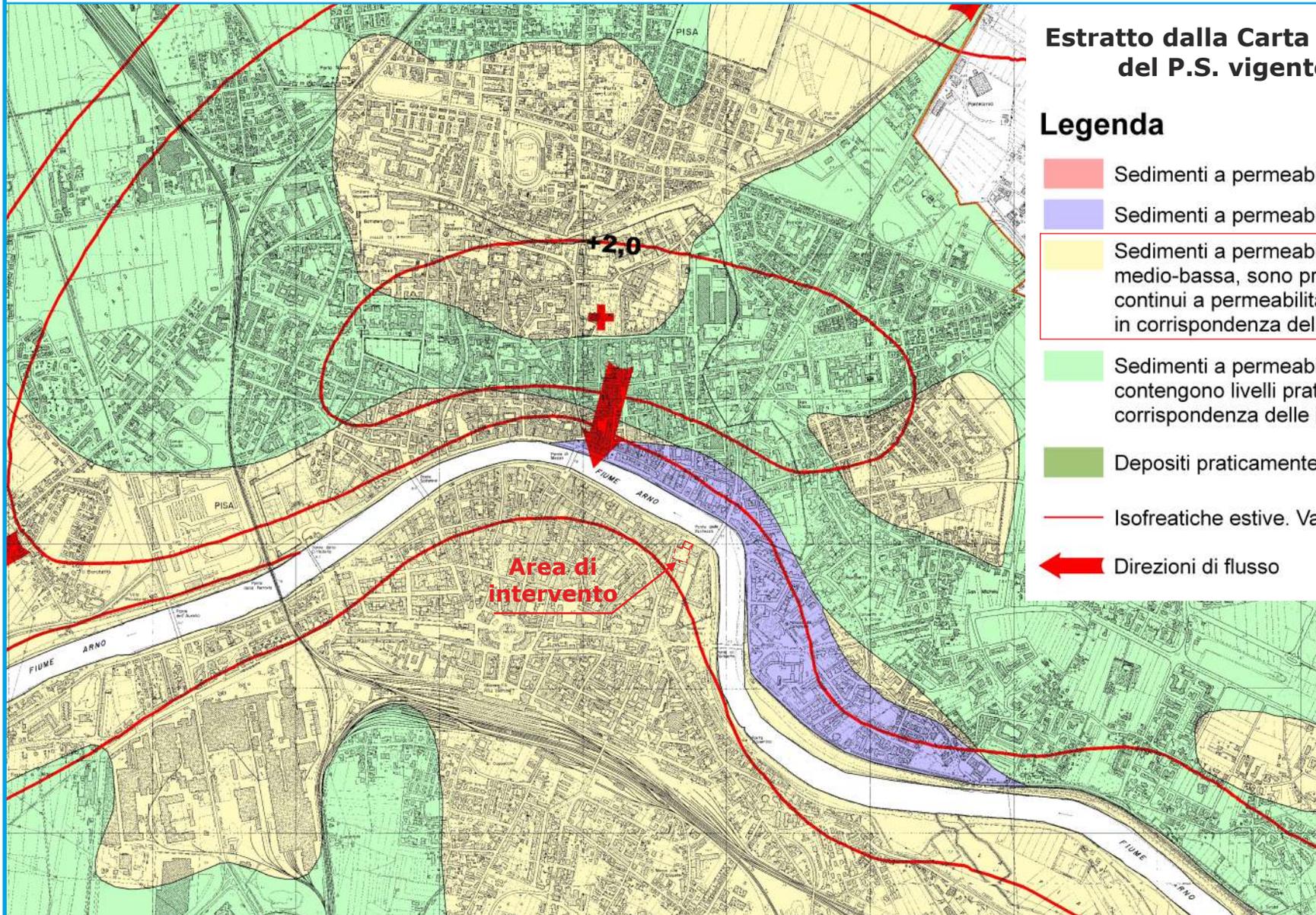
### li - Terreni prevalentemente limosi

Si tratta di terreni prevalentemente limosi di colore nocciola con intercalazioni argillose e talvolta sabbiose. Di conseguenza i parametri geotecnici di questi terreni sono variabili in relazione al tenore di limo, argilla o sabbia. In via indicativa per quanto riguarda la frazione limo-argillosa si è riscontrato che la  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente intorno a valori compresi tra 11 e 20 kg/cmq. La coesione varia tra 0,40 e 0,85 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  è compreso tra 12 e 25 cmq/t. L'angolo di attrito interno si mantiene attorno a valori generalmente bassi.

### a - Terreni argillosi e limosi delle golene

Sedimenti limo-argillosi e sabbiosi delle aree golenali di recente deposizione caratterizzati da proprietà meccaniche molto scadenti.

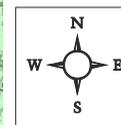




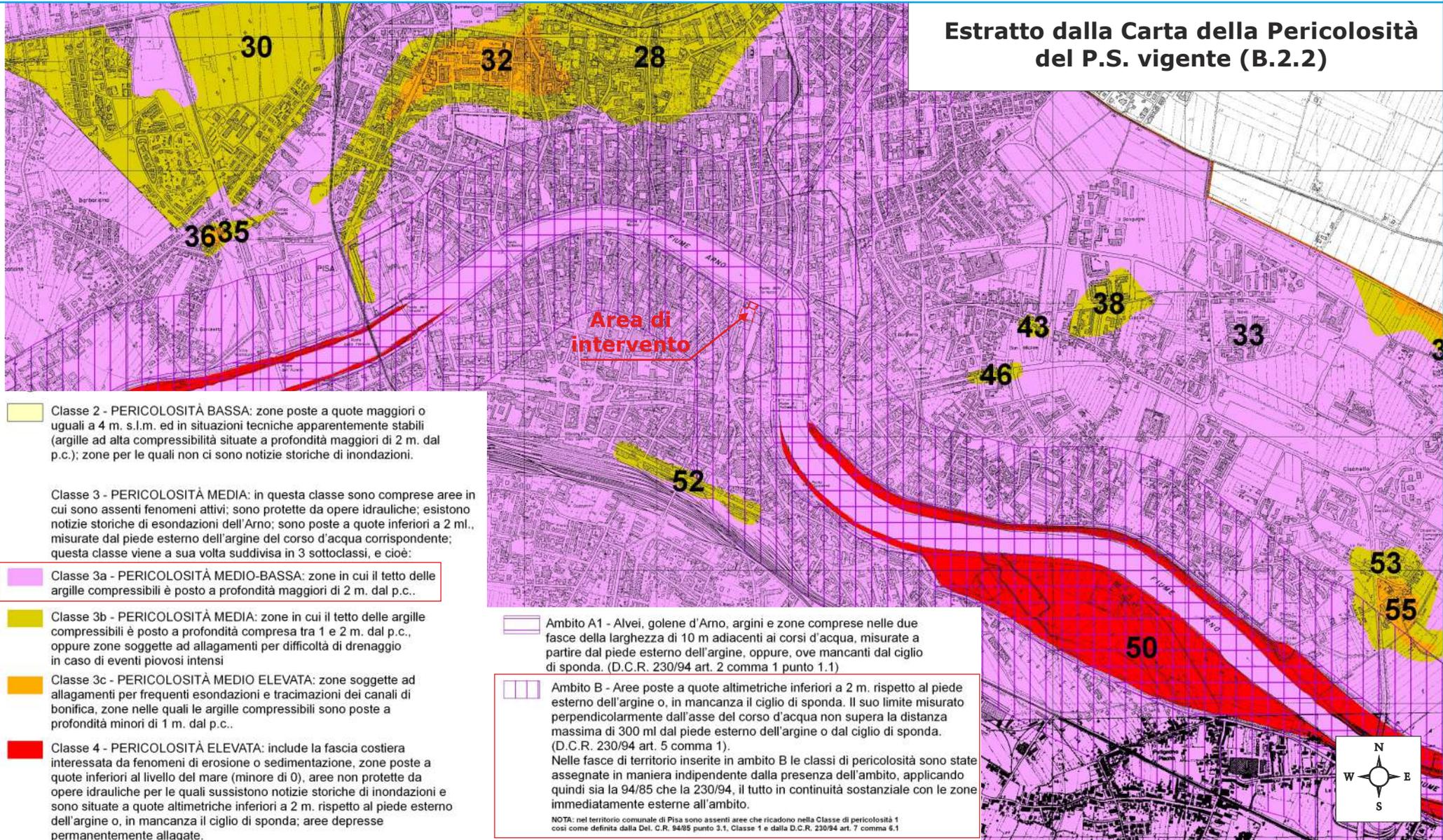
## Estratto dalla Carta Idrogeologica del P.S. vigente (B.2.6)

### Legenda

-  Sedimenti a permeabilità primaria medio elevata
-  Sedimenti a permeabilità primaria media
-  Sedimenti a permeabilità primaria generalmente medio-bassa, sono presenti livelli più o meno continui a permeabilità leggermente maggiore in corrispondenza delle intercalazioni sabbiose
-  Sedimenti a permeabilità primaria molto bassa, contengono livelli praticamente impermeabili in corrispondenza delle intercalazioni torbose
-  Depositi praticamente impermeabili
-  Isofreatiche estive. Valori riferiti al livello del mare
-  Direzioni di flusso

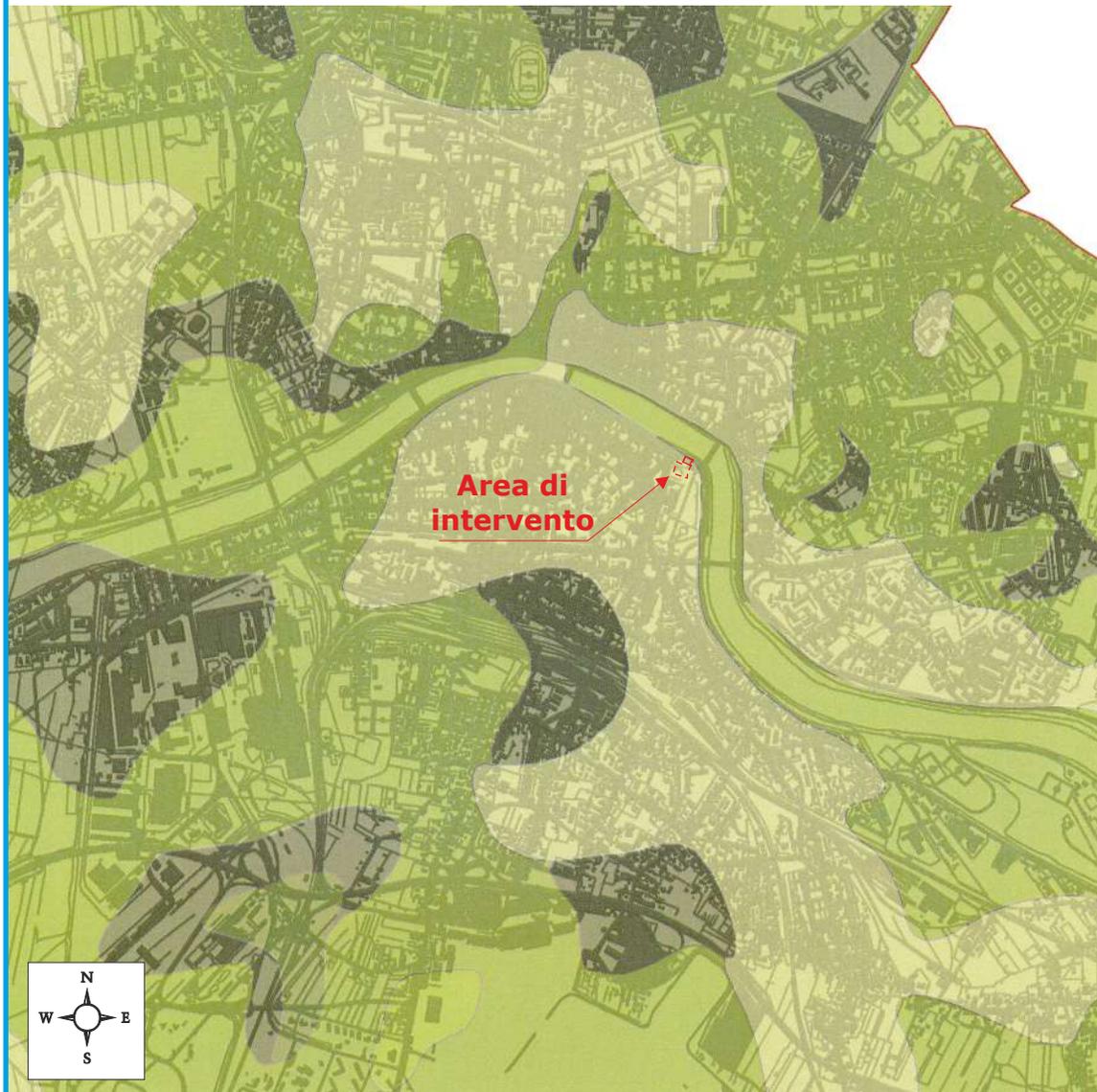


Scala 1: 20.000



Scala 1: 30.000

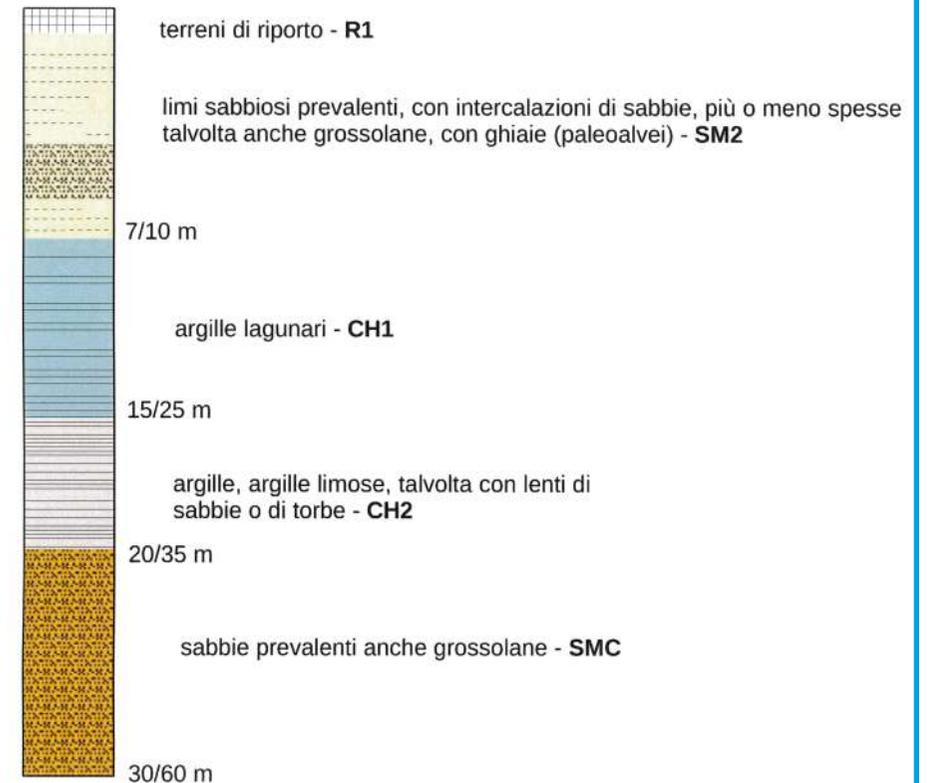
Marzo 2022



### Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)



### Zona 5



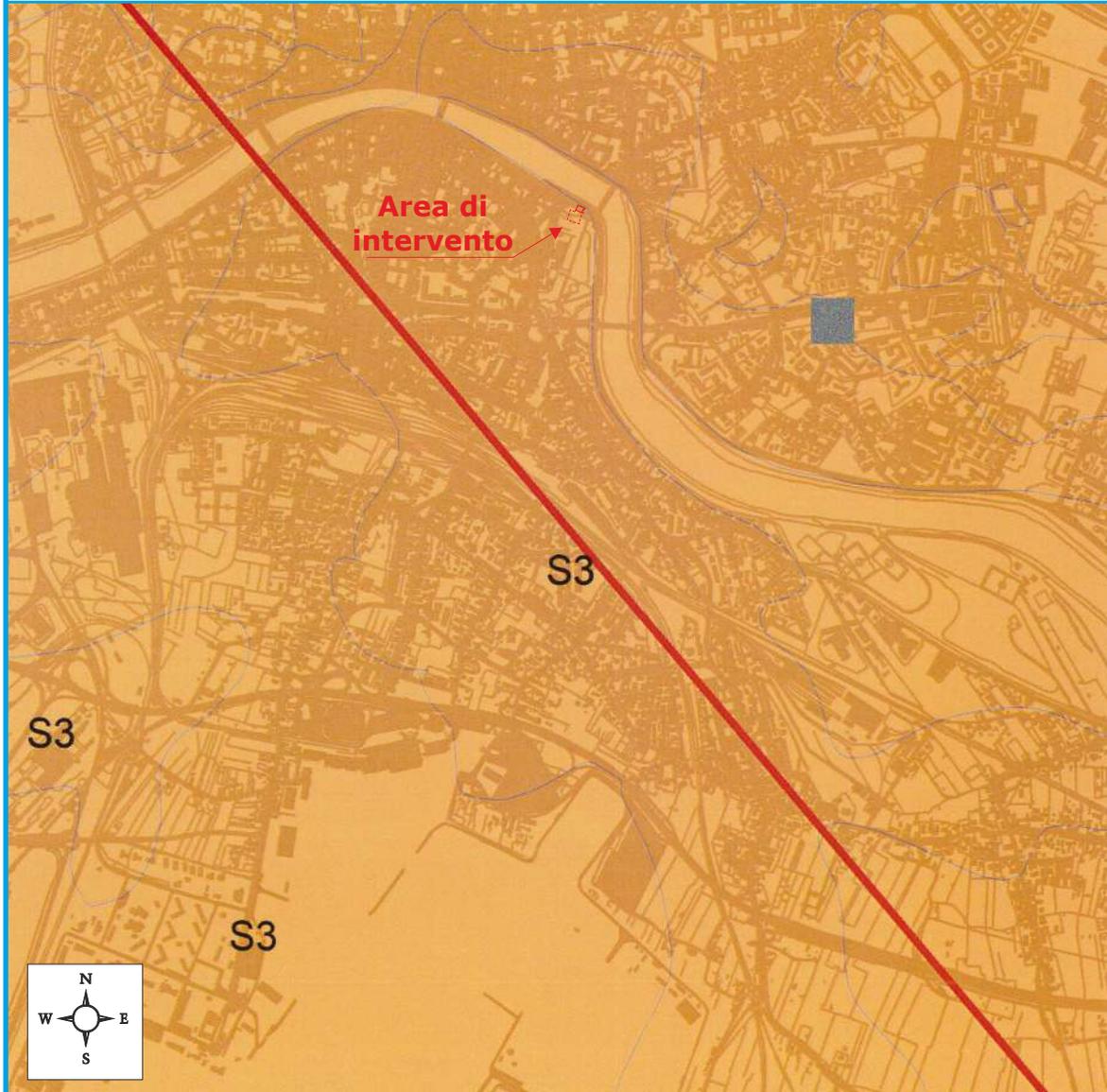
«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

Scala 1: 30.000

Marzo 2022



Estratto dalla Carta delle Pericolosità Sismica adeguamento del RU Del. C.C. n.3

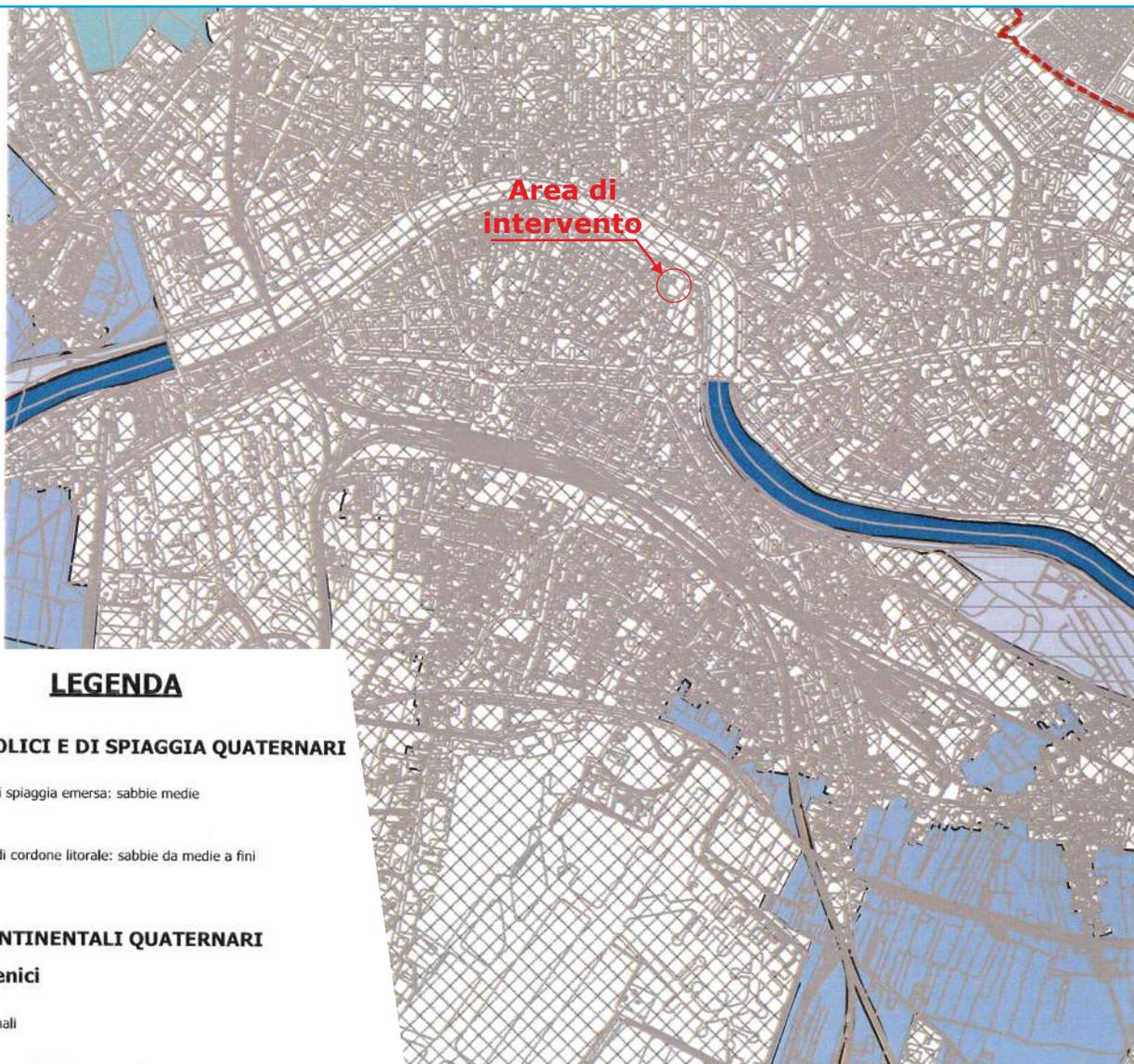
— Faglie capaci (ITHACA)

