



Proprietà MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.		Titolo Progetto Ampliamento attività stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili, Via di Serravalle 16/29/31, Comune di Pontassieve	
Titolo Documento RELAZIONE GEOLOGICA		Codice Commessa 02015	
		Codice Documento REL_GEO	
CONTRIBUTI SPECIALISTICI E STRUMENTALI			
PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE: GEOTECNICA PALAZZI GIOMARELLI SRL (CHIANCIANO TERME)			
PROSPEZIONI GEOFISICHE DOWN-HOLE: ENKI srl (FIRENZE)			
PROSPEZIONI GEOFISICHE PASSIVE (TROMINO): GARDONE ASSOCIATI CONSULENZE (FIRENZE)			
Tabella Revisioni			
Revisione: A	Descrizione:	EMESSO PER APPROVAZIONE	
	Stesura:	E.MONTINI	Data: 18/09/2020 Firma: MON
	Approvazione:	L. GARDONE	Data: 25/09/2020 Firma: GAR
			N° pagine: 27

INDICE

PREMESSA	4
1. QUADRO DI RIFERIMENTO PROGETTUALE.....	5
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	5
3. QUADRO DI RIFERIMENTO PIANIFICATORIO.....	6
3.1 ZONAZIONI DI PERICOLOSITÀ DA PIANO STRUTTURALE	6
3.2 INTERAZIONI DEL PROGETTO CON LE NORME DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO	7
3.4 INTERAZIONI DEL PROGETTO CON LE NORME DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA).....	7
3.5 INTERAZIONI DEL PROGETTO CON LE NORMATIVE VIGENTI IN TEMA DI VINCOLO IDROGEOLOGICO	8
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	9
4.1 GEOLOGIA	9
4.2 GEOMORFOLOGIA.....	10
4.3 IDROGEOLOGIA.....	11
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	11
5.1 CARATTERISTICHE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE	11
5.2 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO.....	12
5.3 CAROTAGGIO SISMICO DOWN HOLE	13
5.4 STAZIONE CON TROMOGRAFO DIGITALE	15
6. CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA	18
7. CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DELLA ZONA	20
8.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	20
8.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE.....	21
8.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	21
8. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI DA UN PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO.....	24
9. GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	25
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	25

ALLEGATI

Elaborati cartografici

Stratigrafia sondaggio

Relazione Sismica Specialistica

Report SESAME

Premessa

La presente relazione illustra i risultati di un'indagine geologica di supporto all'ampliamento dell'attività di stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili di proprietà Moggi Smaltimenti srl posto in Via di Serravalle 12/14/16/29/31, in località Molin del Piano, nel Comune di Pontassieve (Tavola 1), identificato catastalmente alla particella n.475 Foglio n.63 della lottizzazione Montetrini (Tavola 2). Nello specifico, gli aspetti considerati ai fini della presente relazione riguardano esclusivamente l'intervento di asfaltatura di un piazzale destinato alle attività di gestione rifiuti, inglobando pertanto l'area, attualmente descrivibile come piazzale in ghiaia, facente parte del lotto 4. Nell'ambito di tali interventi è prevista l'istallazione di un sistema di trattamento delle acque con disoleatore in grado di trattare le acque meteoriche di dilavamento provenienti dal futuro piazzale asfaltato; analogo sistema di trattamento e depurazione AMD verrà installato nel lotto antistante, contraddistinto con il numero 6, dove attualmente è presente un capannone adibito a deposito/magazzino. Ulteriori dettagli e precisazioni sulle caratteristiche dell'intervento possono essere acquisiti dalla consultazione delle tavole redatte dal progettista Arch. Marco Paggetti.

I dati relativi all'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico della zona sono stati preliminarmente acquisiti dalla consultazione delle carte tematiche allegate al Piano Strutturale del Comune ed in seguito puntualmente verificati con i sopralluoghi ed i rilievi di dettaglio condotti nell'area di intervento.

A livello investigativo, per una caratterizzazione litostratigrafica, geomeccanica e sismica dei terreni interessati dalle opere in progetto, trattandosi di un intervento che, per dimensioni e caratteristiche, ai sensi dell'art. 7 DPGR 36R/2009, può inquadrarsi in classe 1, si fa riferimento ad una pregressa campagna di indagini effettuata dallo scrivente nei luoghi interessati dalle opere in progetto.