■ Pericolosità sismica locale elevata (S3)

## Carta Geologica - Piano Strutturale Intercomunale

Marzo 2022

Scala 1:25.000



### LEGENDA

#### DEPOSITI EOLICI E DI SPIAGGIA QUATERNARI

- Depositi di spiaggia emersa: sabbie medie
- Deposito di cordone litorale: sabbie da medie a fini

#### DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

##### Depositi olocenici

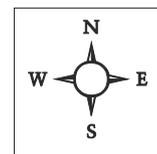
- Aree golenali
- Depositi presenti nelle zone morfologicamente depresse interdunali: sabbie da medie a fini talora con limi
- Depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi
- Depositi alluvionali attuali prevalentemente sabbiosi e limosi
- Depositi alluvionali, palustri e di colmata prevalentemente argillosi (Olocene)

##### Depositi pleistocenici

- QVC- sabbie medio-fini limose di colore giallo screziate aranzione con presenza di piccoli noduli calcarei. Sabbie e limi di Vicarello (Pleistocene Superiore)

#### Forme e strutture antropiche

- Terreni di riporto, bonifica per colmata
- Discariche per inerti
- Territorio urbanizzato che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno
- Lago artificiale
- Lago artificiale di cava



## Carta Geomorfologica - Piano Strutturale Intercomunale

Marzo 2022

Scala 1:25.000



### FORME GEOMORFOLOGICHE LINEARI

- Traccia di paleovalve
- Argine fluviale
- Orlo di terrazzo
- Cresta di cordone dunale
- Estensione delle aree paludose anteriori all'anno 1880 (P. Stagno, P. Maggiore)
- Scarpata antropica generica
- Scarpata antropica fluviale
- Tratto di scarpata fluviale/argine interessato da locali cedimenti
- Corpo d'acqua principale
- Reticolo idrografico secondario

### FORME ANTROPICHE POLIGONALI

- Struttura antropica che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno
- Lago artificiale
- Lago artificiale di cava
- Cava esaurita non inserita nel PAERP (aut. fino al 2023)
- Discarica

### FORME GEOMORFOLOGICHE DI SEDIMENTAZIONE FLUVIALE Pianura alluvionale (OLOCENE)

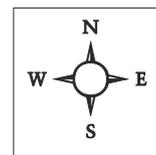
- Depositi a tessitura mista (limi, argille e sabbie)
- Stagno, acquitrino, zona palustre
- Area golenale

### Paleorilievo della pianura alluvionale (PLEISTOCENE)

- Depositi prevalentemente sabbiosi

### FORME GEOMORFOLOGICHE DI ACCUMULO COSTIERO A SEDIMENTAZIONE EOLICA E MARINA

- Depressione dunale (sabbie)
- Cordone litoraneo sormontato da dune allo stato naturale (sabbie prevalenti)
- Cordone litoraneo allo stato naturale (sabbie prevalenti)
- Cordone litoraneo antropizzato (sabbie prevalenti)
- Spiaggia attuale

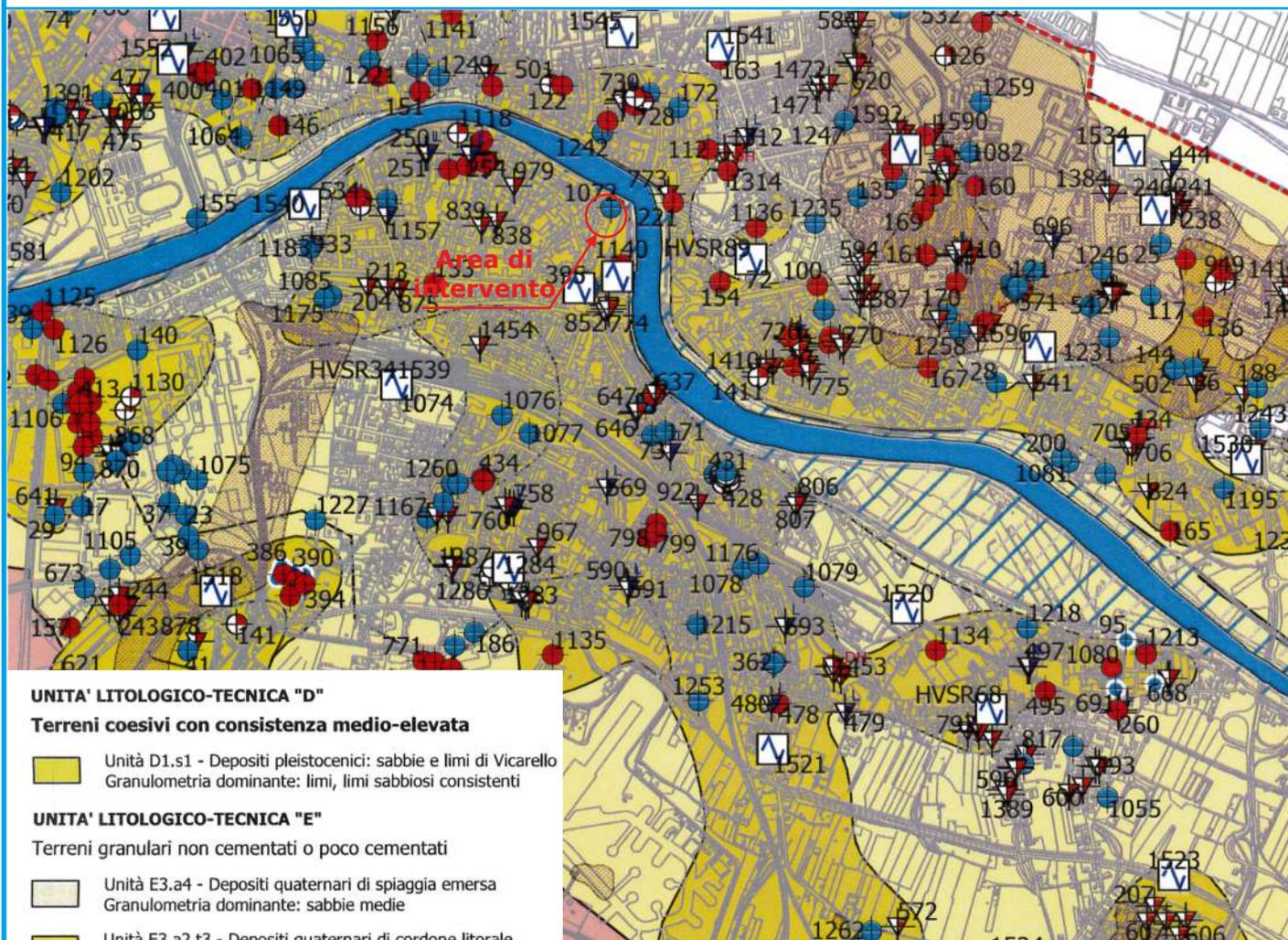


RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R -  
Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre  
2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

## Carta Litotecnica - Piano Strutturale Intercomunale

Marzo 2022

Scala 1:25.000



### UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "D"

#### Terreni coesivi con consistenza medio-elevata

Unità D1.s1 - Depositi pleistocenici: sabbie e limi di Vicarello  
Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi consistenti

### UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "E"

#### Terreni granulari non cementati o poco cementati

Unità E3.a4 - Depositi quaternari di spiaggia emersa  
Granulometria dominante: sabbie medie

Unità E3.a2.t3 - Depositi quaternari di cordone litorale  
Granulometria dominante: sabbie da medie a fini

Unità E3.a1/2.t3 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: sabbie limose

### UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "F"

#### Terreni coesivi a consistenza bassa, limitata o nulla

Unità F1.s3/s4.t2 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi e argille limose da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa

Unità F2.s3/s4.t2 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: limi argillosi e argille moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa

Unità F2.s3/s4 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: limi argillosi e argille da moderatamente consistenti a poco consistenti

Unità F2.s5/s6.t4 - Depositi quaternari palustri  
Granulometria dominante: argille e limi argillosi da poco consistenti a privi di consistenza con presenza di materiale torboso

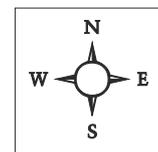
Depositi di golena

Terreni eterogenei al fondo di laghi artificiali e/o cave

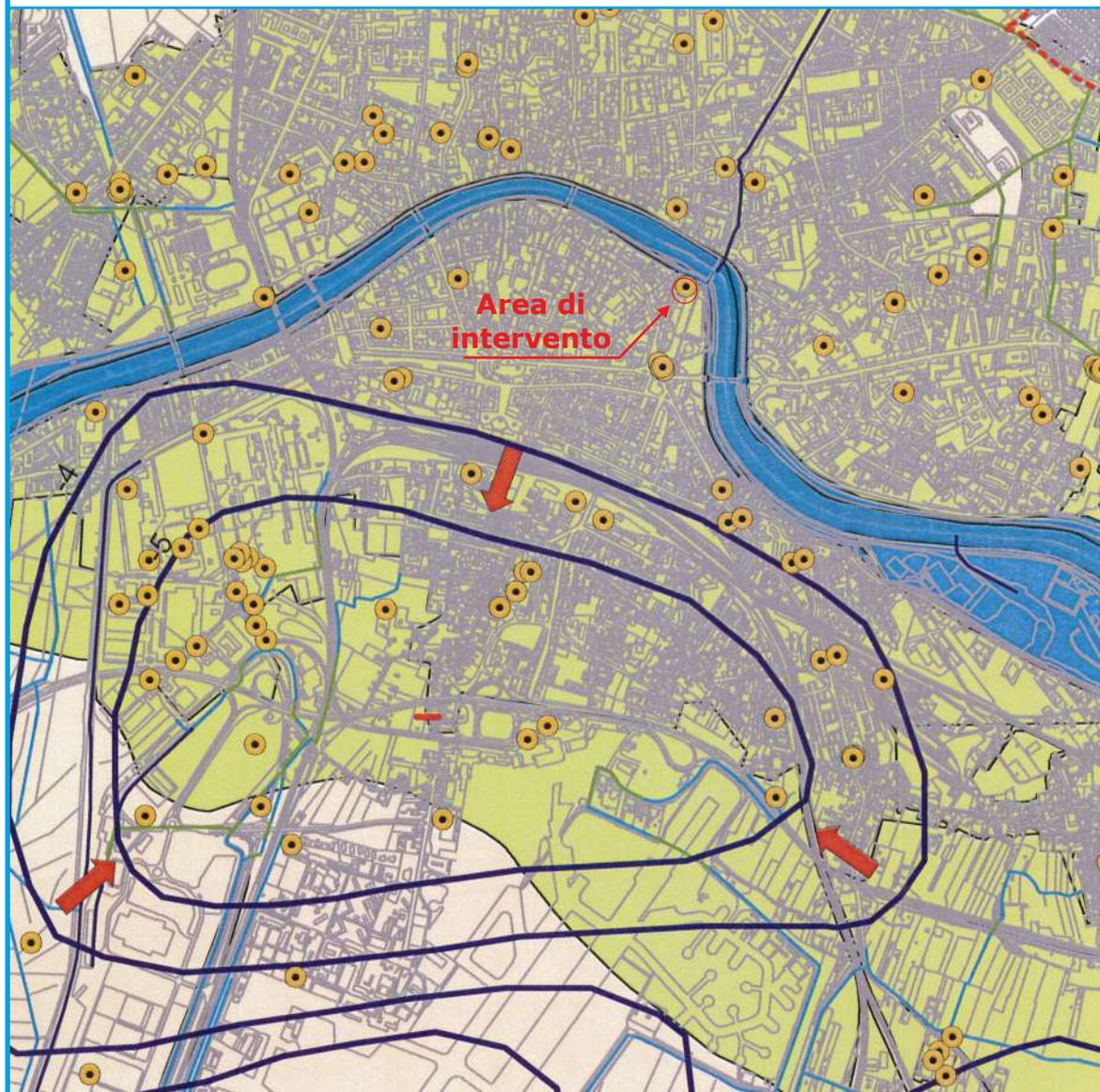
Terreni di riporto

Aree soggette a subsidenza (abbassamento > 3 mm/anno)  
Fonte Minist. Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Aree soggette a potenziali fenomeni di liquefazione



Scala 1:25.000



#### CLASSI DI PERMEABILITA'

-  Permeabilità bassa
-  Permeabilità media
-  Permeabilità alta
-  Pozzo potabile
-  Zona di rispetto 200 m (art.94, c.6 D.Lgs.152/2006 e s.m.i.)
-  Pozzo (altri usi)
-  Idrovora
-  Linee isopiezometriche (m s.l.m.) - 1° falda significativa (Agosto 1994)

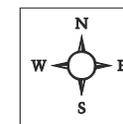
#### Punti di accumulo

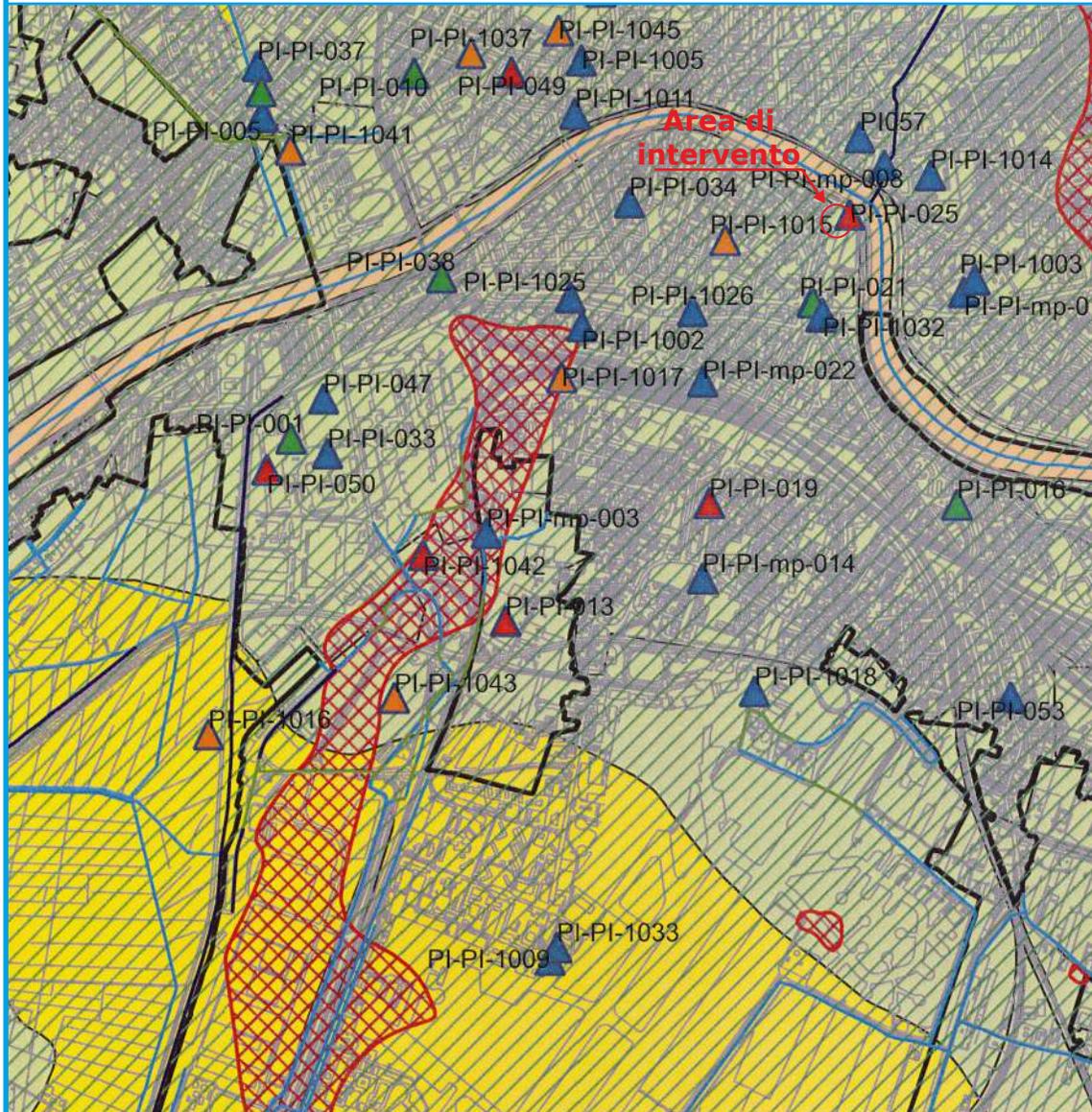
-  Flusso convergente
-  Flusso divergente
-  Direzione di flusso

-  Deposito palustre
-  Lago artificiale
-  Lago artificiale di cava
-  Discariche per inerti

#### RETICOLO IDROGRAFICO DCR 20/2019

-  SI
-  NO (ALTRO RETICOLO)
-  TOMBATO





**CLASSI DI VULNERABILITA'**

- Vulnerabilità bassa
- Vulnerabilità media
- Vulnerabilità alta
- Aree soggette a subsidenza
- Aree a rischio

**INTRUSIONE SALINA (anno 2018)**

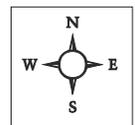
- IS1 - Intrusione salina accertata
- IS2 - Area suscettibile di intrusione
- IS3 - Assenza di intrusione salina

**BANCA DATI DEI SITI INTERESSATI DA PROCEDIMENTI DI BONIFICA (ARPAT)**



**RETICOLO IDROGRAFICO DCR 20/2019**

- SI
- NO (ALTRO RETICOLO)
- TOMBATO



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

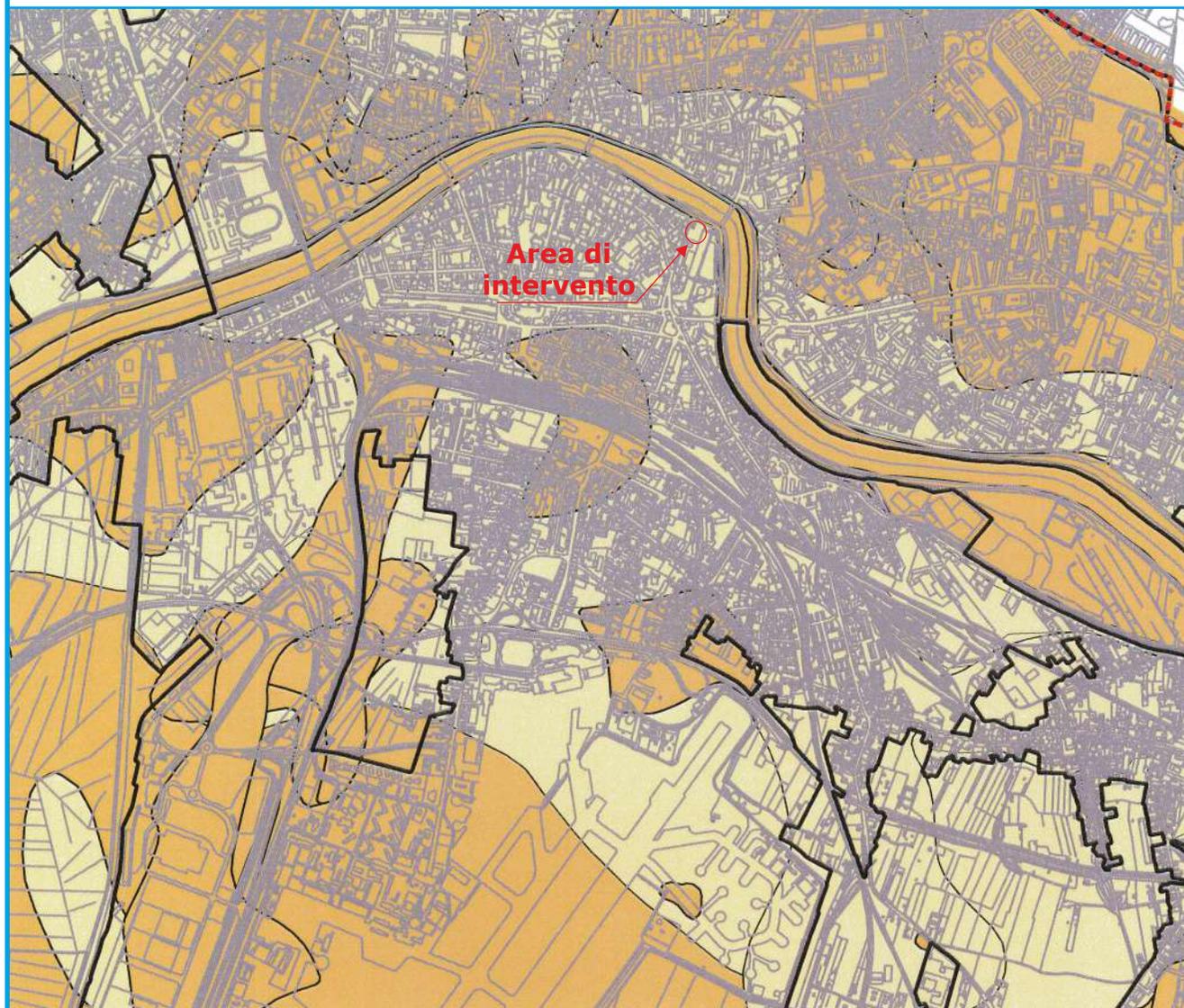
RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

## Estratto dalla Carta della Pericolosità Geologica del Piano Strutturale Intercomunale

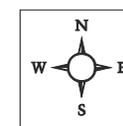
Scala 1:25.000

Marzo 2022



### CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

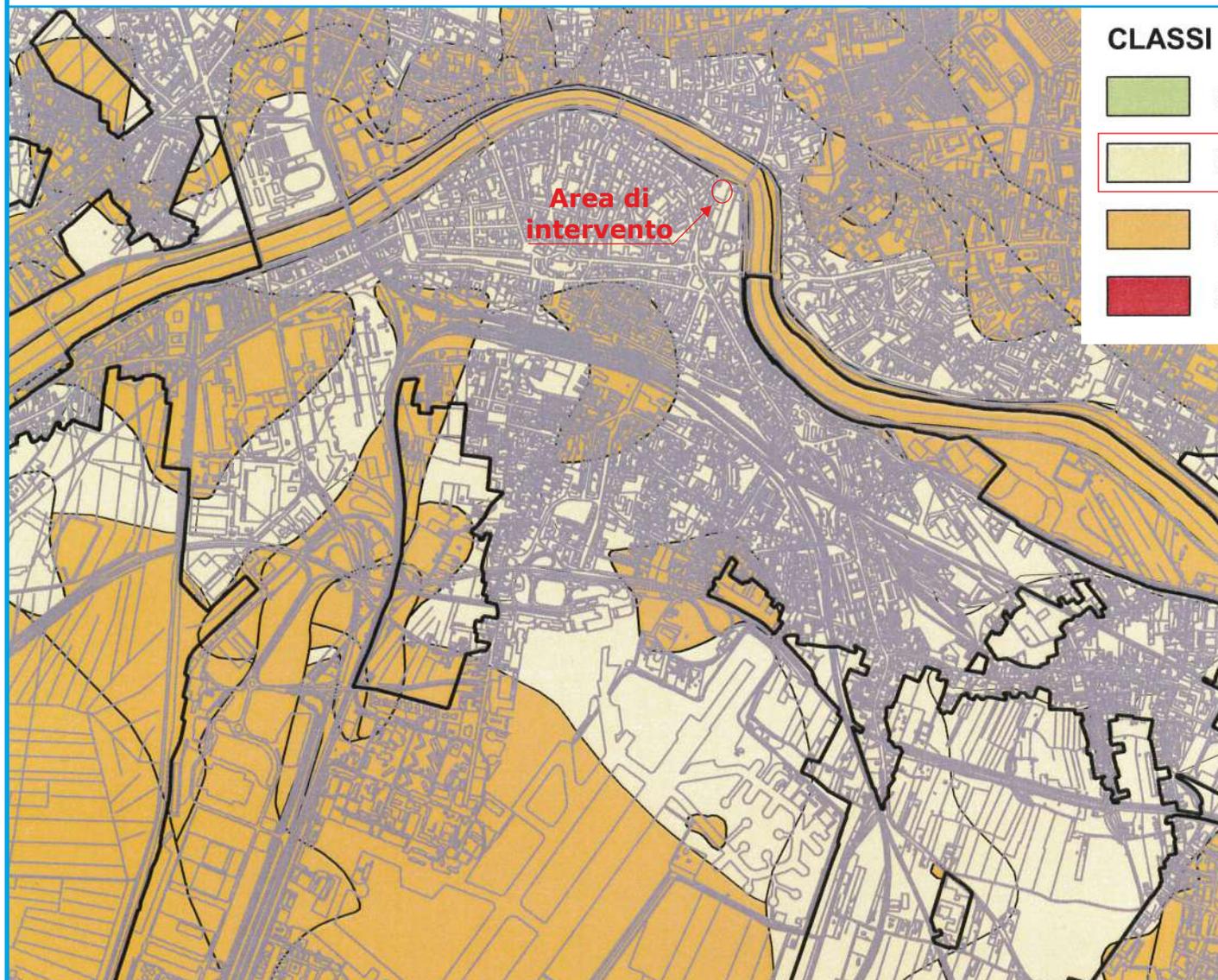
-  G1 - Pericolosità geologica bassa
-  G2 - Pericolosità geologica media
-  G3 - Pericolosità geologica elevata
-  G4 - Pericolosità geologica molto elevata



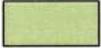
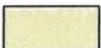
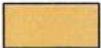
Estratto dalla Carta della Pericolosità  
Sismica del Piano Strutturale Intercomunale

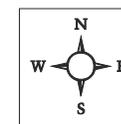
Scala 1:25.000

Marzo 2022



CLASSI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

-  S1 - Pericolosità sismica locale bassa
-  S2 - Pericolosità sismica locale media
-  S3 - Pericolosità sismica locale elevata
-  S4 - Pericolosità sismica locale molto elevata



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

## Estratto dalla Carta della Pericolosità Idraulica TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

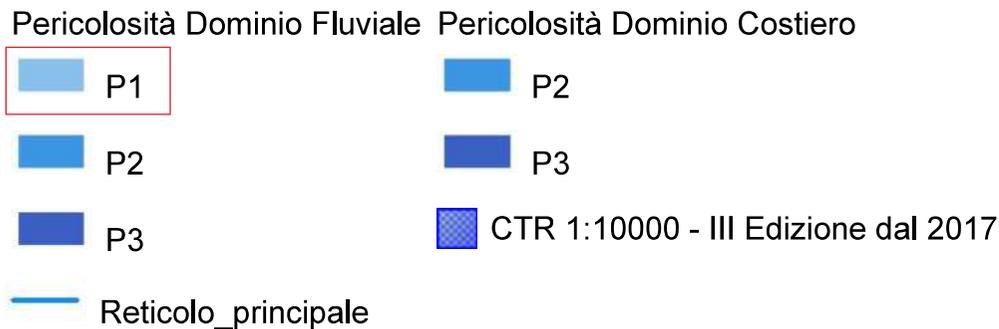
Scala 1: 10.000

Marzo 2022

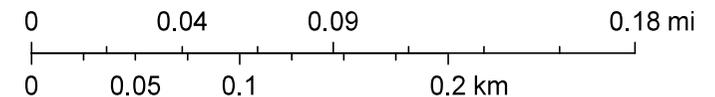
-  Confini Comuni di Pisa e Cascina
-  Reticolo Idrografico ai sensi della L.R. n.79/2012
- Perimetrazioni ai sensi del DPGR 53R/2011
  -  Aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (I4) - TR<=30 anni
  -  Aree a Pericolosità Idraulica Elevata (I3) - 30<TR<200 anni

**Nella carta le colorazioni sono invertite, aspetto confermato dagli uffici del Comune di Pisa**





1:5,000



Esri, Intermap, NASA, NGA, USGS, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Esri Community Maps Contributors, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

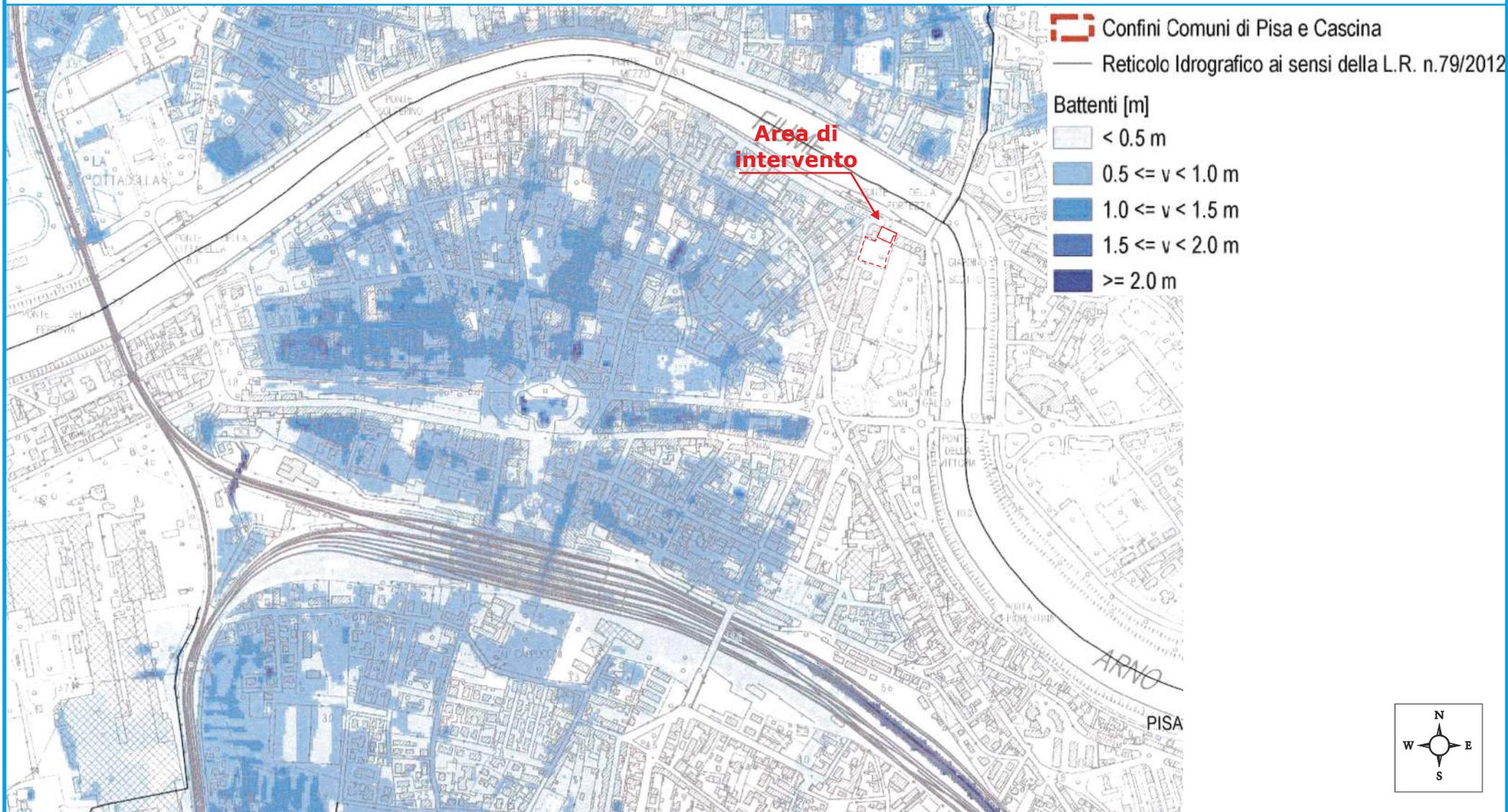
RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

## Estratto dalla Carta del battente idraulico TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale

Scala 1: 10.000

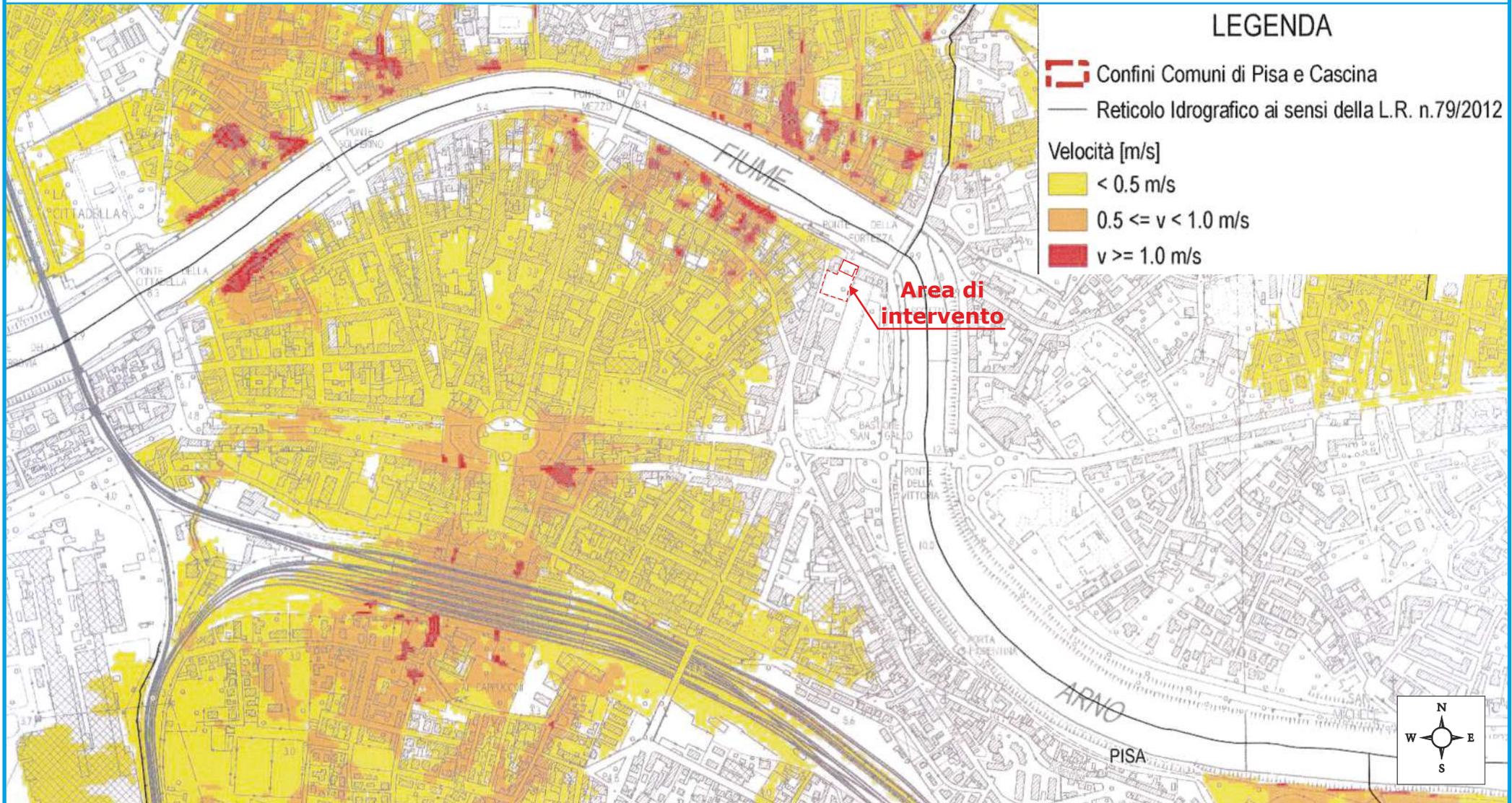
Marzo 2022



Estratto dalla Carta delle velocità massime  
TR 200 anni del Piano Strutturale Intercomunale

Scala 1: 10.000

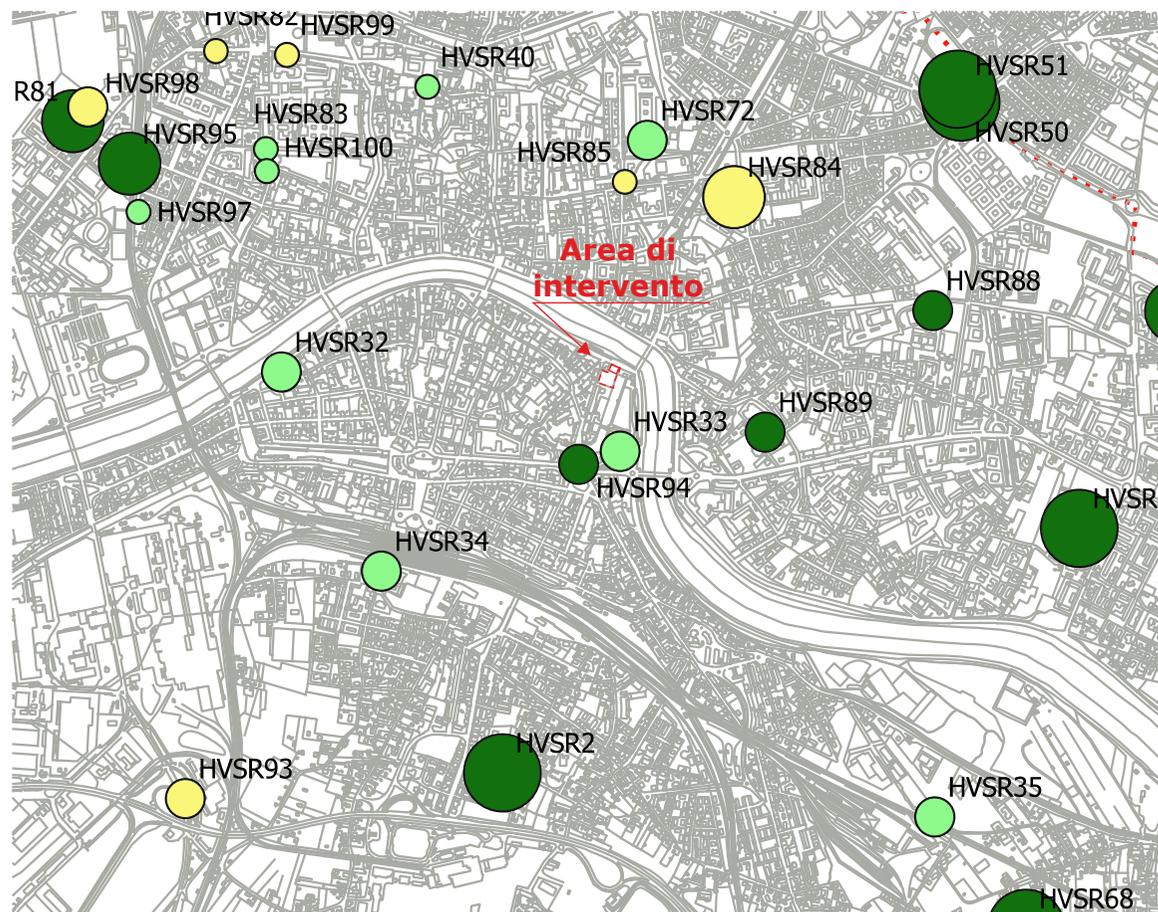
Marzo 2022



Estratto dalla Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi (MS1)

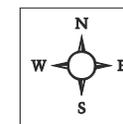
Scala 1: 10.000

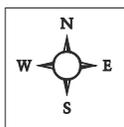
Marzo 2022



f0 (Hz) (scala di colori)	
	0.1 <= f0 < 0.5 (verde scuro)
	0.5 <= f0 < 1.0 (verde chiaro)
	1.0 <= f0 < 2.5 (giallo)
	2.5 <= f0 < 5.0 (arancio)
	5.0 <= f0 < 7.5 (marrone)
	7.5 <= f0 < 10.0 (rosso)
	10 <= f0 < 15 (viola)

A0 (dimensioni crescenti)	
	0.1 <= A0 < 2.0
	2.0 <= A0 < 3.0
	3.0 <= A0 < 5.0
	A0 > 5.0

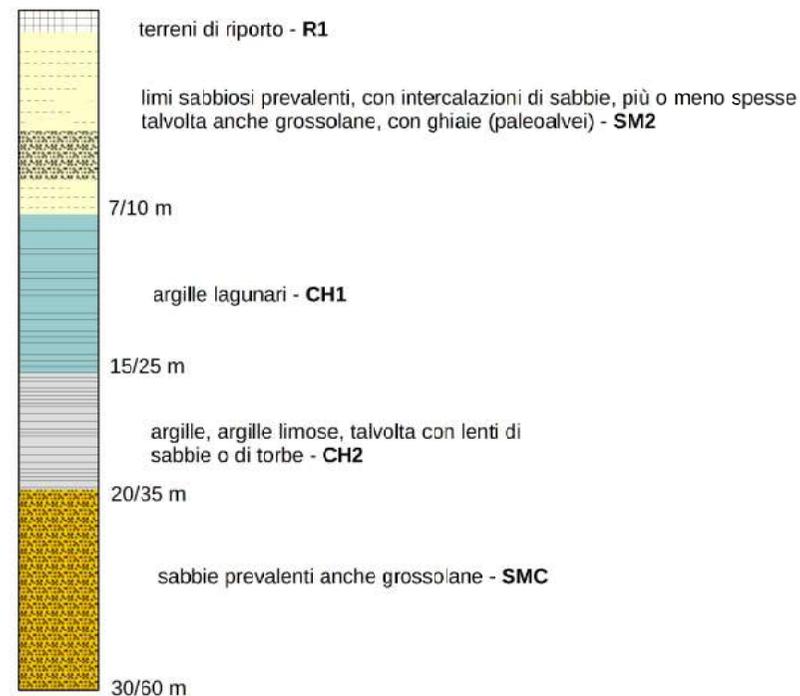




### Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)



#### Zona 5



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozzi  
GEOLOGO

## Verifica della subsidenza locale con l'interferometria radar (configurazione discendente)

Marzo 2022



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozzi  
GEOLOGO

## Verifica della subsidenza locale con l'interferometria radar (configurazione ascendente)

Marzo 2022



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, N. 5/R -  
Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

Ubicazione delle indagini eseguite:  
CPT - MASW e HVSR

Marzo 2022

### Piano di Recupero

Scrivi una descrizione per la tua mappa.