Le risultanze di tali studi hanno consentito di ricostruire la geometria e le caratteristiche reologiche della coltre superficiale nonché del substrato litoide diffusamente presente nell'area di intervento. A corredo degli accertamenti investigativi descritti, sono state infine effettuate misure del rumore sismico ambientale, mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura (Tromino Energy Plus) in grado di rilevare le frequenze "naturali" di vibrazione correlate ad una possibile risposta sismica locale del suolo.

Una volta acquisite ed elaborate tali informazioni, si è provveduto a verificare le condizioni di fattibilità degli interventi previsti ed a formulare indicazioni a supporto della progettazione e delle verifiche strutturali.

L'area in studio risulta, infine, soggetta a Vincolo Idrogeologico secondo il R.D. n.3267 del 1923 ed esterna alle perimetrazioni delle aree boscate.

1. Quadro di riferimento progettuale

Allo stato attuale dei luoghi, il piazzale adibito a parcheggio del lotto 4, si presenta come un appezzamento di terreno con fondo sterrato e delimitato, sul lato strada ed al confine con gli altri lotti, tramite muretti in calcestruzzo gettati in opera con sovrapposta inferriata metallica.

I lavori consisteranno nella realizzazione di muri “controterra” in calcestruzzo in modo da istituire un presidio a protezione del piazzale dalla scarpata esistente sul lato a monte costituita tuttavia da parete rocciosa. Il piazzale a ghiaia, la cui superficie risulta essere pari a circa 2000 m², verrà completamente pavimentato a battuto di cemento carrabile ed adibito ad area di stoccaggio esterna. La completa pavimentazione avverrà unitamente alla richiesta di deroga alle aree permeabili in considerazione dell'attività svolta. In tale ottica si prevede l'installazione di un sistema di trattamento delle acque con disoleatore in grado di recepire le acque meteoriche di tutto il lotto 4; tale impianto verrà realizzato tramite l'installazione di n.2 cisterne interrate visibile in Tavola 3 per un volume complessivo di circa 40 m³. Le suddette cisterne verranno installate nel lotto 4 e nel lotto 6, ai lati della strada di penetrazione interna Via di Serravalle.

Tali interventi non interferiranno con il fosso intubato che corre lungo il lato est del piazzale, il quale, pur non essendo in alcun modo interessato da deflussi idrici o apporti meteorici, è formalmente inserito nell'elenco del reticolo idrografico della Regione Toscana e pertanto sottoposto alle norme e direttive del RD 523/1904. Quanto in progetto infatti non prevede istituzione di nuovi manufatti o scavi entro la fascia di pertinenza e rispetto previste dal RD citato ovvero entro i 4 ed i 10 metri dal ciglio di sponda o dall'asse mediano del condotto interrato. Ulteriori dettagli e precisazioni sulle caratteristiche dell'intervento possono essere acquisiti dalla consultazione delle tavole redatte dal progettista Arch. Marco Paggetti.

2. Quadro normativo di riferimento

Lo studio è stato effettuato secondo quanto previsto dal seguente quadro normativo:

- **Decreto Ministeriale 17.01.2018** - Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- **Consiglio Superiori dei Lavori Pubblici** - Istruzione per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare del 27 luglio 2018;
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale n.42 del 20/02/2018
- **DPGRT 9/07/2009 n° 36/R** -Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;

- **D.P.G.R.16.03.2010, n. 32/R.** - Modifiche al regolamento emanato con decreto del Presidente della Giunta regionale 8 agosto 2003, n. 48/R (Regolamento forestale della Toscana"
- **D.P.G.R.08.08.2003, n. 48/R.** - Regolamento forestale della Toscana;
- **D.P.G.R.T 25 ottobre 2011 n° 53/R** – Regolamento di attuazione dell’art. 62 della L.R. 3 gennaio 2005 n.1 in materia di indagini geologiche;
- **D.P.G.R. 05 febbraio 2020 n. 5/R** – Regolamento di attuazione dell’art. 104 della L.R. 10 novembre 2014 n.65 in materia di indagini geologiche;
- **Eurocodice 7.1 (1997)** - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- **Eurocodice 7.2 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte 2: Progettazione assistita da prove di laboratorio;
- **Eurocodice 7.3 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte 2: Progettazione assistita con prove in sito;
- **Eurocodice 8 (1998)** - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

3. Quadro di riferimento pianificatorio

3.1 Zonazioni di pericolosità da Piano Strutturale

Come riportato dagli studi allegati al Piano Strutturale, la carta della pericolosità geologica rappresenta la sintesi di tutti gli elaborati cartografici tematici redatti a supporto del PS e del RU e relative varianti e di tutte le conoscenze geologico-tecniche acquisite sul territorio investigato.

Lo scopo principale è quello di individuare e localizzare i fenomeni geologici s.l. ed indicarne il livello di indagine di approfondimento da attuare nel caso in cui siano previsti interventi in progetto proprio in aree da essi interessate.

In base alla consultazione della carta delle **pericolosità geomorfologica** redatta ai sensi dell'ex DPGR 26/R del 2007 ed allegata alla variante del R.U. del Comune di Pontassieve denominata "2° Regolamento Urbanistico" (Tavola 4), si rileva come la zona in esame sia ricompresa per la quasi totalità all'interno di un'area a pericolosità bassa G1, corrispondente a *"aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa"*.

Per quanto concerne la **pericolosità idraulica**, le carte allegate al Piano Strutturale (Tavola 5) evidenziano come il lotto oggetto di intervento risulti esterno alle aree in pericolosità. In egual modo, per quanto attiene gli **aspetti sismici**, la carta degli aspetti particolari per le zone sismiche e della zonazione sismica allegata al Piano Strutturale comunale (Tavola 6), evidenzia come il lotto sia esterno ad aree potenzialmente instabili.

3.2 Interazioni del progetto con le norme dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno

Il Piano di Bacino del Fiume Arno è redatto, adottato ed approvato ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della legge 18 maggio 1989 n. 183, quale stralcio del Piano di Bacino dell'Appennino Settentrionale. Esso ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale, attraverso le proprie disposizioni, persegue l'obiettivo generale di garantire livelli di sicurezza adeguati ai fenomeni di dissesto geomorfologico in atto o potenziali. A seguito della pubblicazione del D.P.C.M. 06/05/2005 "Approvazione del Piano di Bacino del Fiume Arno – Stralcio Assetto Idrogeologico" sulla Gazzetta Ufficiale n. 230 del 03/10/2005, il PAI entra ufficialmente in vigore dopo l'adozione con deliberazione n. 185 del 11/11/2004. Con l'entrata in vigore del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) D.C.I. n. 235 del 3 marzo 2016, i contenuti del PAI relativi alla pericolosità idraulica ed al rischio idraulico sono trattati nel PGRA e nella relativa disciplina di piano. **Allo stato attuale, il PAI mantiene i propri contenuti e le proprie norme d'uso per quanto riguarda la pericolosità ed il rischio da frana nel bacino.**

In seguito a quanto richiesto dall'Europa in merito alla coerenza con i principi della direttiva 2000/60/CE e delle successive direttive in materia di acqua e suolo, è stato avviato un percorso di riforma pianificatoria di tutte le Autorità di Bacino distrettuali. Il Progetto di Piano, denominato PAI "dissesti geomorfologici", è stato adottato con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n. 20 del 20 dicembre 2019 ed interessa il territorio dei bacini toscani – umbri interamente ricadenti nel distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale. Il nuovo Progetto si pone l'obiettivo di omogeneizzare i criteri metodologici sia per la parte normativa sia per la definizione delle nuove classi di pericolosità geomorfologica.

Nella fattispecie, sulla base della cartografia dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno definita a livello di dettaglio (Tavola 7), per la pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante l'area in studio non ricade all'interno di nessuna classe di pericolosità e pertanto non ne è assoggettata alle norme di Piano. Si tiene a precisare che l'area di interesse lotto 4 risulta essere adiacente ad un'area classificata in pericolosità "P3b": tale area coincide con la scarpata sul lato a monte del piazzale oggetto di intervento e che, secondo quanto detto in precedenza in merito al riferimento progettuale, subirà interventi di sostegno e regolarizzazione.

3.4 Interazioni del progetto con le norme del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

IL Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016, secondo le indicazioni della Direttiva "Alluvioni" europea (2007/60/CE) e del Decreto legislativo di recepimento 49/2010.