Legenda



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

**Planimetria dello stato di progetto con l'ubicazione delle indagini eseguite: CPT - MASW e HVSR**

MAGNOLIA come all'u. fiumi e fossi

LUNGARNO GALILEI

ACCESSO CICLO-PEDONALE DA LUNGARNO GALILEI

Edificio all'angolo con via Bobio

Altra proprietà

Altra proprietà

Muro di confine altra proprietà

percorso ciclabile

percorso pedonale esistente

fontana

calluna vulgaris

PRATO CARRABILE

calluna vulgaris

spessore cm.55/60 h=12.50

illuminazione del muro del vallone

GRADONI

RAMPA

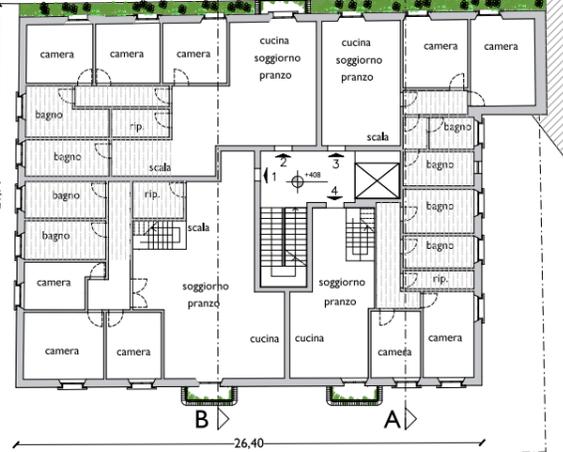
accesso al piano terra del palazzo

accesso ordinario anche da direzione strada

studio open-space

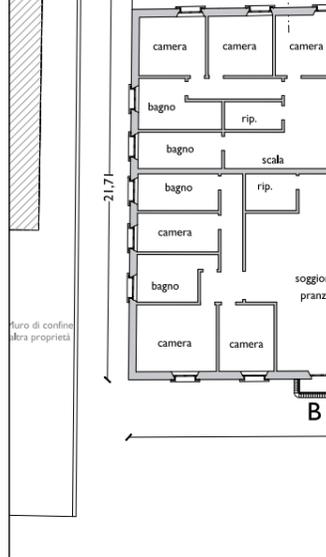
LUNGARNO GALILEI 29.42

B A



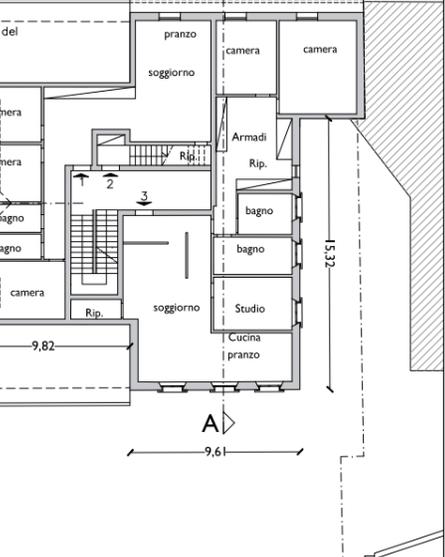
LUNGARNO GALILEI 29.42

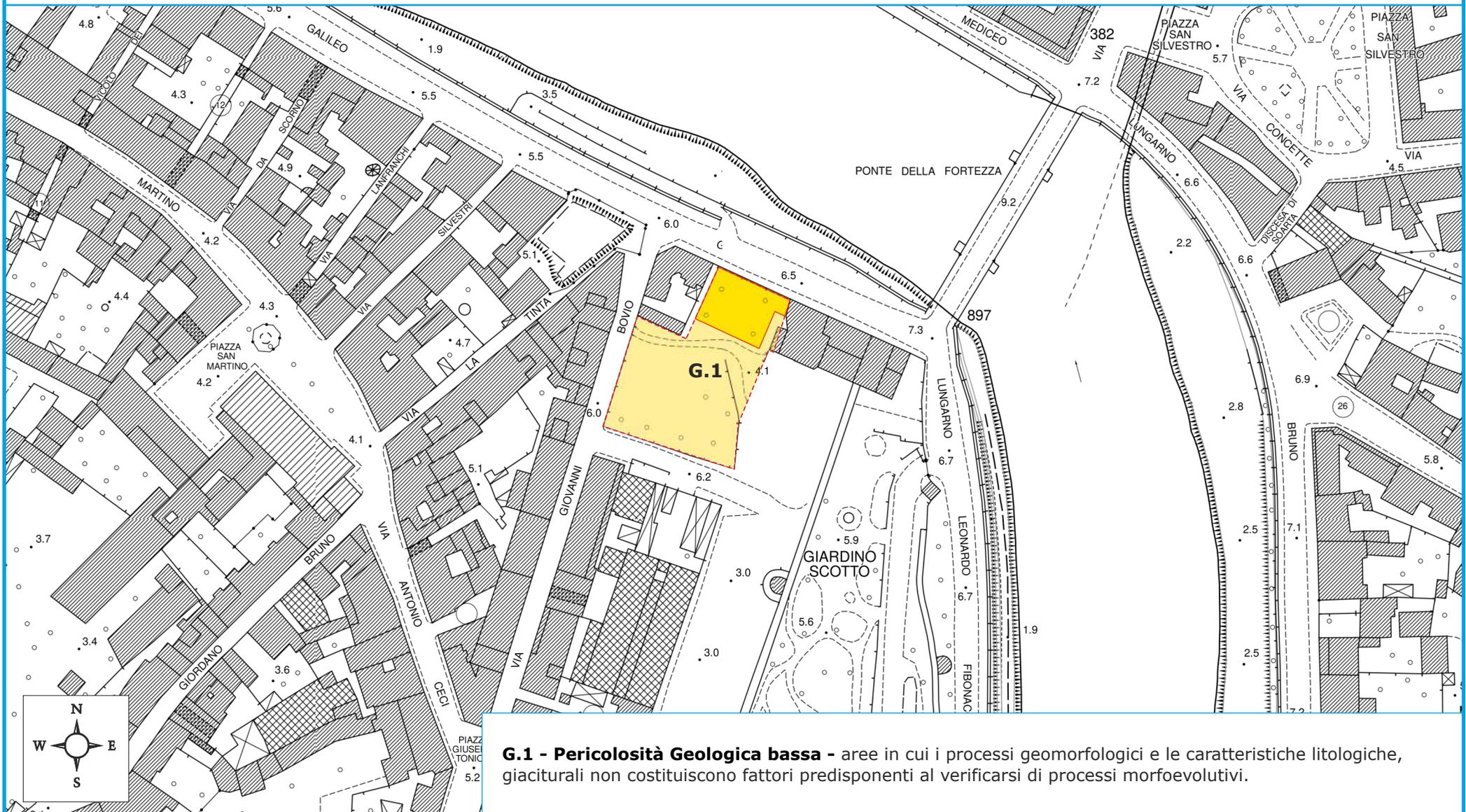
B A



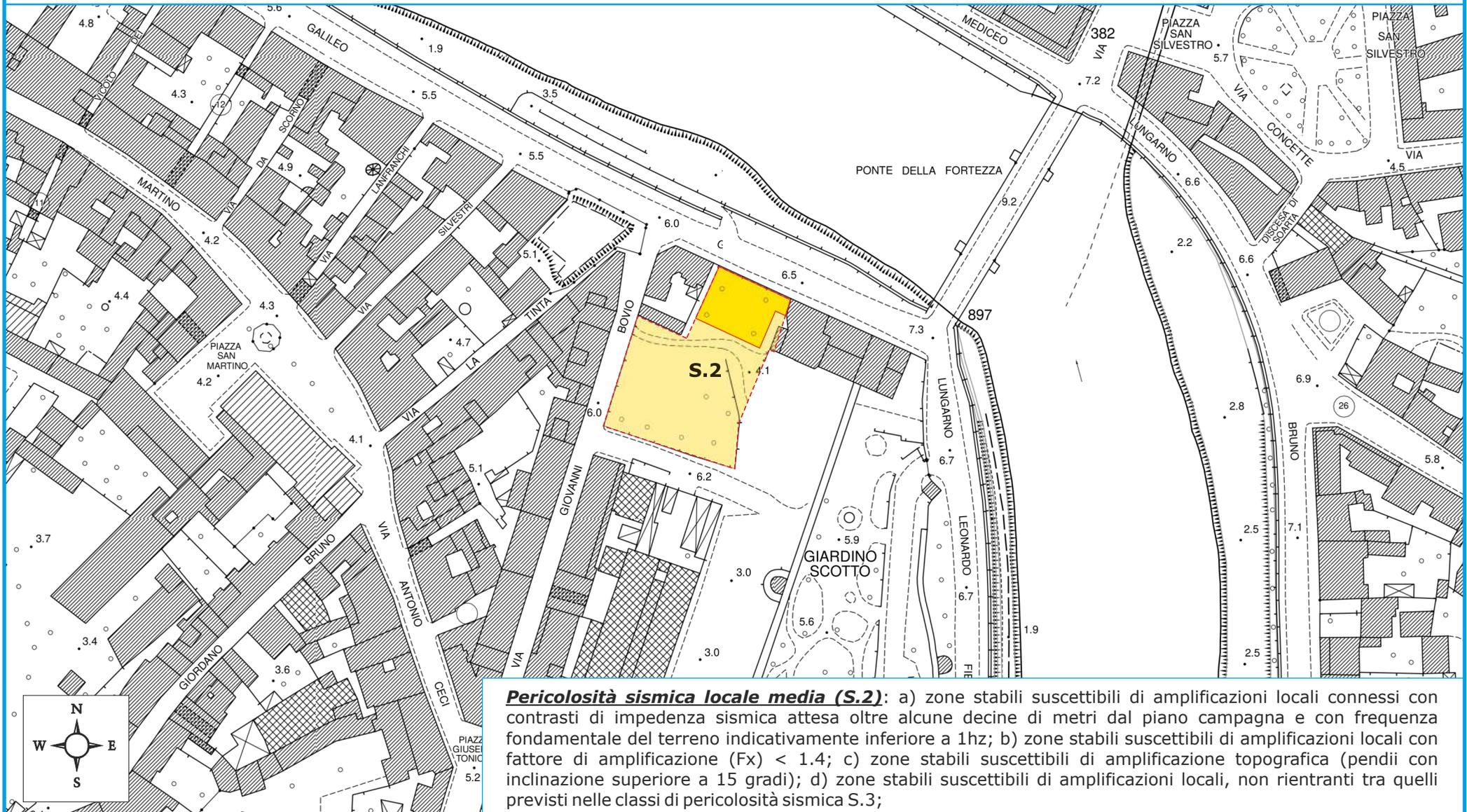
LUNGARNO GALILEI 13.22

B Y A





**G.1 - Pericolosità Geologica bassa** - aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giacaturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.



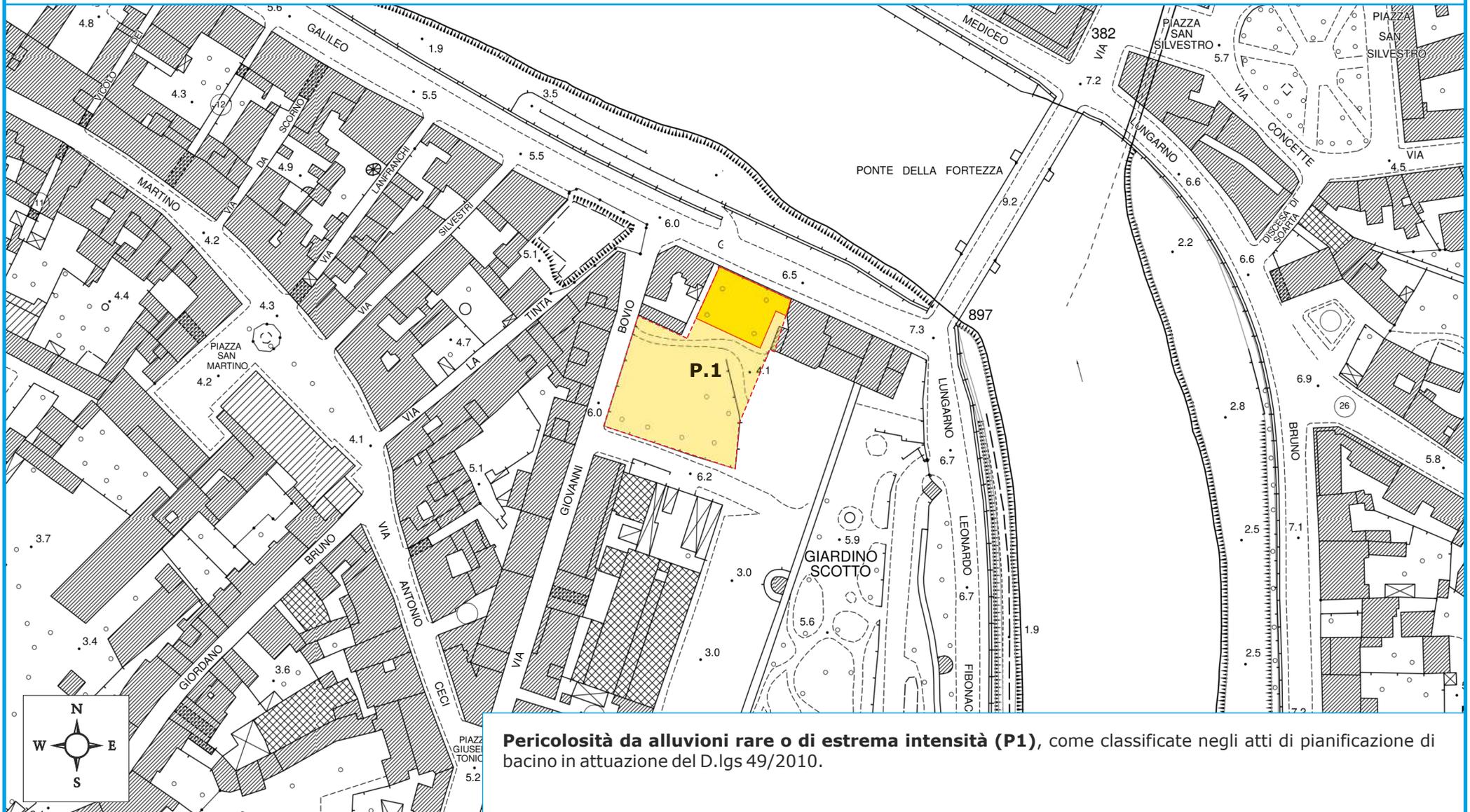
«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Massimiliano Vannozi  
GEOLOGO

Scala 1: 2.000

Marzo 2022



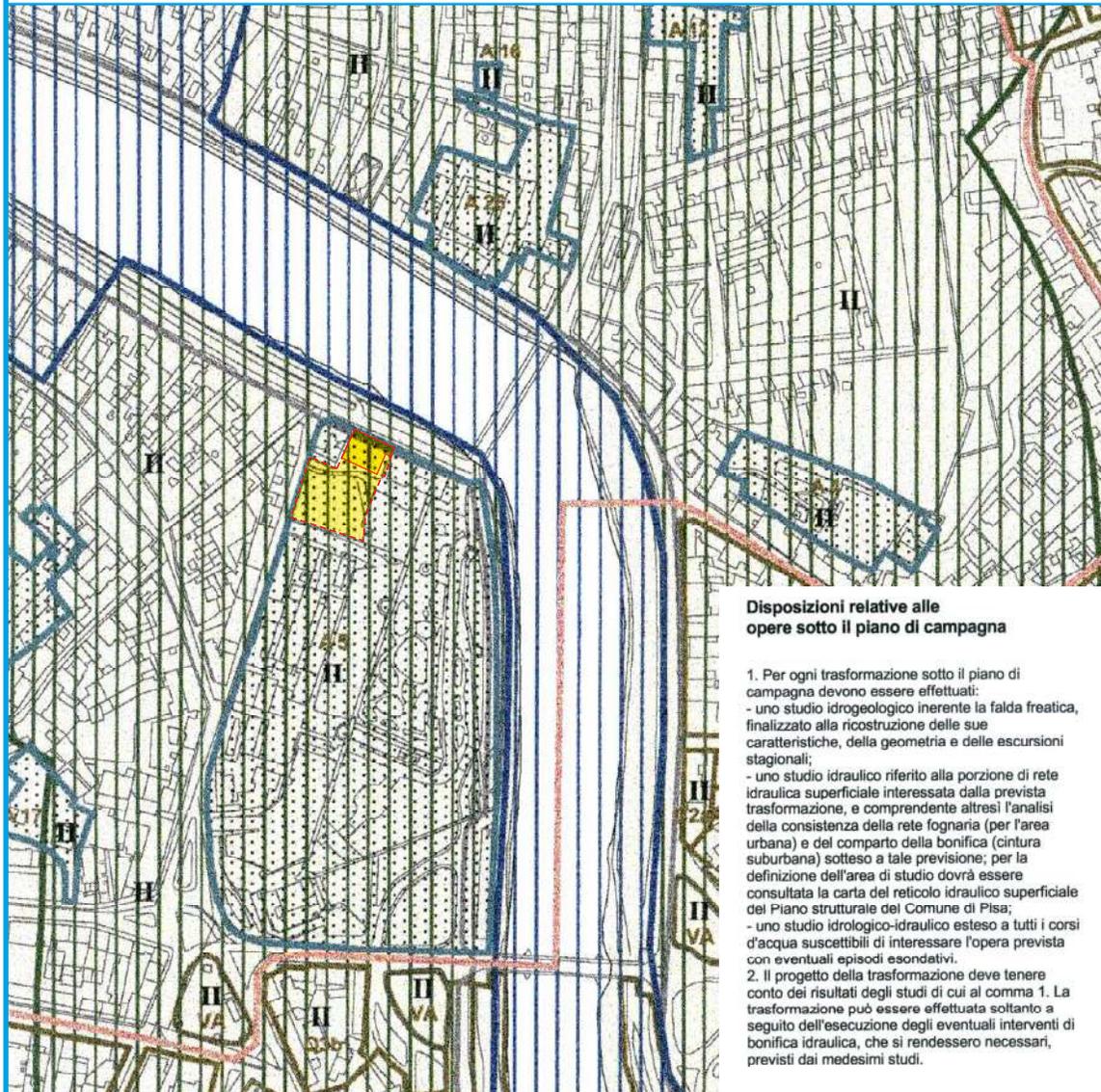
**Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1)**, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010.

(cartografia acquisita dal SITA della Regione Toscana)

Via F. Turati n.9 - Arena Metato - San Giuliano Terme (PI) - cell. 328.8315379 - e-mail: m.vannozi@gmail.com

**Carta della Pericolosità Idraulica  
del Piano di Recupero**

Tav.30



**Disposizioni relative alle opere sotto il piano di campagna**

1. Per ogni trasformazione sotto il piano di campagna devono essere effettuati:
  - uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali;
  - uno studio idraulico riferito alla porzione di rete idraulica superficiale interessata dalla prevista trasformazione, e comprendente altresì l'analisi della consistenza della rete fognaria (per l'area urbana) e del comparto della bonifica (cintura suburbana) sottesa a tale previsione; per la definizione dell'area di studio dovrà essere consultata la carta del reticolo idraulico superficiale del Piano strutturale del Comune di Pisa;
  - uno studio idrologico-idraulico esteso a tutti i corsi d'acqua suscettibili di interessare l'opera prevista con eventuali episodi esondativi.
2. Il progetto della trasformazione deve tenere conto dei risultati degli studi di cui al comma 1. La trasformazione può essere effettuata soltanto a seguito dell'esecuzione degli eventuali interventi di bonifica idraulica, che si rendessero necessari, previsti dai medesimi studi.

**FATTIBILITA' GEOLOGICA (D.C.R. 94/85)**

**I**

**Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni**

Equivale a livelli di rischio irrilevante, quali si pongono nei casi di

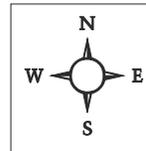
- costruzioni di modesto rilievo in rapporto alla stabilità globale dell'insieme opera-terreno che ricadano in aree stabili note (classe 1 di pericolosità);
- interventi a carattere conservativo e/o di ripristino purché non comportino ampliamenti od altri aumenti di carico.

La caratterizzazione geotecnica del terreno in sede di progetto delle trasformazioni può essere ottenuta per mezzo di raccolta di notizie; i calcoli geotecnici di stabilità e la valutazione degli spostamenti possono essere omissi ma la validità delle soluzioni progettuali adottate deve essere motivata con una apposita relazione geotecnica con elementi idraulici.

**II**

**Classe 2 - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto**

Equivale a livelli di rischio basso. Non sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva. Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica/idraulica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dal Piano strutturale del Comune di Pisa. La relazione geologica e la relazione geotecnica/idraulica possono formare un unico elaborato nel quale la ricostruzione geologica del sito e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo debbono essere reciprocamente coerenti: la relazione geotecnica/idraulica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa



«PIANO DI RECUPERO DI EDIFICIO BOMBARDATO NEL 2° CONFLITTO MONDIALE IN LUNGARNO GALILEI A PISA SECONDO L'ART. 109 DELLA L.R. 65 E L'ART. 2.1.2 DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PISA»

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

**Condizioni di Fattibilità degli interventi previsti dal "Piano di Recupero in Lungarno Galilei"**

I criteri di fattibilità sono dettati dal DPGR 5/R del 30/01/2020. Le condizioni di fattibilità sono definite in funzione delle situazioni di pericolosità e di rischio, e specificano gli studi e le indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio e le eventuali opere da realizzare per la mitigazione del rischio. La mitigazione del rischio è perseguita attraverso azioni combinate per la riduzione della pericolosità e della vulnerabilità degli elementi esposti.

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica media (G1)**, non è necessario dettare condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.

Comunque, per gli interventi previsti anche in aree caratterizzate da questa pericolosità geologica le indagini dovranno essere svolte nella fase di progetto esecutivo ed avranno come obiettivo la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo. In ragione delle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti nell'area di intervento, la realizzazione degli interventi previsti nell'area in oggetto dovrà essere supportata da apposite indagini geognostiche di dettaglio, finalizzate alla verifica puntuale delle caratteristiche geotecniche dei terreni, che potrebbero dar luogo instabilità a breve termine (rottura dei terreni di fondazione) e lungo termine (cedimenti assoluti e differenziali).

Pertanto, a supporto della progettazione e realizzazione delle opere in progetto dovranno essere realizzate specifiche relazioni geologiche e geotecniche, supportate da adeguate indagini geotecniche e geofisiche nel rispetto della normativa tecnica e sismica per le costruzioni vigente (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 1/R del 19/01/22).

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)**, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010, gli interventi in progetto dal punto di vista idraulico sono ammessi senza alcuna limitazione secondo quanto previsto dalla L.R.41/R.L.. Nei casi in cui la fattibilità degli interventi non sia condizionata dalla L.R. 41/R alla realizzazione delle opere di cui all'art.8, comma1, ma comunque preveda che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali, la gestione del rischio alluvioni può essere perseguita attraverso misure da individuarsi secondo criteri di appropriatezza, coniugando benefici di natura economica, sociale ed ambientale, unitamente ai costi ed ai benefici.

Con la realizzazione dell'intervento edilizio in progetto le condizioni di rischio idraulico dell'area non dovranno superare il "Rischio medio R2", inteso come il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche

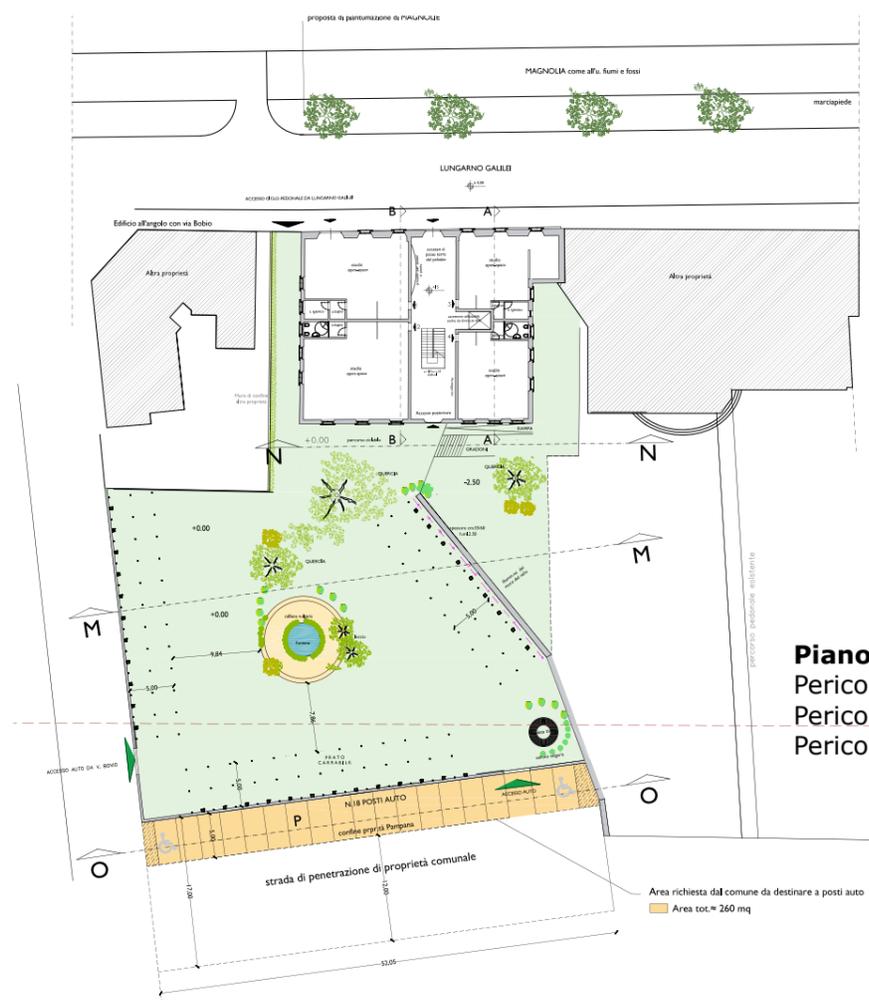
Nelle aree caratterizzate da **pericolosità sismica locale media (S2)**, non è necessario indicare condizioni di attuazione per la fase attuativa o progettuale degli interventi. Limitatamente a quelle connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore ad 1,0 herz, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione tiene conto dell'analisi combinata della frequenza fondamentale del terreno e del periodo proprio delle tipologie edilizie, al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura nella fase della progettazione edilizia.

Per gli interventi previsti in aree caratterizzate da questa pericolosità sismica le indagini dovranno comunque essere svolte nella fase di progetto esecutivo ed avranno come obiettivo la verifica della risposta sismica dei terreni di fondazione nei confronti delle criticità possibili: suscettibilità alla liquefazione, fenomeni di cedimento in presenza di terreni scadenti e contrasti di impedenza sismica nell'assetto sismo-stratigrafico locale (frequenze di risonanza dei terreni). Pertanto, a supporto della progettazione e realizzazione delle opere in progetto dovranno essere realizzate specifiche indagini geotecniche e geofisiche nel rispetto della normativa tecnica e sismica vigente per le costruzioni (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 1/R del 19/01/2022).