Il PGRA rappresenta il nuovo piano di riferimento ai fini della pianificazione e gestione del rischio idrogeologico. Con il PGRA è stato delineato un “quadro comune e unico di riferimento” in cui si mettono a sistema, si razionalizzano ed integrano tra loro le azioni e gli interventi necessari per la gestione degli eventi possibili, senza abbandonare completamente i contenuti tecnico-giuridici derivanti dalle pianificazioni di assetto idrogeologico (PAI), ma aggiornandoli con scenari ed elaborazioni nuove ed inquadrandoli all'interno della cornice comunitaria.

Nella fattispecie, sulla base della cartografia dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno definita a livello di sintesi (Tavola 8), l'area oggetto di studio, non è soggetta a situazioni di rischio o pericolosità dovute inondazioni o fenomeni simili.

3.5 Interazioni del progetto con le normative vigenti in tema di vincolo idrogeologico

La L.R. 39/00 Legge forestale della Toscana unifica, coordina la normativa regionale in materia forestale, nel rispetto dei principi fondamentali dettati dalle leggi dello Stato in materia di boschi, territori montani, vincolo idrogeologico, difesa del suolo e tutela delle zone di particolare interesse ambientale. Attraverso piani pluriennali volti a migliorare la qualità e a consolidare l'estensione dei boschi e a identificare gli spazi per le opportune strutture economiche e turistiche, i piani prevedono, anche secondo la legge 97/1994, la priorità per il "riassetto idrogeologico, la sistemazione idraulico-forestale, l'uso delle risorse idriche, la conservazione del patrimonio monumentale dell'edilizia rurale, dei centri storici e del paesaggio rurale e montano. Il quadro normativo, oltre che con le successive modifiche si è completato con il Regolamento Forestale della Toscana (DPGR 48/R dell'08/08/2003) e con il più recente DPGR 53R del 05/05/2015.

Il piano di gestione è coordinato con gli atti di programmazione regionale e provinciale e con i piani pluriennali di sviluppo socioeconomico delle Comunità Montane. L'amministrazione dei complessi agricolo-forestali di cui all'articolo 28 è effettuata dalle Comunità Montane, per quanto riguarda i beni esistenti nei rispettivi territori, e dai Comuni per gli altri beni.

Il Regolamento in materia di vincolo idrogeologico del Comune, in coerenza con il “Regolamento Forestale della Regione Toscana”, disciplina l'organizzazione e lo svolgimento delle funzioni attribuite al Comune dalla L.R. 21/08/2000 n. 39, come modificata dalla L.R. 02/01/2003 n. 1. In esso vengono disciplinate le procedure e le modalità di presentazione delle domande di autorizzazione e delle dichiarazioni ai fini del vincolo idrogeologico per tutte le trasformazioni della destinazione d'uso dei terreni all'interno del territorio comunale sottoposti a vincolo idrogeologico a seguito di opere di carattere urbanistico ed edilizio che comportino la edificazione, la realizzazione di opere infrastrutturali e comunque opere costruttive in genere e movimenti di terra.

Il lotto oggetto di intervento risulta essere interno alle aree soggette a vincolo idrogeologico (Tavola 9) tuttavia, tenendo presente la natura dell'intervento, si ritiene che gli interventi oggetto di studio non vadano ad aggravare la stabilità né tantomeno il corretto ordine idrogeologico delle aree circostanti. L'intervento risulta inoltre coerente con quanto disciplinato, in materia di regimazione delle acque provenienti da superfici impermeabili, dall'art.74, comma 1, lettera a) del Regolamento Forestale della Toscana n.48/R.

Sarà comunque avviata la procedura più idonea in coerenza a quanto previsto dal Regolamento Comunale in materia di Vincolo Idrogeologico. Nella presente relazione vengono quindi trattati ed esaminati gli aspetti necessari per la formulazione di un giudizio di fattibilità.

4. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico

4.1 Geologia

Da un punto di vista geologico l'area di studio è ubicata in corrispondenza della zona nord-est della catena orogenica dell'Appennino settentrionale, parte integrante della fascia di deformazione peri-mediterranea sviluppatasi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche.

Nell'area di studio sono presenti litotipi appartenenti al Super Gruppo della Calvana (Dominio Ligure) ed in particolare i litotipi argillitici della Formazione di Sillano (**SIL**) oltre ai calcari della Formazione di Monte Morello (**MLL**) (Tavola 10).

La Formazione di Monte Morello è caratterizzata da strati calcareo-marnosi di natura torbidityca, costituiti da una porzione basale a grana prevalentemente fine o finissima grigio-biancastra passante a calcilutiti marnose a marne grigio chiare; di tutt'altra natura risultano invece i litotipi della Formazione di Sillano, contraddistinti da argilliti e siltiti fogliettate, grigio scure, nerastre, marroni, ocre o verdastre, alternate a strati calcarei e calcareo marnosi a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione.

Tali litotipi risultano comunque generalmente mascherati da una modesta coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, depostasi al piede del versante per azione gravitativa, mentre lungo il fondo valle sono presenti depositi alluvionali recenti, sedimentati in discordanza ed al di sopra delle coltri gravitative.

Il sondaggio geognostico ha confermato tale assetto ed i rapporti tra le varie componenti litologiche, mostrando la presenza di un primo livello di copertura, caratterizzato da uno spessore di circa 3.0-4.0 m, costituito da sabbie medio grossolane, con abbondanti frammenti litici calcarenitici, al di sotto del quale è presente il substrato in facies argillitico-siltitico intervallato da tratti di calcari e calcareniti decompressi, fratturati ed alterati.

4.2 Geomorfologia

Il terreno sul quale è prevista la realizzazione del fabbricato è ubicato in sinistra idrografica del Torrente Sieci, lungo un fondovalle, alle pendici orientali dei rilievi collinari di M. Fornello. L'area si trova ad una quota media di circa 119 m s.l.m, e la morfologia della zona è sub pianeggiante, localmente modellata dagli interventi antropici e di urbanizzazione per l'area PIP di Molin del Piano.

L'analisi documentale e bibliografica condotta, comprensiva della ricognizione sul quadro conoscitivo dello S.U. del Comune di Pontassieve, relativa al sito interessato dagli interventi in progetto, non manifesta situazioni di particolare criticità per quanto attiene i connotati geomorfologici. Quanto affermato è desunto dai dati e dalle informazioni reperite, è stato puntualmente verificato e confermato dai risultati del sopralluogo e dei rilievi in sito; in particolare è stato effettuato un rilievo geologico strutturale lungo la scarpata aperta che delimita a N il perimetro destinato all'intervento in progetto. Tale rilievo ha messo in evidenza l'affioramento di un ammasso litoide caratterizzato da una sequenza riferibile principalmente ai seguenti litotipi:

- Calcarei marnosi, compatti, di colore bianco avana, a grana fine e frattura concoide con spessore variabile dai 30 cm ai 2-3 metri.
- Calcarei marnosi granulosi di colore giallo avana con frattura concoide e spessore variabile da poche decine di centimetri a qualche metro
- Sottili intercalazioni di scisti argillosi (o leggermente marnosi) di colore grigio scuro;
- Calcarei grigi al taglio fresco, marrone rossastro se alterate, di spessore da pochi centimetri a 20-40 centimetri.

La giacitura dell'ammasso in affioramento è a reggipoggio con una leggera inclinazione di 28°-30° sull'orizzonte, sovrastato da una modesta copertura terrigena. Gli elementi geologico strutturali sin qui acquisiti consentono di escludere dinamiche di versante ed instabilità dei futuri fronti di scavo. In considerazione di quanto riportato viene pertanto confermata la diagnosi originaria ovvero di un'assenza di fenomenologie o dinamiche morfologiche degne di nota o che possano avere una qualche ripercussione sull'areale interessato dal progetto (Tavola 11).

Per quanto riguarda il reticolo idrografico, il principale corso d'acqua presente nella zona è il già citato Torrente Sieci, che scorre a circa 165 m di distanza ad ovest dell'area oggetto di studio; sono inoltre presenti alcuni fossi e borri di limitata estensione ed importanza, tra cui uno posto a monte della zona di studio. Lungo tale impluvio, che si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 500 m, confluiscono i contributi idrici superficiali dei terreni contermini in favore di pendenza; tale corso d'acqua risulta pertanto caratterizzato da un regime idraulico prettamente torrentizio con portate pressoché inconsistenti o nulle per buona parte dell'anno. In

corrispondenza dell'area d'intervento risulta comunque tombato sino alla confluenza nel Torrente Sieci.