Alla luce di quanto sopra, risulta che gli interventi previsti dal Piano di Recupero sono fattibili e compatibili con le condizioni del sito di imposta, verificando in sede esecutiva la effettiva costituzione stratigrafico - geotecnica del sottosuolo in ragione delle qualità osservate a livello conoscitivo con le due prove penetrometriche eseguite.

Non si esclude che, in ragione della possibile incidenza strutturale sul terreno di imposta, si debba ricorrere a opere fondazionali speciali; si sottolinea l'importanza di verificare la quota del livello piezometrico dell'area di intervento possibilmente verificandone l'oscillazione naturale.

La caratterizzazione geologica, geotecnica e geofisica dell'area interessata dal Piano di Recupero dovrà rispettare i dettami delle NTC 2018 e della DPGR 01/R/2022 in accordo con le indicazioni derivanti dalle reali pericolosità di sito.



**Piano di Recupero Ar41**  
Pericolosità Geologica - G.1;  
Pericolosità idraulica - P1;  
Pericolosità Sismica - S.2.

**Valutazione della Pericolosità Geologica, Sismica ed Idraulica ai sensi del DPGR 5/R del "Piano di Recupero di Lungarno Galilei"**

Dalla stesura del Piano Strutturale Intercomunale non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo esistente relativamente agli aspetti geologici idraulici e sismici. Per gli aspetti idraulici è stata acquisita anche la cartografia di PGRA dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale che addega alla nuova normativa la pericolosità idraulica dell'area di studio.

Per la stesura della documentazione di supporto al Piano di Recupero in oggetto non è stato necessario procedere con l'aggiornamento del quadro conoscitivo locale per gli aspetti geologici, idraulici e sismici; infatti, viene acquisito integralmente quello del Piano Strutturale Intercomunale a cui si aggiunge quello dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale per gli aspetti idraulici.

Le classi di pericolosità individuate all'interno del "Piano di Recupero di Lungarno Galilei" ai sensi del DPGR n.5/R del 30/01/20, sono le seguenti (per la corretta distribuzione vedasi le tavole allegate):

**Pericolosità geologica bassa (G.1)**, aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici evolutivi.

**Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1)**, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010.

**Pericolosità sismica locale media (S.2):** a) zone stabili suscettibili di amplificazione locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz; b) zone stabili suscettibili di amplificazione locali con fattore di amplificazione (Fx) < 1.4; c) zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15gradi); d) zone stabili suscettibili di amplificazione locali, non rientranti tra quelle previste nelle classi di pericolosità sismica S.3;

## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

### DATI INSERITI

$H_{falda} = 3,65$        $a_{max}/g = 0,177$        $R = 20$        $M = 6,14$



### TEORIE DI CALCOLO

ROBERTSON E WRIDE (1998)

### DATI CPT INSERITI

n°	Profondità z(m)	resistenza alla punta qc (kg/cm²)	Resistenza laterale fs (kg/cm²)
1	0,20	80	1,33
2	0,40	80	1,33
3	0,60	120	2,00
4	0,80	148	4,13
5	1,00	80	2,67
6	1,20	85	3,00
7	1,40	25	0,67
8	1,60	114	2,73
9	1,80	77	3,00
10	2,00	65	0,60
11	2,20	25	1,41
12	2,40	78	0,80
13	2,60	80	1,00
14	2,80	28	2,47
15	3,00	14	1,73
16	3,20	25	2,00
17	3,40	14	1,87
18	3,60	11	0,60
19	3,80	10	0,33
20	4,00	9	0,40
21	4,20	12	0,33
22	4,40	15	0,27
23	4,60	14	0,40
24	4,80	18	0,40
25	5,00	18	0,33

n°	Profondità z(m)	resistenza alla punta qc (kg/cm²)	Resistenza laterale fs (kg/cm²)
26	5,20	14	0,47
26	5,40	15	0,47
28	5,60	12	0,53
29	5,80	14	0,53
30	6,00	12	0,47
31	6,20	20	0,53
32	6,40	14	0,40
33	6,60	30	0,67
34	6,80	26	1,07
35	7,00	45	0,40
36	7,20	35	1,67
37	7,40	30	0,67
38	7,60	21	1,00
39	7,80	18	0,27
40	8,00	17	0,33
41	8,20	18	0,47
42	8,40	20	0,73
43	8,60	18	0,47
44	8,80	17	0,87
45	9,00	55	3,18
46	9,20	60	0,87
47	9,40	80	1,13
48	9,60	115	1,53
49	9,80	100	1,13
50	10,00	90	2,00

n°	Profondità z(m)	resistenza alla punta qc (kg/cm²)	Resistenza laterale fs (kg/cm²)
51	10,20	45	2,13
52	10,40	80	0,73
53	10,60	115	2,67
54	10,80	92	1,87
55	11,00	40	2,33
56	11,20	42	1,73
57	11,40	60	0,87
58	11,60	51	0,87
59	11,80	62	1,20
60	12,00	60	1,53
61	12,20	51	2,20
62	12,40	50	1,60
63	12,60	55	1,20
64	12,80	63	1,13
65	13,00	60	2,07
66	13,20	62	2,20
67	13,40	90	2,00
68	13,60	110	1,33
69	13,80	15	1,00
70	14,00	14	1,07
71	14,20	19	0,60
72	14,40	18	0,60
73	14,60	17	0,53
74	14,80	17	0,60
75	15,00	19	0,40

Int.	0,2	γ	1,87
n°	Profondità z(m)	resistenza alla punta qc (kg/cm²)	Resistenza laterale fs (kg/cm²)
76	15,20	18	0,80
77	15,40	14	0,93
78	15,60	15	0,47
79	15,80	16	0,60
80	16,00	18	0,80
81	16,20	0	0,00
82	16,40	0	0,00
83	16,60	0	0,00
84	16,80	0	0,00
85	17,00	0	0,00
86	17,20	0	0,00
87	17,40	0	0,00
88	17,60	0	0,00
89	17,80	0	0,00
90	18,00	0	0,00
91	18,20	0	0,00
92	18,40	0	0,00
93	18,60	0	0,00
94	18,80	0	0,00
95	19,00	0	0,00
96	19,20	0	0,00
97	19,40	0	0,00
98	19,60	0	0,00
99	19,80	0	0,00
100	20,00	0	0,00

Committente: **Sig.re Pampana Anita e Silvia**  
 Riferimento: **Campagna Indagini geognostiche**  
 Località: **Pisa - Lungarno Galilei**      Prov. **PI**  
 Oggetto: **Piano di Recupero**

INSERIMENTO DATI CPT

ANALISI

HOME

GRAFICI

RELAZIONE REDATTA AI SENSI DEL REGOLAMENTO D.P.G.R. 30-01-2020, n. 5/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche

Marzo 2022

Committente: Sig.re Pampana Anita e Silvia Riferimento: Campagna Indagini geostatiche Località: Pisa - Lungarno Galilei Oggetto: Piano di Recupero		Prov.: PI		Indice del Potenziale di Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)		Liquefazione (IP <sub>L</sub> )		di		Molto Basso				
Metodi che utilizzano Prove Statiche (CPT) Robertson e Wride (1998)		Fattore di sicurezza (Fs) > 1,0		Magnitudo di riferimento (M) 6,1		Liquefazione (IP <sub>L</sub> ) 0,000		di		Molto Basso				
Prof. (m)	valore	Ic (n=1) Classificazione	Ic (n=0,5) valore	Ic (n=0,75) valore	Verificare campione in lab.	Ic utilizzato valore	Fs valore	Ic (n=1) valore	Classificazione	Ic (n=0,5) valore	Ic (n=0,75) valore	Verificare campione in lab.	Ic utilizzato valore	Fs valore
0,20	1,45	Granulare	1,67	1,52	--	1,67	N.C.	10,20	2,72	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
0,40	1,51	Granulare	1,76	1,61	--	1,76	N.C.	10,40	2,05	Granulare	N.L.	--	2,02	1,92
0,60	1,51	Granulare	1,71	1,59	--	1,71	N.C.	10,60	2,21	Granulare	N.L.	--	2,17	N.C.
0,80	1,73	Granulare	1,89	1,80	--	1,89	N.C.	10,80	2,24	Granulare	N.L.	--	2,20	3,74
1,00	1,94	Granulare	2,12	2,02	--	2,12	N.C.	11,00	2,84	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,20	1,98	Granulare	2,15	2,05	--	2,15	N.C.	11,20	2,73	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,40	2,23	Granulare	2,43	2,33	--	2,43	4,08	11,40	2,42	Granulare	N.L.	--	2,26	1,92
1,60	1,83	Granulare	1,97	1,90	--	1,97	N.C.	11,60	2,42	Granulare	N.L.	--	2,36	1,95
1,80	2,13	Granulare	2,26	2,19	--	2,26	N.C.	11,80	2,39	Granulare	N.L.	--	2,33	2,42
2,00	1,71	Granulare	1,87	1,79	--	1,87	4,37	12,00	2,48	Granulare	N.L.	--	2,42	3,08
2,20	2,60	Argiloso	2,73	N.L.	--	N.L.	N.L.	12,20	2,70	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,40	1,74	Granulare	1,87	1,81	--	1,87	5,72	12,40	2,82	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,60	1,82	Granulare	1,93	1,88	--	1,93	5,77	12,60	2,48	Granulare	N.L.	--	2,42	2,47
2,80	2,79	Argiloso	2,88	N.L.	--	N.L.	N.L.	12,80	2,38	Granulare	N.L.	--	2,32	2,28
3,00	3,13	Argiloso	3,22	N.L.	--	N.L.	N.L.	13,00	2,59	Granulare	N.L.	--	2,53	4,36
3,20	2,83	Argiloso	2,90	N.L.	--	N.L.	N.L.	13,20	2,59	Granulare	N.L.	--	2,56	4,66
3,40	3,20	Argiloso	3,26	N.L.	--	N.L.	N.L.	13,40	2,33	Granulare	N.L.	--	2,26	3,78
3,60	3,03	Argiloso	3,09	N.L.	--	N.L.	N.L.	13,60	2,09	Granulare	N.L.	--	2,02	2,89
3,80	2,94	Argiloso	3,00	N.L.	--	N.L.	N.L.	13,80	3,34	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,00	3,07	Argiloso	3,13	N.L.	--	N.L.	N.L.	14,00	3,41	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,20	2,84	Argiloso	2,90	N.L.	--	N.L.	N.L.	14,20	3,04	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,40	2,66	Argiloso	2,71	N.L.	--	N.L.	N.L.	14,40	3,08	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,60	2,81	Argiloso	2,86	N.L.	--	N.L.	N.L.	14,60	3,10	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,80	2,66	Argiloso	2,70	N.L.	--	N.L.	N.L.	14,80	3,14	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,00	2,62	Argiloso	2,66	N.L.	--	N.L.	N.L.	15,00	2,96	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,20	2,88	Argiloso	2,92	N.L.	--	N.L.	N.L.	15,20	3,18	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,40	2,84	Argiloso	2,88	N.L.	--	N.L.	N.L.	15,40	3,41	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,60	3,03	Argiloso	3,06	N.L.	--	N.L.	N.L.	15,60	3,19	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,80	2,94	Argiloso	2,96	N.L.	--	N.L.	N.L.	15,80	3,21	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,00	3,02	Argiloso	3,04	N.L.	--	N.L.	N.L.	16,00	3,20	Argiloso	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,20	2,72	Argiloso	2,74	N.L.	--	N.L.	N.L.	16,20	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
6,40	2,89	Argiloso	2,91	N.L.	--	N.L.	N.L.	16,40	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
6,60	2,54	Granulare	2,55	NPGranulare	--	2,55	2,13	16,60	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
6,80	2,77	Argiloso	2,78	N.L.	--	N.L.	N.L.	16,80	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
7,00	2,17	Granulare	2,17	NPGranulare	--	2,17	1,54	17,00	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
7,20	2,73	Argiloso	2,73	N.L.	--	N.L.	N.L.	17,20	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
7,40	2,57	Granulare	2,57	NPGranulare	--	2,57	2,03	17,40	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
7,60	2,92	Argiloso	2,91	N.L.	--	N.L.	N.L.	17,60	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
7,80	2,68	Argiloso	2,68	N.L.	--	N.L.	N.L.	17,80	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
8,00	2,78	Argiloso	2,77	N.L.	--	N.L.	N.L.	18,00	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
8,20	2,83	Argiloso	2,82	N.L.	--	N.L.	N.L.	18,20	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
8,40	2,89	Argiloso	2,87	N.L.	--	N.L.	N.L.	18,40	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
8,60	2,85	Argiloso	2,83	N.L.	--	N.L.	N.L.	18,60	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
8,80	3,06	Argiloso	3,04	N.L.	--	N.L.	N.L.	18,80	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
9,00	2,69	Argiloso	2,67	N.L.	--	N.L.	N.L.	19,00	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
9,20	2,25	Granulare	2,23	NPGranulare	--	2,23	2,01	19,20	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
9,40	2,15	Granulare	2,12	NPGranulare	--	2,12	2,50	19,40	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
9,60	2,02	Granulare	1,99	NPGranulare	--	1,99	3,75	19,60	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
9,80	2,02	Granulare	1,99	NPGranulare	--	1,99	2,77	19,80	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.
10,00	2,26	Granulare	2,22	NPGranulare	--	2,22	4,10	20,00	N.C.	N.C.	N.C.	--	N.C.	N.C.

Argiloso =  
C.Chinese =  
Granulare =  
-- =  
Nessun Criterio

N.C. = Non Calcolabile  
N.L. = Non Liquefacibile  
Plimoso = Terreno Limoso e possibilmente Plastico  
NPGranulare = Terreno non Plastico di natura granulare

HOME

DATI CPT

INSERIMENTO DATI CPT

GRAFICI

## RELAZIONE TECNICA

Committente:  
Sig.re Anita e Silvia Pampana

Località: Via Bovio – Pisa

Data Indagine: 11/03/2022

Codice lavoro: 220311b

# PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.r.l.**

Via Lenin, 132/Q

56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel/Fax: 050 9910582

e-mail: [info@gaiaservizi.com](mailto:info@gaiaservizi.com)

P.IVA: 01667250508

Data elaborazione: 14/03/2022

**GAIA Servizi S.r.l.**

Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Figura 1: Postazione prova penetrometrica CPT 1**



**Figura 2: Postazione prova penetrometrica CPT 2**

# LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**TG63-200 - Pagani - Piacenza**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_1 ) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = [( L_2 ) - ( L_1 )] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S \text{ ( Kg )}$ , corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $CT$ .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta.

## CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

# LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

**Valutazioni in base al rapporto:**  $F = (qc / fs)$

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),  
ricavabili in base ai valori di qc e di  $FR = (fs / qc) \%$  :**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**1**

riferimento

**220311b**

certificato n°

167/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data eseg.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-5,45 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0	0	0,00	0,00			15,20	19,0	25	0	19,00	0,40	48	2,1
0,40	73,0	90	0	73,00	1,13	65	1,5	15,40	19,0	30	0	19,00	0,73	26	3,8
0,60	180,0	230	0	180,00	3,33	54	1,9	15,60	18,0	29	0	18,00	0,73	25	4,1
0,80	230,0	250	0	230,00	1,33	173	0,6	15,80	18,0	30	0	18,00	0,80	23	4,4
<b>1,00</b>	140,0	228	0	140,00	5,87	24	4,2	<b>16,00</b>	17,0	30	0	17,00	0,87	20	5,1
1,20	86,0	170	0	86,00	5,60	15	6,5								
1,40	54,0	83	0	54,00	1,93	28	3,6								
1,60	16,0	31	0	16,00	1,00	16	6,3								
1,80	8,0	20	0	8,00	0,80	10	10,0								
<b>2,00</b>	15,0	23	0	15,00	0,53	28	3,5								
2,20	67,0	113	0	67,00	3,07	22	4,6								
2,40	112,0	160	0	112,00	3,20	35	2,9								
2,60	250,0	330	0	250,00	5,33	47	2,1								
2,80	75,0	140	0	75,00	4,33	17	5,8								
<b>3,00</b>	45,0	81	0	45,00	2,40	19	5,3								
3,20	63,0	73	0	63,00	0,67	94	1,1								
3,40	23,0	50	0	23,00	1,80	13	7,8								
3,60	77,0	87	0	77,00	0,67	115	0,9								
3,80	79,0	92	0	79,00	0,87	91	1,1								
<b>4,00</b>	184,0	202	0	184,00	1,17	157	0,6								
4,20	64,0	119	0	64,00	3,68	17	5,8								
4,40	27,0	64	0	27,00	2,47	11	9,1								
4,60	13,0	38	0	13,00	1,67	8	12,8								
4,80	23,0	51	0	23,00	1,87	12	8,1								
<b>5,00</b>	10,0	19	0	10,00	0,60	17	6,0								
5,20	9,0	14	0	9,00	0,33	27	3,7								
5,40	9,0	12	0	9,00	0,20	45	2,2								
5,60	11,0	14	0	11,00	0,20	55	1,8								
5,80	16,0	21	0	16,00	0,33	48	2,1								
<b>6,00</b>	17,0	24	0	17,00	0,47	36	2,8								
6,20	17,0	23	0	17,00	0,40	43	2,4								
6,40	13,0	22	0	13,00	0,60	22	4,6								
6,60	14,0	20	0	14,00	0,40	35	2,9								
6,80	13,0	21	0	13,00	0,53	25	4,1								
<b>7,00</b>	13,0	20	0	13,00	0,47	28	3,6								
7,20	18,0	27	0	18,00	0,60	30	3,3								
7,40	15,0	21	0	15,00	0,40	38	2,7								
7,60	28,0	38	0	28,00	0,67	42	2,4								
7,80	27,0	45	0	27,00	1,20	23	4,4								
<b>8,00</b>	42,0	50	0	42,00	0,53	79	1,3								
8,20	37,0	59	0	37,00	1,47	25	4,0								
8,40	29,0	39	0	29,00	0,67	43	2,3								
8,60	18,0	36	0	18,00	1,20	15	6,7								
8,80	16,0	20	0	16,00	0,27	59	1,7								
<b>9,00</b>	18,0	25	0	18,00	0,47	38	2,6								
9,20	19,0	32	0	19,00	0,87	22	4,6								
9,40	17,0	24	0	17,00	0,47	36	2,8								
9,60	16,0	32	0	16,00	1,07	15	6,7								
9,80	59,0	118	0	59,00	3,93	15	6,7								
<b>10,00</b>	62,0	75	0	62,00	0,87	71	1,4								
10,20	78,0	98	0	78,00	1,33	59	1,7								
10,40	122,0	146	0	122,00	1,60	76	1,3								
10,60	106,0	124	0	106,00	1,20	88	1,1								
10,80	116,0	145	0	116,00	1,93	60	1,7								
<b>11,00</b>	92,0	124	0	92,00	2,13	43	2,3								
11,20	26,0	46	0	26,00	1,36	19	5,2								
11,40	72,0	88	0	72,00	1,07	67	1,5								
11,60	113,0	152	0	113,00	2,60	43	2,3								
11,80	95,0	119	0	95,00	1,60	59	1,7								
<b>12,00</b>	42,0	77	0	42,00	2,33	18	5,5								
12,20	43,0	62	0	43,00	1,27	34	3,0								
12,40	57,0	72	0	57,00	1,00	57	1,8								
12,60	47,0	66	0	47,00	1,27	37	2,7								
12,80	63,0	82	0	63,00	1,27	50	2,0								
<b>13,00</b>	59,0	85	0	59,00	1,73	34	2,9								
13,20	49,0	75	0	49,00	1,73	28	3,5								
13,40	86,0	112	0	86,00	1,73	50	2,0								
13,60	84,0	104	0	84,00	1,33	63	1,6								
13,80	56,0	94	0	56,00	2,53	22	4,5								
<b>14,00</b>	63,0	97	0	63,00	2,27	28	3,6								
14,20	91,0	114	0	91,00	1,53	59	1,7								
14,40	111,0	121	0	111,00	0,67	166	0,6								
14,60	19,0	25	0	19,00	0,40	48	2,1								
14,80	14,0	25	0	14,00	0,70	20	5,0								
<b>15,00</b>	15,0	22	0	15,00	0,47	32	3,1								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

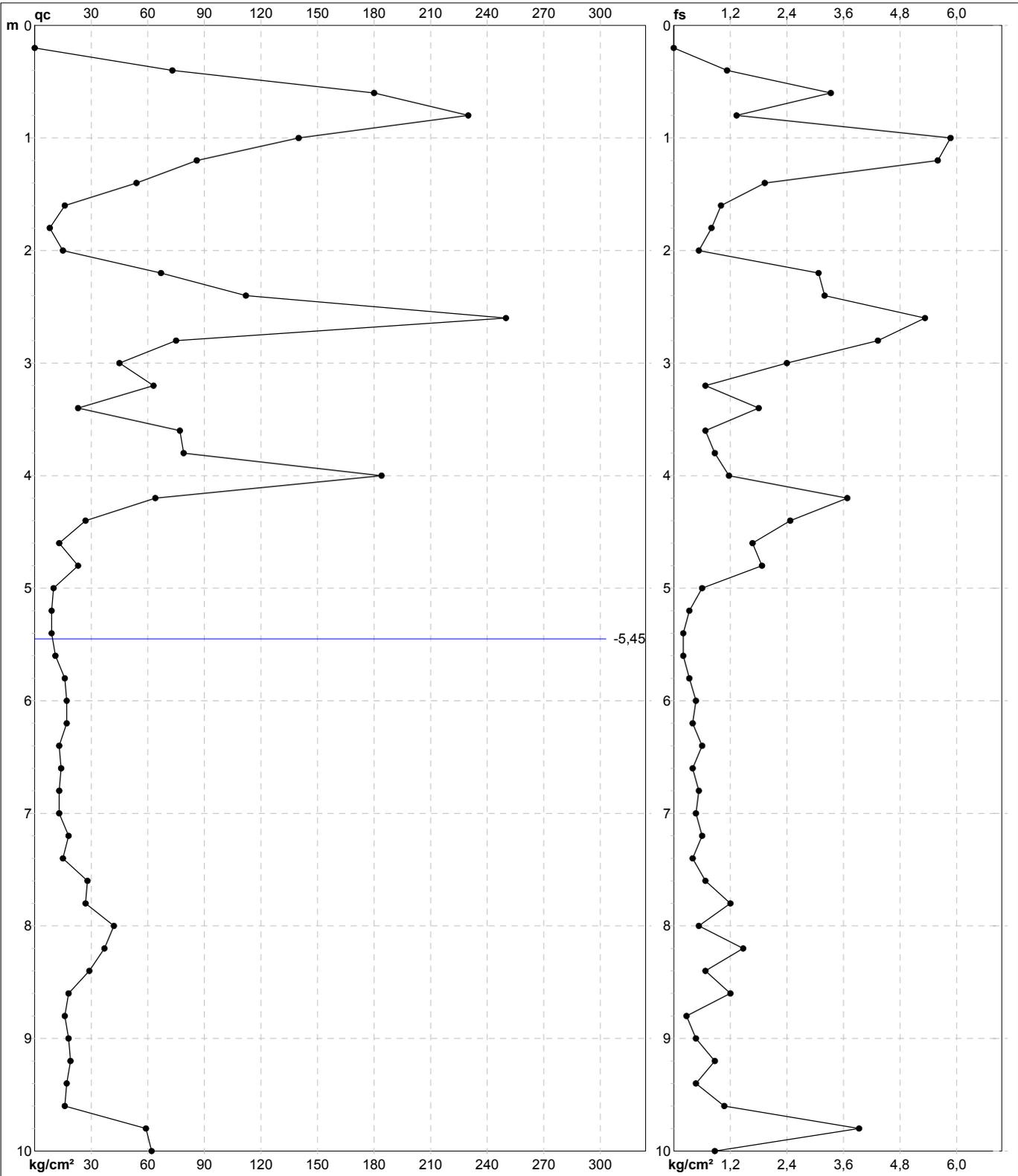
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>220311b</b>
certificato n°	167/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 11/03/2022  
 Scala: 1:50    Data certificato: 14/03/2022  
 Pagina: 1    Quota inizio:  
 Elaborato:    Falda: -5,45 m da p.c.



Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile: Geol. Massimiliano Vannozi	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**1**

riferimento

**220311b**

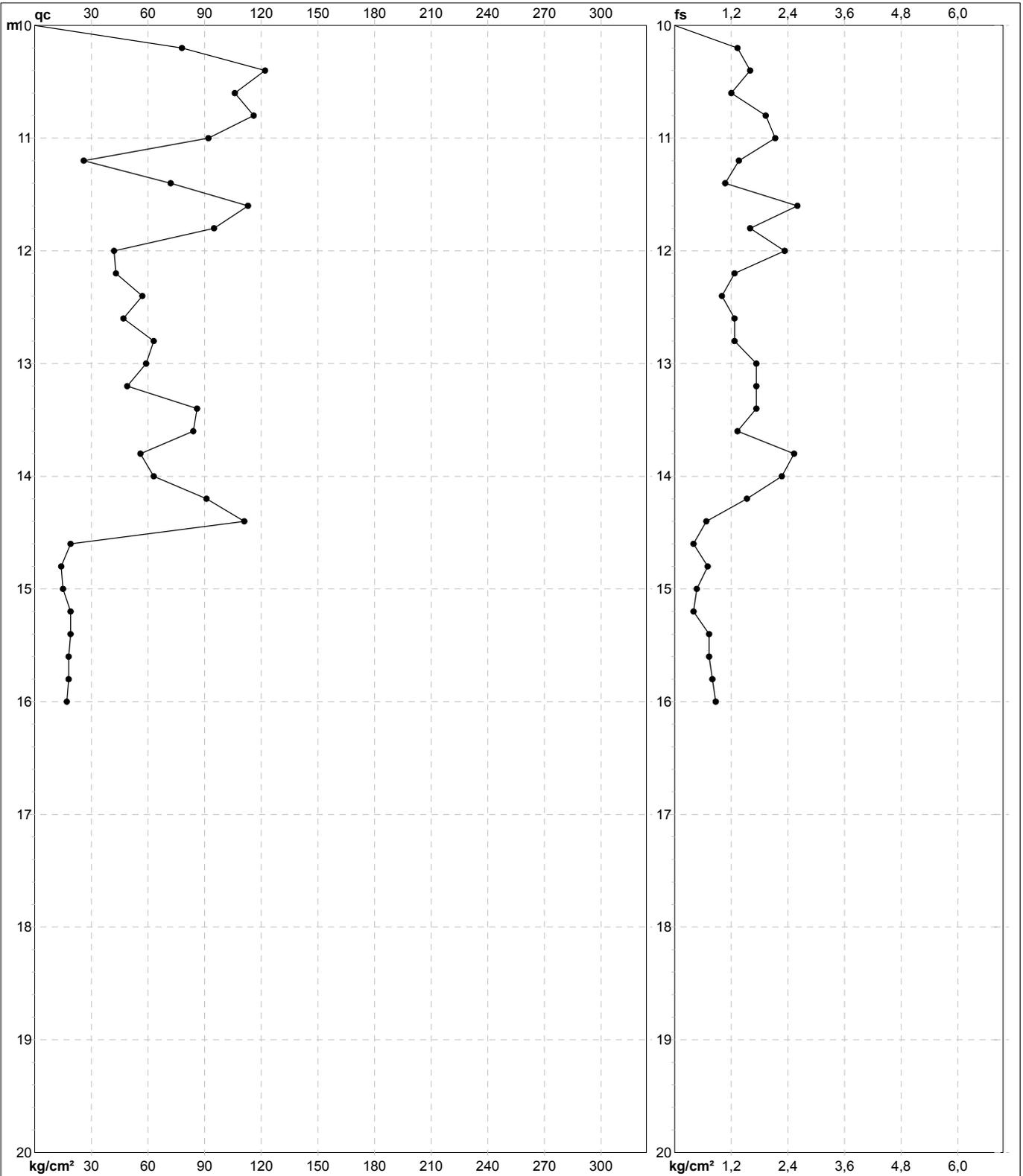
certificato n°

167/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: 1:100  
 Pagina: 2  
 Elaborato:

Data eseg.: 11/03/2022  
 Data certificato: 14/03/2022  
 Quota inizio:  
 Falda: -5,45 m da p.c.



	Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Geol. Massimiliano Vannozi Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	---	---

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**1**

riferimento

**220311b**

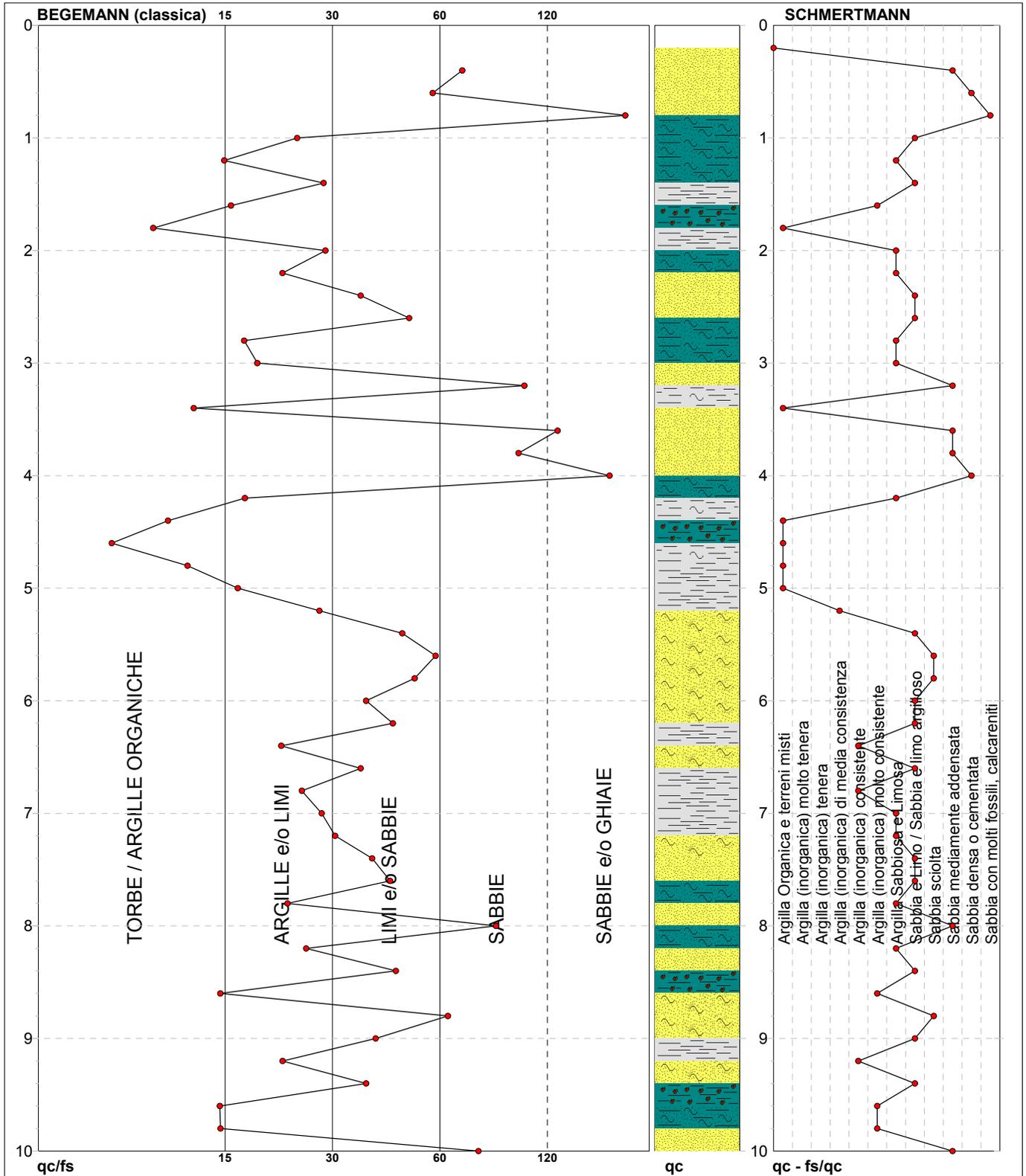
certificato n°

167/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data exec.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-5,45 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	8 punti, 16,33%	Argilla Organica e terreni misti:	6 punti, 12,24%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 20,41%
Argille e/o Limi :	19 punti, 38,78%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punto, 2,04%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	13 punti, 26,53%
Limi e/o Sabbie :	15 punti, 30,61%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 6,12%	Sabbia sciolta:	3 punti, 6,12%
Sabbie:	6 punti, 12,24%	Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 8,16%	Sabbia mediamente addensata:	6 punti, 12,24%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 4,08%			Sabbia densa o cementata:	2 punti, 4,08%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 2,04%

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**1**

riferimento

**220311b**

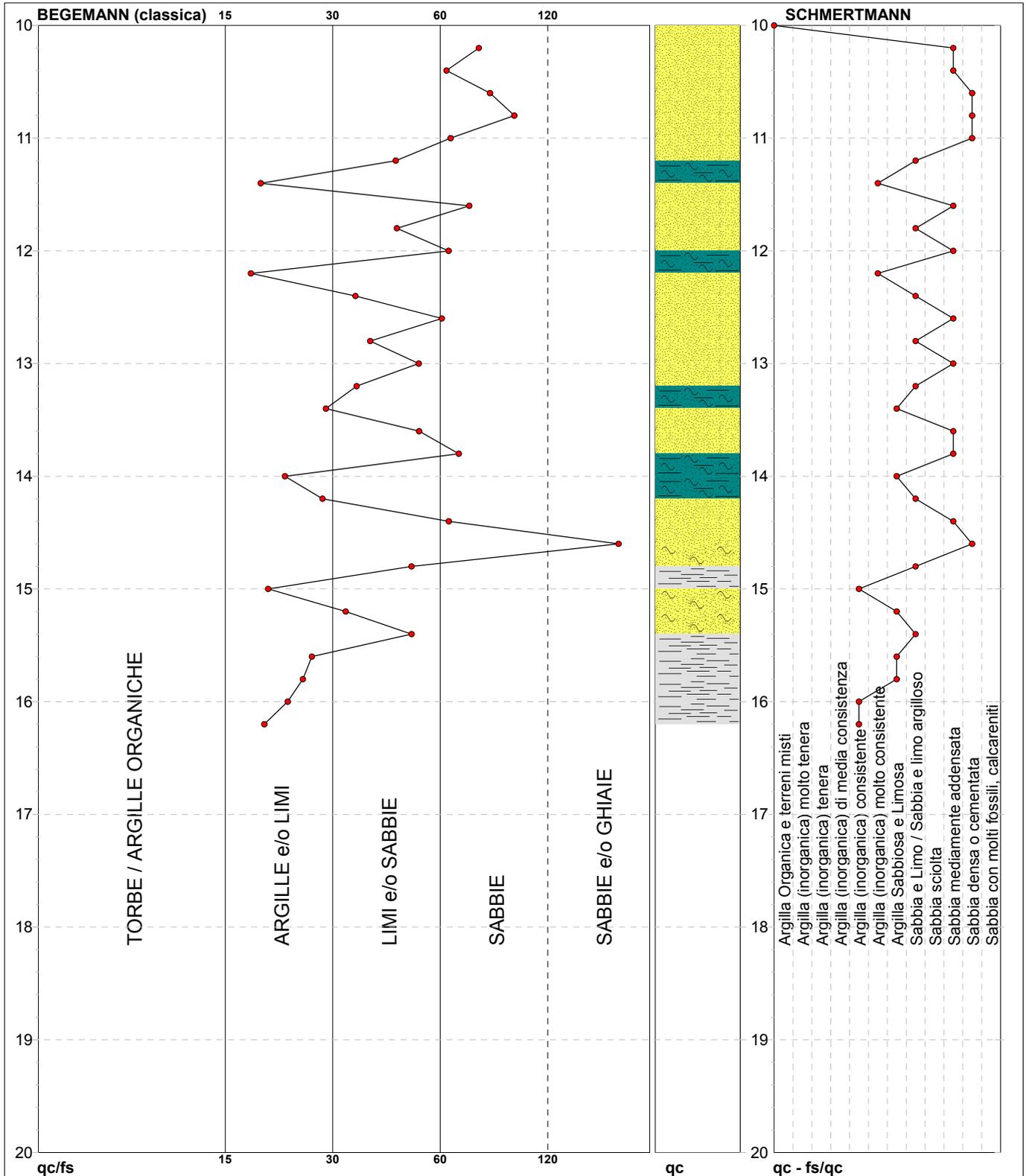
certificato n°

167/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:100**  
 Pagina: **2**  
 Elaborato:

Data exec.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-5,45 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	19 punti, 38,78%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 6,12%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti, 10,20%
Argille e/o Limi :	10 punti, 20,41%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 4,08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 16,33%
Limi e/o Sabbie :	14 punti, 28,57%			Sabbia mediamente addensata:	9 punti, 18,37%
Sabbie:	6 punti, 12,24%			Sabbia densa o cementata:	4 punti, 8,16%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 2,04%				

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**2**

riferimento

**220311b**

certificato n°

168/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm²**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data eseg.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-3,65 m da p.c.**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0,20	0,0	0	0	0,00	0,00			15,20	18,0	30	0	18,00	0,80	23	4,4
0,40	80,0	100	0	80,00	1,33	60	1,7	15,40	14,0	28	0	14,00	0,93	15	6,6
0,60	120,0	150	0	120,00	2,00	60	1,7	15,60	15,0	22	0	15,00	0,47	32	3,1
0,80	148,0	210	0	148,00	4,13	36	2,8	15,80	16,0	25	0	16,00	0,60	27	3,8
<b>1,00</b>	80,0	120	0	80,00	2,67	30	3,3	<b>16,00</b>	18,0	30	0	18,00	0,80	23	4,4
1,20	85,0	130	0	85,00	3,00	28	3,5								
1,40	25,0	35	0	25,00	0,67	37	2,7								
1,60	114,0	155	0	114,00	2,73	42	2,4								
1,80	77,0	122	0	77,00	3,00	26	3,9								
<b>2,00</b>	65,0	74	0	65,00	0,60	108	0,9								
2,20	25,0	46	0	25,00	1,41	18	5,6								
2,40	78,0	90	0	78,00	0,80	98	1,0								
2,60	80,0	95	0	80,00	1,00	80	1,3								
2,80	28,0	65	0	28,00	2,47	11	8,8								
<b>3,00</b>	14,0	40	0	14,00	1,73	8	12,4								
3,20	25,0	55	0	25,00	2,00	13	8,0								
3,40	14,0	42	0	14,00	1,87	7	13,4								
3,60	11,0	20	0	11,00	0,60	18	5,5								
3,80	10,0	15	0	10,00	0,33	30	3,3								
<b>4,00</b>	9,0	15	0	9,00	0,40	23	4,4								
4,20	12,0	17	0	12,00	0,33	36	2,8								
4,40	15,0	19	0	15,00	0,27	56	1,8								
4,60	14,0	20	0	14,00	0,40	35	2,9								
4,80	18,0	24	0	18,00	0,40	45	2,2								
<b>5,00</b>	18,0	23	0	18,00	0,33	55	1,8								
5,20	14,0	21	0	14,00	0,47	30	3,4								
5,40	15,0	22	0	15,00	0,47	32	3,1								
5,60	12,0	20	0	12,00	0,53	23	4,4								
5,80	14,0	22	0	14,00	0,53	26	3,8								
<b>6,00</b>	12,0	19	0	12,00	0,47	26	3,9								
6,20	20,0	28	0	20,00	0,53	38	2,7								
6,40	14,0	20	0	14,00	0,40	35	2,9								
6,60	30,0	40	0	30,00	0,67	45	2,2								
6,80	26,0	42	0	26,00	1,07	24	4,1								
<b>7,00</b>	45,0	51	0	45,00	0,40	113	0,9								
7,20	35,0	60	0	35,00	1,67	21	4,8								
7,40	30,0	40	0	30,00	0,67	45	2,2								
7,60	21,0	36	0	21,00	1,00	21	4,8								
7,80	18,0	22	0	18,00	0,27	67	1,5								
<b>8,00</b>	17,0	22	0	17,00	0,33	52	1,9								
8,20	18,0	25	0	18,00	0,47	38	2,6								
8,40	20,0	31	0	20,00	0,73	27	3,7								
8,60	18,0	25	0	18,00	0,47	38	2,6								
8,80	17,0	30	0	17,00	0,87	20	5,1								
<b>9,00</b>	55,0	103	0	55,00	3,18	17	5,8								
9,20	60,0	73	0	60,00	0,87	69	1,5								
9,40	80,0	97	0	80,00	1,13	71	1,4								
9,60	115,0	138	0	115,00	1,53	75	1,3								
9,80	100,0	117	0	100,00	1,13	88	1,1								
<b>10,00</b>	90,0	120	0	90,00	2,00	45	2,2								
10,20	45,0	77	0	45,00	2,13	21	4,7								
10,40	80,0	91	0	80,00	0,73	110	0,9								
10,60	115,0	155	0	115,00	2,67	43	2,3								
10,80	92,0	120	0	92,00	1,87	49	2,0								
<b>11,00</b>	40,0	75	0	40,00	2,33	17	5,8								
11,20	42,0	68	0	42,00	1,73	24	4,1								
11,40	60,0	73	0	60,00	0,87	69	1,5								
11,60	51,0	64	0	51,00	0,87	59	1,7								
11,80	62,0	80	0	62,00	1,20	52	1,9								
<b>12,00</b>	60,0	83	0	60,00	1,53	39	2,6								
12,20	51,0	84	0	51,00	2,20	23	4,3								
12,40	50,0	74	0	50,00	1,60	31	3,2								
12,60	55,0	73	0	55,00	1,20	46	2,2								
12,80	63,0	80	0	63,00	1,13	56	1,8								
<b>13,00</b>	60,0	91	0	60,00	2,07	29	3,5								
13,20	62,0	95	0	62,00	2,20	28	3,5								
13,40	90,0	120	0	90,00	2,00	45	2,2								
13,60	110,0	130	0	110,00	1,33	83	1,2								
13,80	15,0	30	0	15,00	1,00	15	6,7								
<b>14,00</b>	14,0	30	0	14,00	1,07	13	7,6								
14,20	19,0	28	0	19,00	0,60	32	3,2								
14,40	18,0	27	0	18,00	0,60	30	3,3								
14,60	17,0	25	0	17,00	0,53	32	3,1								
14,80	17,0	26	0	17,00	0,60	28	3,5								
<b>15,00</b>	19,0	25	0	19,00	0,40	48	2,1								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

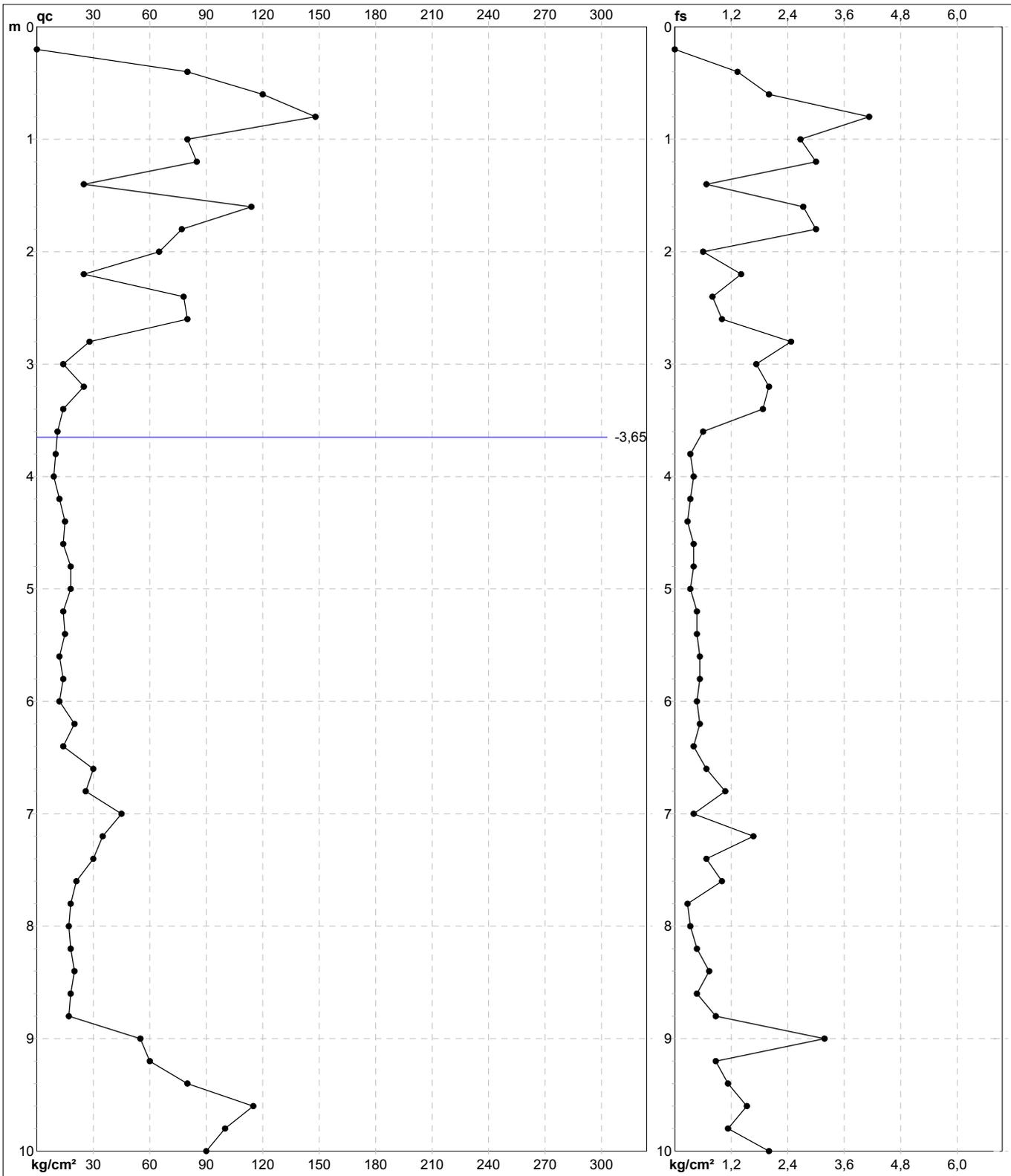
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
riferimento	<b>220311b</b>
certificato n°	168/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 11/03/2022  
 Scala: 1:50    Data certificato: 14/03/2022  
 Pagina: 1  
 Elaborato:    Quota inizio:    Falda: -3,65 m da p.c.



Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile: Geol. Massimiliano Vannozi	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**2**

riferimento

**220311b**

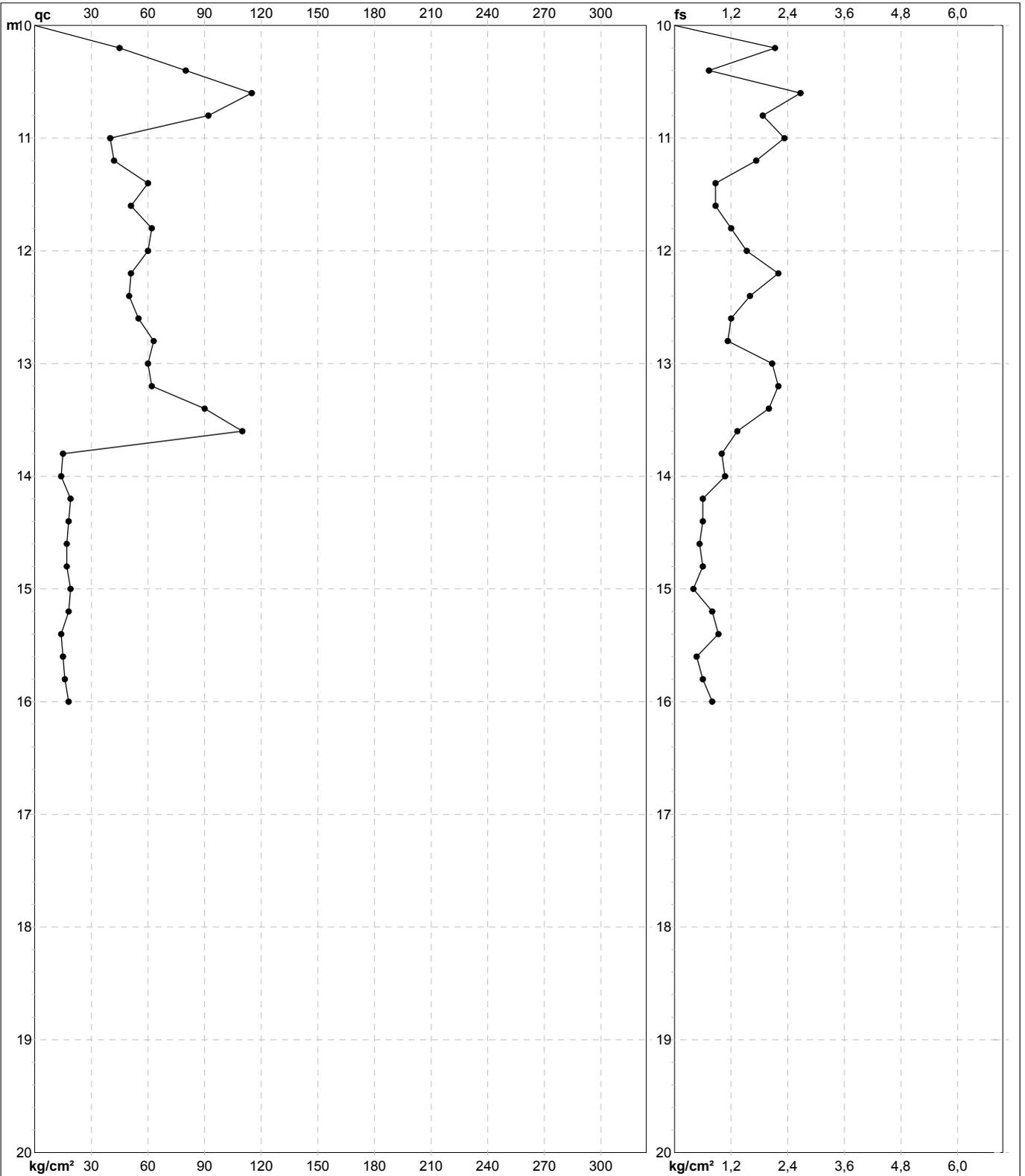
certificato n°

168/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: 1:100  
 Pagina: 2  
 Elaborato:

Data eseg.: 11/03/2022  
 Data certificato: 14/03/2022  
 Quota inizio:  
 Falda: -3,65 m da p.c.



	Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Geol. Massimiliano Vannozi Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	---	---

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**2**

riferimento

**220311b**

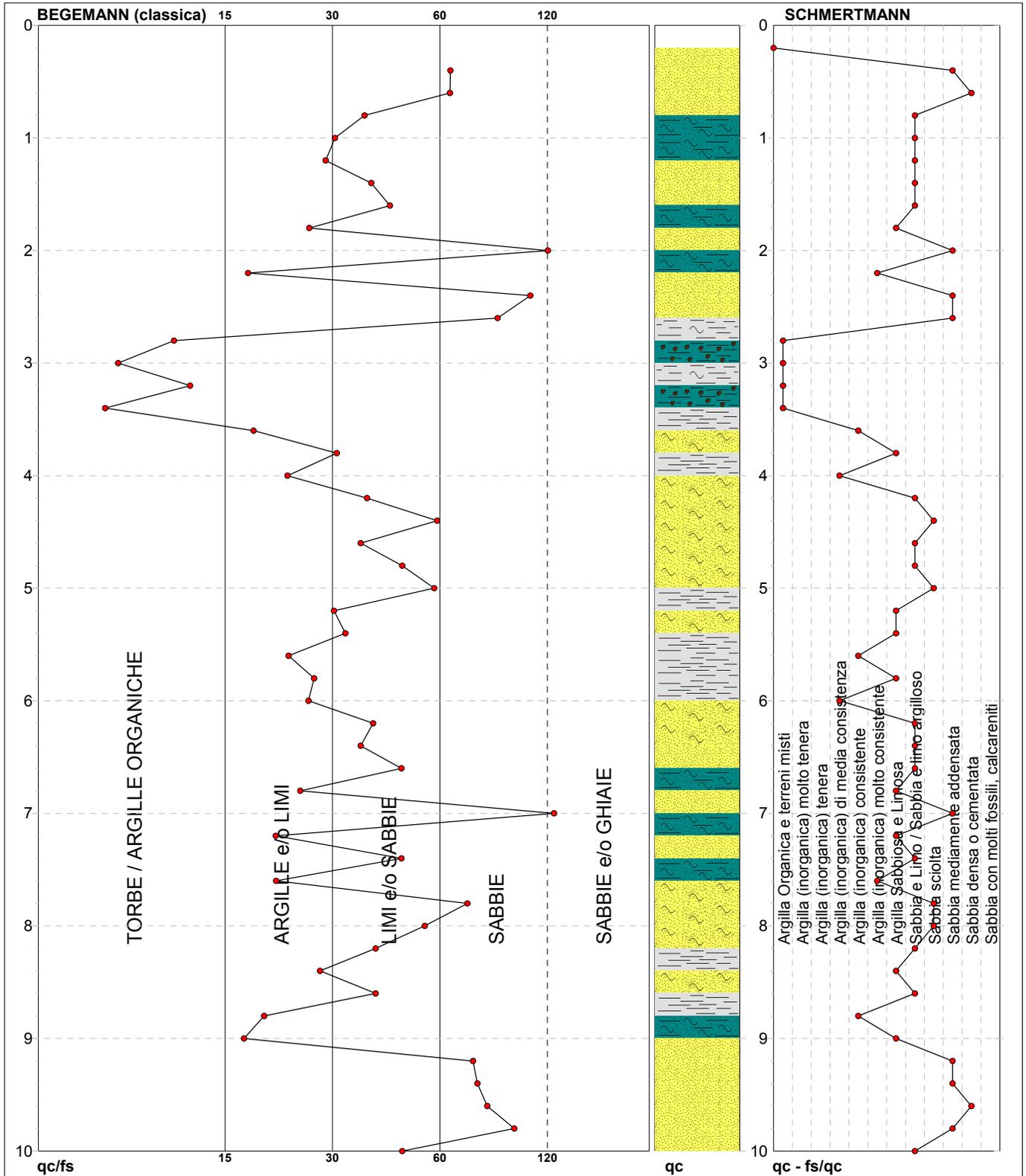
certificato n°

168/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:50**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data exec.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-3,65 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	5 punti, 10,20%	Argilla Organica e terreni misti:	4 punti, 8,16%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 18,37%
Argille e/o Limi :	16 punti, 32,65%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 4,08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	15 punti, 30,61%
Limi e/o Sabbie :	19 punti, 38,78%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 6,12%	Sabbia sciolta:	4 punti, 8,16%
Sabbie:	10 punti, 20,41%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 4,08%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 16,33%
				Sabbia densa o cementata:	2 punti, 4,08%

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON059

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**2**

riferimento

**220311b**

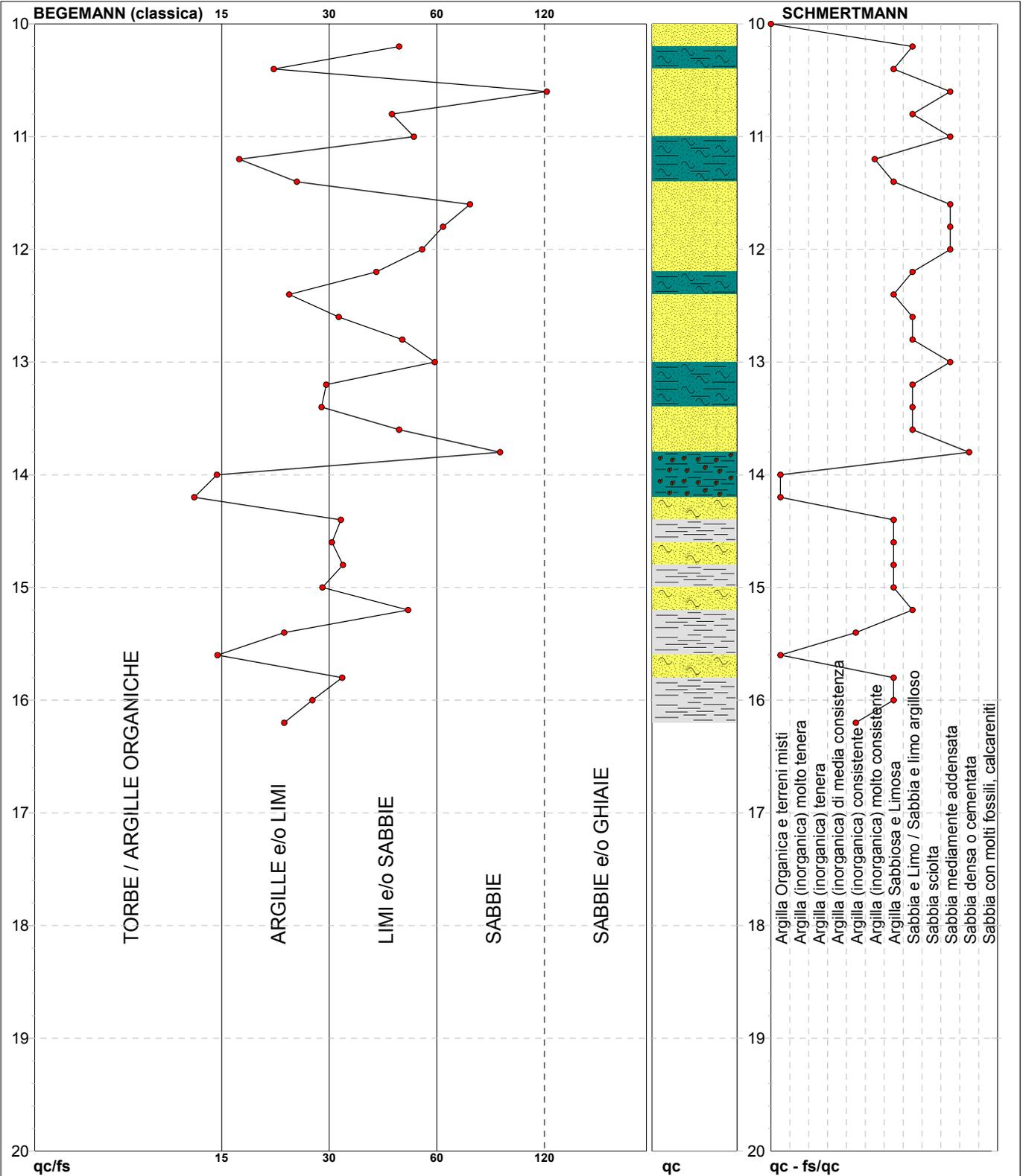
certificato n°

168/22

Committente: **Sig.re Anita e Silvia Pampana**  
 Cantiere: **220311b**  
 Località: **Via Bovio - Pisa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:100**  
 Pagina: **2**  
 Elaborato:

Data eseg.: **11/03/2022**  
 Data certificato: **14/03/2022**  
 Falda: **-3,65 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	21 punti, 42,86%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 6,12%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 18,37%
Argille e/o Limi :	12 punti, 24,49%	Argilla (inorganica) consistente:	2 punti, 4,08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	9 punti, 18,37%
Limi e/o Sabbie :	14 punti, 28,57%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punto, 2,04%	Sabbia mediamente addensata:	6 punti, 12,24%
Sabbie:	3 punti, 6,12%			Sabbia densa o cementata:	1 punto, 2,04%



## RELAZIONE TECNICA

Committente: Anita e Silvia  
Pampana

Località: Pisa – Via Bovio

Data Indagine: 11/03/2022

Codice lavoro: 220311b

### INDAGINI SISMICHE MASW

### INDAGINI SISMICHE HVSR

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.r.l.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano  
Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: [info@gaiaservizi.com](mailto:info@gaiaservizi.com)

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 16/03/2022

## Sommario

PREMESSA .....	3
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR .....	4
GENERALITA' .....	4
SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE .....	7
ELABORAZIONE DEI DATI HVSR .....	7
INDAGINI MASW .....	10
GENERALITA' .....	10
SISTEMA DI ACQUISIZIONE .....	11
INDAGINI EFFETTUATE .....	12
ELABORAZIONE CONGIUNTA DEI DATI MASW E HVSR .....	13

## PREMESSA

Per incarico del Anita e Silvia Pampana, sono state eseguite indagini geofisiche nel Comune di Pisa.

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (VS), è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di superficie da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), sono inoltre state eseguite una serie di misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e a meglio vincolare il modello VS specie in profondità.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

## INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

### GENERALITA'

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo sono:

- ove esistente, la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- ove determinabile, la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la stratigrafia del sottosuolo con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti.

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione di:

- dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtremiti;
- dal percorso dell'onda dalle sorgenti s fino alla posizione x del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
- dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

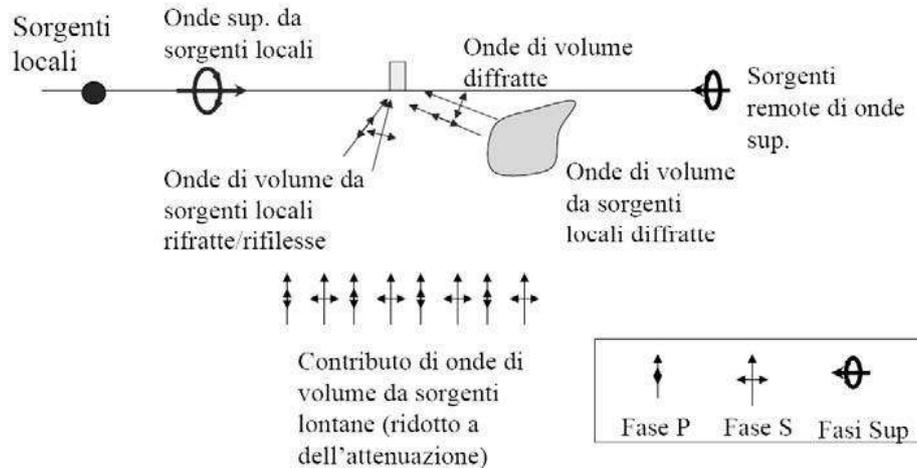


Figura 1: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

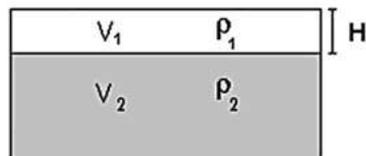
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a (equazione 1):

$$(f_r) = V_s / 4H$$

$$(f_r) = V_p / 4H$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1.

L'utilità delle misure H/V risiede quindi nella possibilità di ricavare empiricamente la frequenza di sito e, a fianco di curve di dispersione date da misure MASW, a vincolare il modello  $V_s$  specie in profondità.

## SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE

La misura prevede la registrazione del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di geofono tridimensionale.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico SARA "SR04 GeoBox" a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 300 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche (E e W).

Sono state eseguite n°1 registrazioni della durata di circa 20 minuti.

## ELABORAZIONE DEI DATI HVSR

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega il software *winMASW Academy* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2005*).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale.

In fase di elaborazione vengono seguite le seguenti operazioni:

1. la registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
2. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
3. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
4. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato, che gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti" e che la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

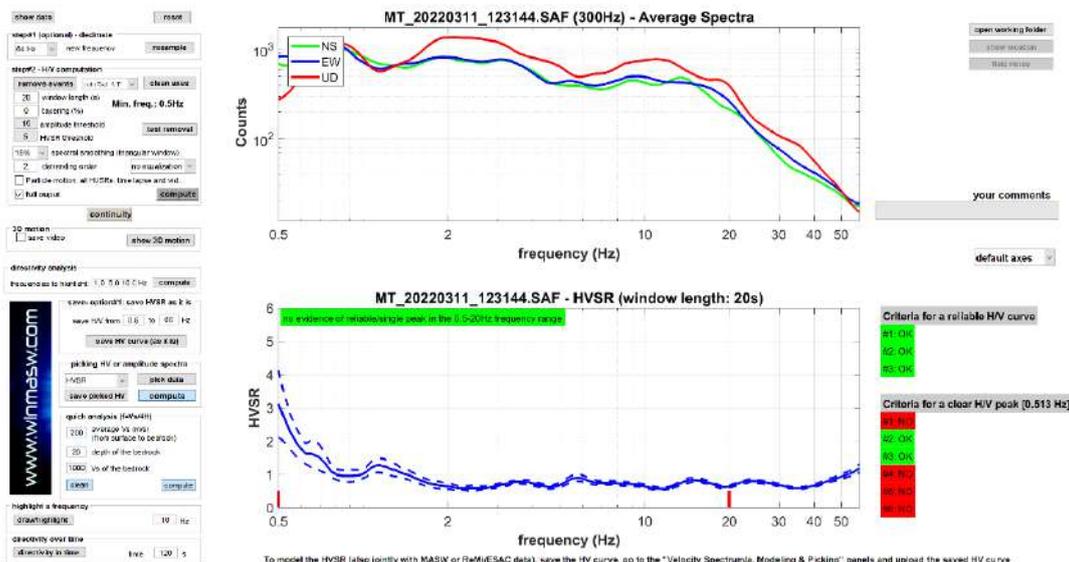
Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva H/V affidabile.

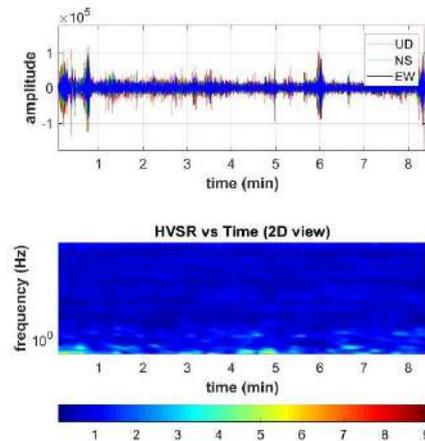
### HVSR 1

Dataset: MT\_20220311\_123144.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 300  
 Window length (sec): 20  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz  
 Length of analysed dataset (min): 10.0  
 Tapering (%): 0  
 Smoothing (%): 15

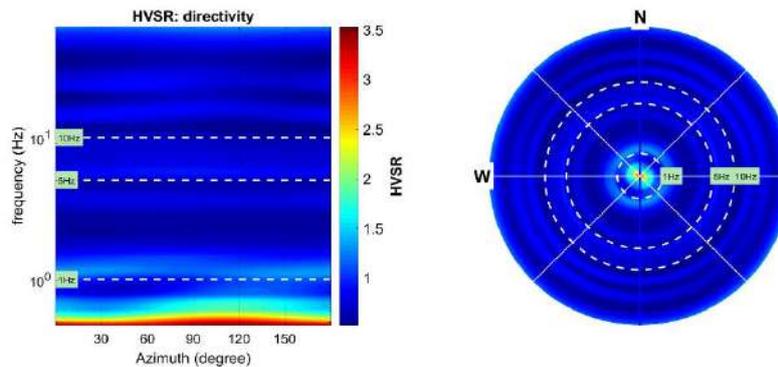
#### **SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**PERSISTENZA H/V**



**DIREZIONALITA' H/V**



**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5

Peak HVSR value: 2.9

**==== Criteria for a reliable H/V curve =====**

- #1.  $[f_0 > 10/L_w]$ :  $0.513 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $523 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

**==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====**

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 0.8Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.9 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{A_f} < \epsilon(f_0)]$ :  $0.220 > 0.077$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $6.295 < 2$  (NO)

*Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change*

## INDAGINI MASW

### GENERALITA'

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

Negli ultimi decenni l'analisi delle onde di superficie si è dimostrata un utile strumento per la determinazione del profilo verticale VS non più solamente per studi di carattere crostale (e.g. Evison et al., 1959) ma anche per indagini *near surface* (Stokoe et al., 1988; Glangeaud et al., 1999; Park et al., 1999; Xia et al., 1999; 2004; Shtivelman, 1999; 2002; Foti et al., 2000; Louie, 2001; O'Neill et al., 2006; Dal Moro et al., 2007; Dal Moro & Papan, 2007).

La sismica a rifrazione ad onde di corpo (P ed S) ha così trovato una valida integrazione, in grado di superare i limiti connessi al canale a bassa velocità (*Low Velocity Layer - LVL*) ed allo strato nascosto (*blind layer*).

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

## SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati per indagini MASW deve essere effettuato uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale per generare onde di Rayleigh e/o una "di taglio" per quelle di Love.

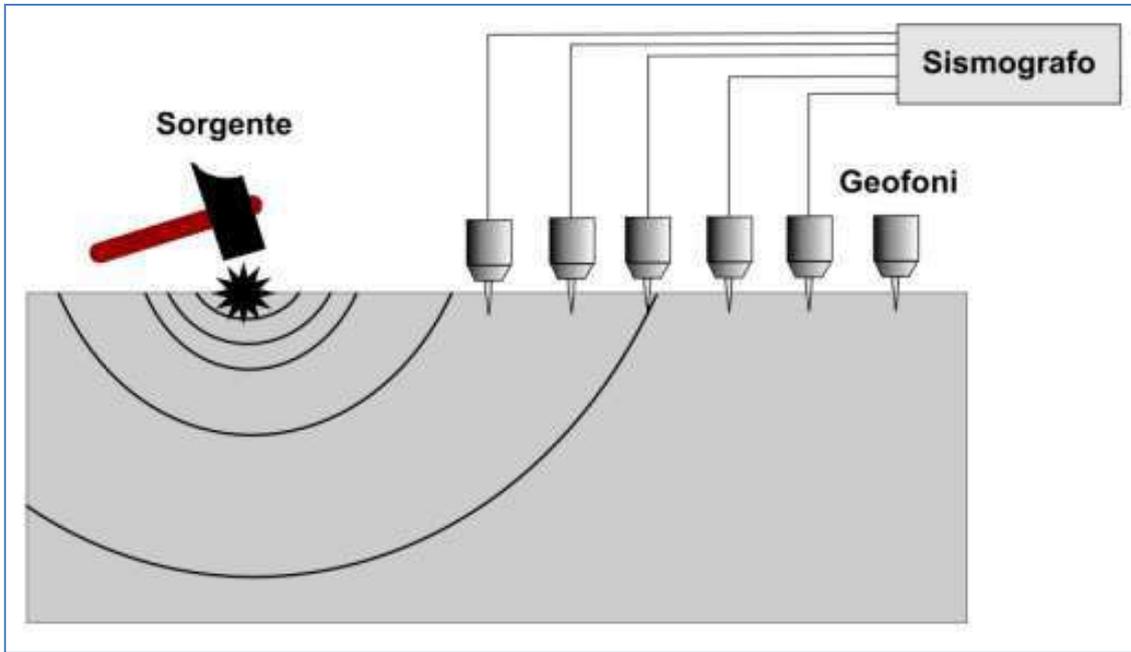


Figura 2: Esempio schematico di stendimento sismico tipo MASW

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico Ambrogeo Echo 24/2002 a 16 bit, collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz in configurazione ZVF per acquisire la componente verticale dell'onda di Rayleigh.

Come sorgente energizzante è stata utilizzata una mazza da 10 kg.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (gefono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta.

## INDAGINI EFFETTUATE

Sono state eseguite n°1 prospezioni sismiche tipo MASW in onde di Rayleigh (componente verticale ZVF).

Le acquisizioni sono state eseguite in base alle seguenti configurazioni:

CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW1	
N° geofoni	24 (orizzontali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	1.5 m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 5m; 6.5m
Sorgente	mazza da 10kg



Figura 3: Stendimento sismico MASW1

## ELABORAZIONE CONGIUNTA DEI DATI MASW E HVSR

I dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando il software *winMASW Academy*.

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. si caricano il file acquisiti in campagna (files SEGY)
2. calcolo dello spettro di velocità (che rappresenta, in scala colorimetrica, le ampiezze delle onde in funzione della velocità di fase e della frequenza)
3. identificazione della curva di dispersione
4. modellazione congiunta considerando la dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V

L'analisi dei dati è stata quindi svolta considerando congiuntamente, dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V della registrazione HVSR 1 eseguita nelle immediate vicinanze della linea MASW1.

La modellazione è riportata nelle Figure 4 e 5 mentre il modello finale è riportato in Pagina 16.

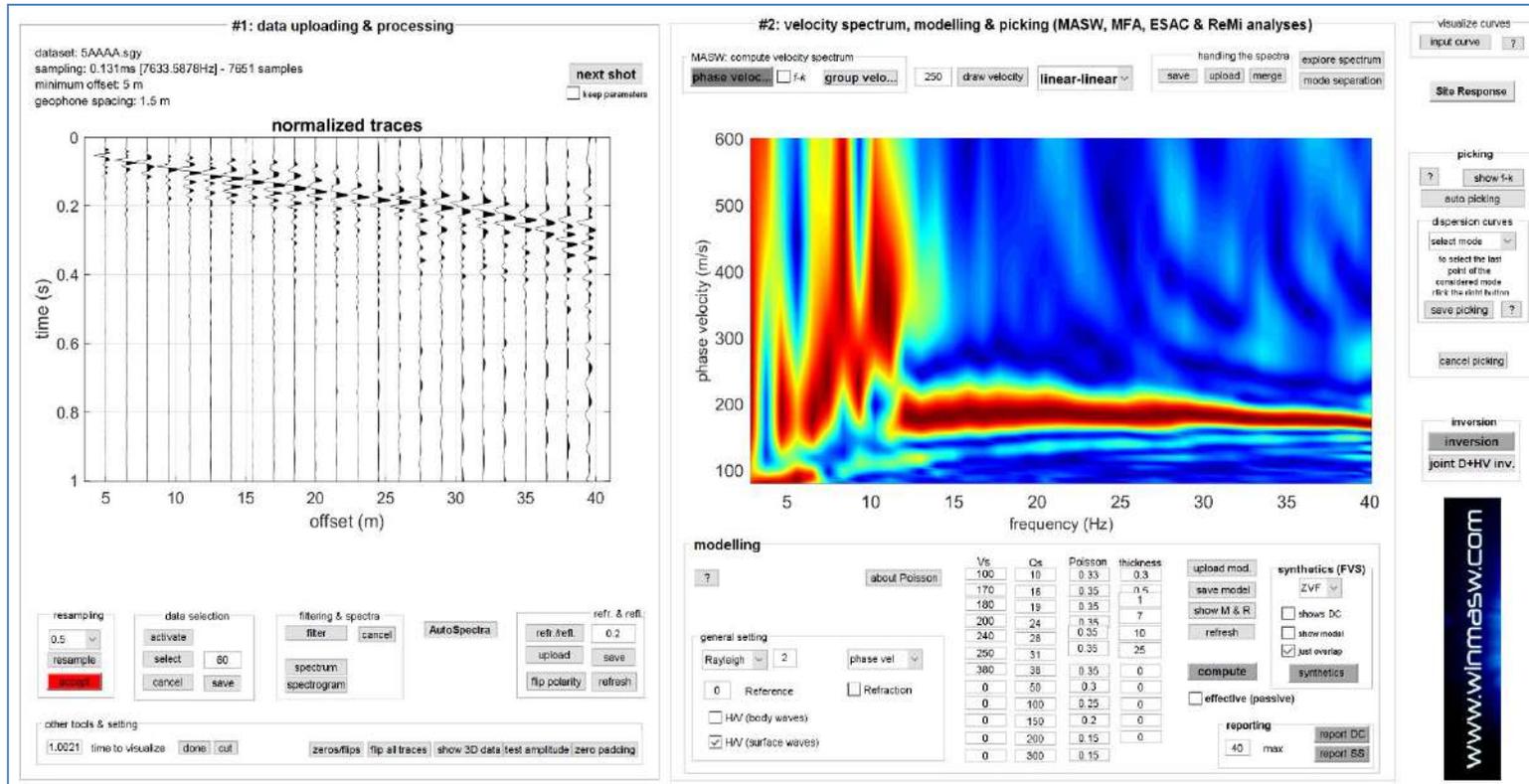


Figura 4: Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

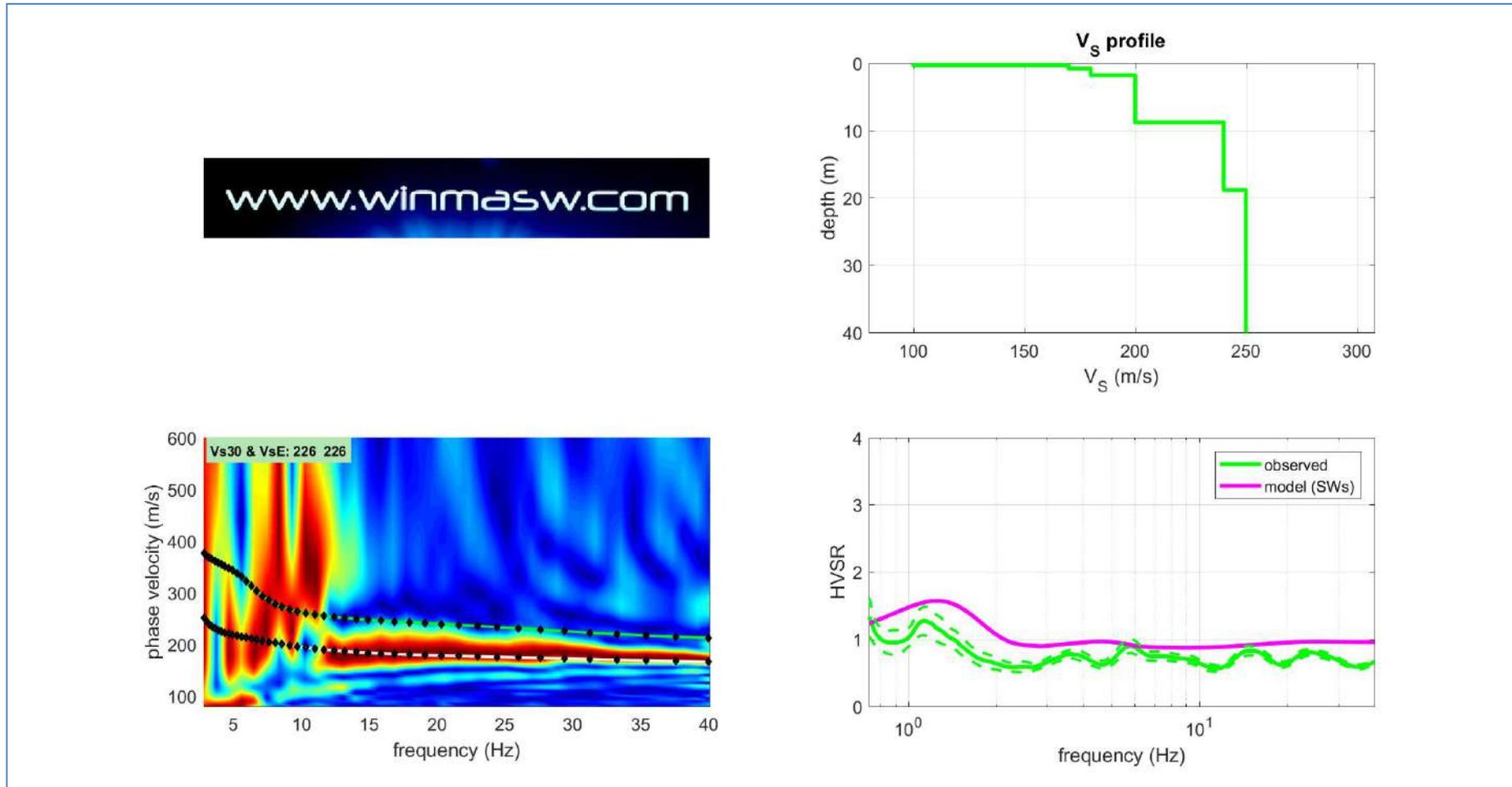


Figura 5 Sulla sinistra gli spettri di velocità relativi alla componenti ZVF con in sovrapposizione le curve di dispersione per l'onda di Rayleigh; Sulla destra in basso in verde le misure HVSR effettuate in sito e in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009); in alto il modello usato per la modellazione.

**Mean model**

Vs (m/s): 100, 170, 180, 200, 240, 250, 380

Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.0, 7.0, 10.0, 25.0

**Vs model (Vs30 & VsE: 226 226 m/s)**

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	100	0.3000	0.3000
2	170	0.5000	0.8000
3	180	1	1.8000
4	200	7	8.8000
5	240	10	18.8000
6	250	25	43.8000
7	380	0	0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.66 1.80 1.82 1.84 1.89 1.90 2.00

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 17 52 59 74 109 118 288

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 199 354 375 416 500 520 791

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

Vs30 and VsE (m/s): 226 226

\*\*\*\*\*

San Giuliano Terme (PI),

16 marzo 2022

**GAIA Servizi S.r.l.****Dott. Jacopo Martini**


## HVSR 33

**Ubicazione:**

43°42'38.59"N

10°24'25.60"E

Piazza Don Minzoni

Comune di Pisa (PI)

Strumento: TRZ-0195/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 13/03/14 16:03:19 Fine registrazione: 13/03/14 16:43:19

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h40'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

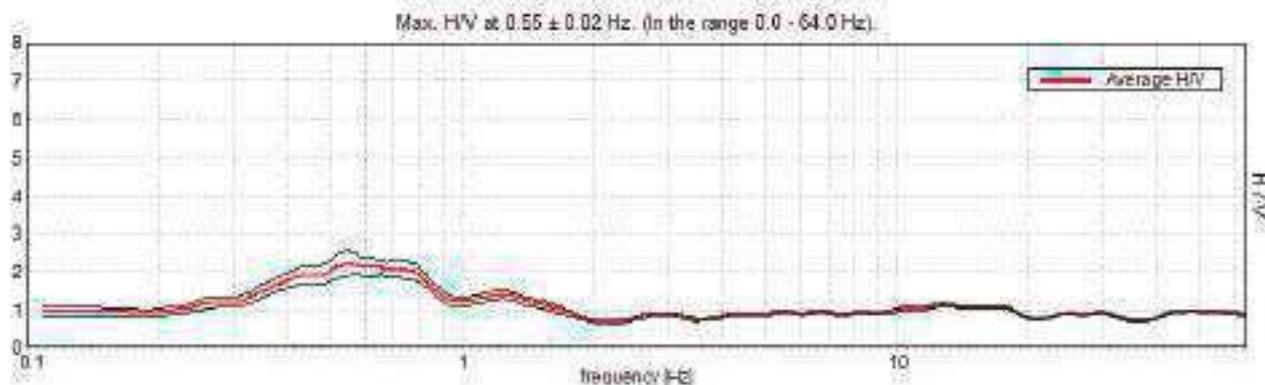
Lunghezza finestre: 50 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

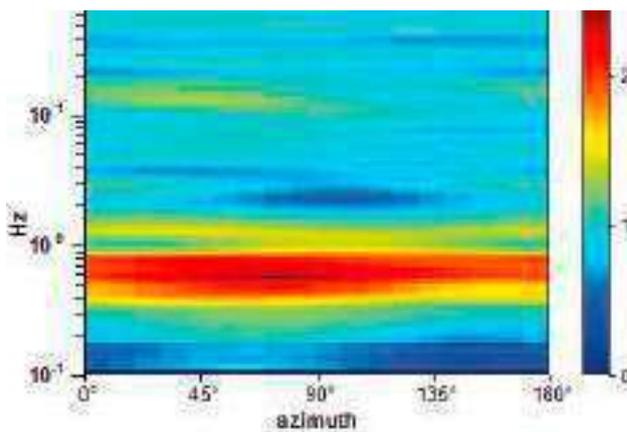
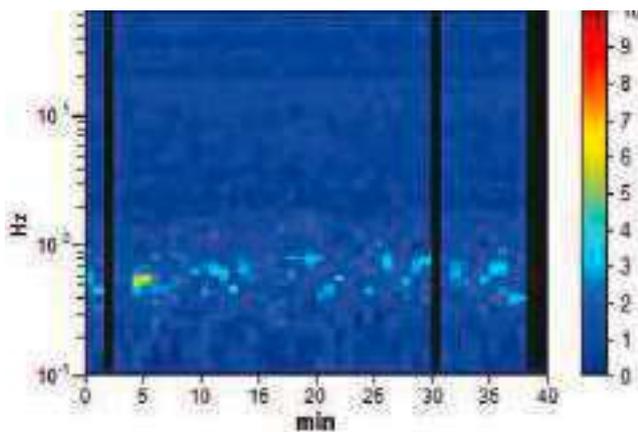


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

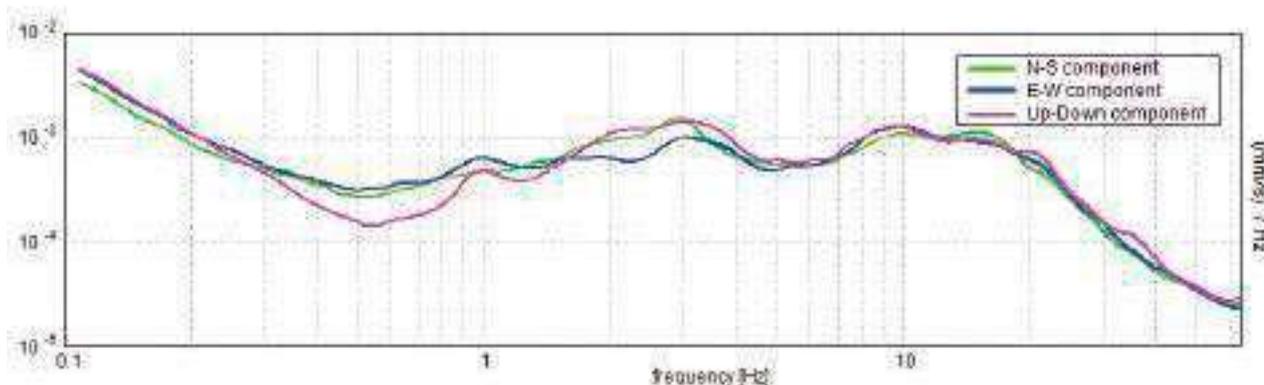


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.55 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz) con ampiezza prossima a 2.2**  
**Secondo picco H/V a 0.70Hz con ampiezza prossimi a 2**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.55 > 0.20$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1203.1 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 54	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.234 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.563 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.22 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.03604  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.01971 < 0.08203$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.3243 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$ 

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**HVSR 94****Ubicazione:**

43°42'37.29"N

10°24'19.63"E

Via Croce

Comune di Pisa (PI)

Strumento: TRZ-0195/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 07/05/00 00:30:49 Fine registrazione: 07/05/00 01:10:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h40'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

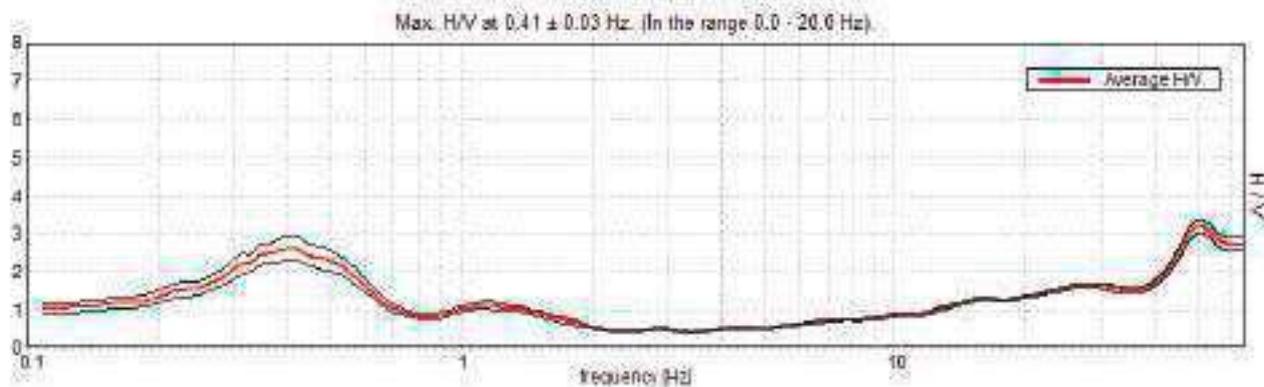
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

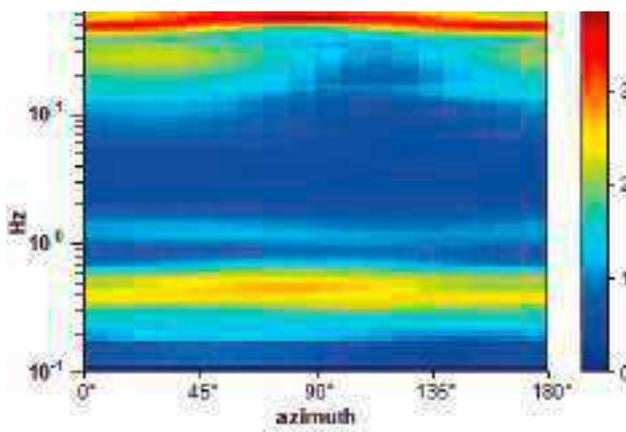
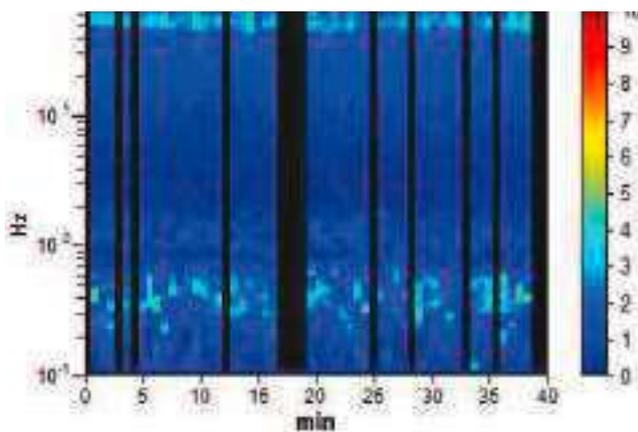


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

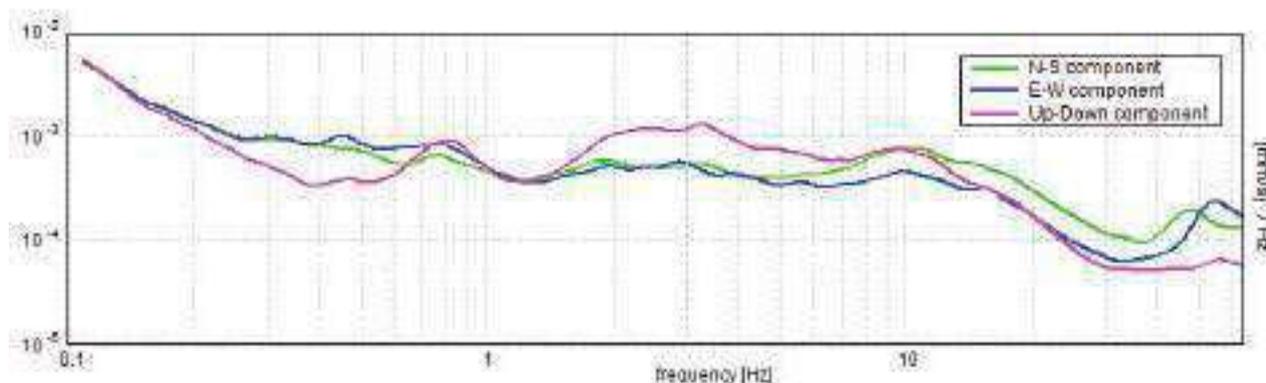


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.41 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz) con ampiezza prossima a 2.5.**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.41 > 0.25$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$747.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 40	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.188 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.656 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.59 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06758  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02745 < 0.08125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.308 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$



Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20