4.3 Idrogeologia

I litotipi rocciosi sono caratterizzati da una permeabilità di tipo secondario, legata quindi all'entità dei sistemi di fratturazione che interessano il substrato.

La Formazione di M.Morello, può essere ragionevolmente considerata come mediamente permeabile in relazione alla presenza di fratture che, in funzione della loro densità e delle loro caratteristiche, possono favorire la circolazione delle acque. La Formazione di Sillano presenta invece una permeabilità per porosità secondaria bassa, dovuta essenzialmente alla prevalenza di litotipi prevalentemente argillosi. Per quanto concerne la coltre superficiale, la circolazione dell'acqua è legata alla permeabilità primaria dei terreni presenti, ovvero dipende esclusivamente dalla porosità intrinseca dei terreni stessi.

Durante la realizzazione del sondaggio è stata osservata la presenza di una circolazione idrica, intercettata, in un primo caso a circa 10 metri di profondità, quantitativamente meno significativa in corrispondenza di calcari marnosi e calcareniti fortemente alterati e disarticolate in abbondante matrice sabbioso limosa; nel secondo caso, una manifestazione idrica più significativa è stata riscontrata a circa 20.0 metri da p.c..

Si tratta in ambedue i casi di circolazioni idriche residenti entro l'ammasso litoide fratturato; nel primo caso residente e confinata entro il cappellaccio di alterazione con modeste potenzialità produttive e debole prevalenza, con livello statico stabilizzato posto a circa 6 metri dal p.c. Nel secondo caso, l'acquifero è apparso assai più consistente e potenzialmente produttivo.

5. Indagini geognostiche

5.1 Caratteristiche della campagna di indagine

Per lo sviluppo di un modello litotecnico e sismico si fa riferimento alla campagna di indagini geognostiche effettuata a supporto della relazione geologica redatta dallo scrivente in data novembre 2011, costituita da un sondaggio a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di 31 metri dal piano campagna, da una prospezione con sismica in foro, oltre che da misure sulle frequenze "naturali" di vibrazione sito specifiche (Tavola 11). La combinazione di tali metodologie investigative, tra loro complementari, consente di ottenere, in simili contesti, una sorta di radiografia del sottosuolo sino a profondità compatibili alle necessità investigative emerse, nel rispetto dei disposti normativi sia nazionali (NTC18) che regionali (DPGRT n° 36/R del 2009).

5.2 Sondaggio a carotaggio continuo

La perforazione è stata eseguita con sonda "Beretta T44" cingolata gommata, usando un tubo carotiere da 101 mm e seguendo modalità ed accorgimenti atti a garantire la massima rappresentatività dei terreni indagati. Il sondaggio è stato spinto fino ad una profondità di 31 metri dal piano campagna. Le carote di terreno estratte sono state conservate in apposite cassette catalogatrici in polistirolo e fotografati con appositi cartelli esplicativi contenenti dettagli sul cantiere, sul sondaggio e sulle profondità di prelievo.

Durante l'esecuzione della perforazione non è stato possibile prelevare alcun campione indisturbato in ragione della natura dei materiali intercettati, mentre sono state realizzate due prove penetrometriche dinamiche in avanzamento.

Nella successiva tabella sono state riportate sinteticamente le principali informazioni del sondaggio:

Sondaggio	Prof.(m)	Tubazione Down Hole	S.P.T.	Campioni Ind.	Campioni Rim.
S1	31	88.6	2	-	-

Il sondaggio è stato attrezzato con tubazione da 88.9 mm in PVC con giunzioni M/F costituiti da spezzoni ciechi di lunghezza max 300 cm; l'intercapedine tra tubo e parete del foro è stata riempita completamente con cemento.

Per le caratteristiche dei terreni attraversati, non è stato possibile prelevare campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio. Si è optato pertanto per eseguire, dove possibile e significativo, prove SPT in avanzamento, in corrispondenza dei livelli di copertura costituiti da materiale sciolto e più granulare.

La prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63.5 Kg, da un'altezza di 76 cm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore con punta conica, per l'analisi dei terreni incoerenti, di dimensioni standardizzate. Nel corso della prova viene registrato il numero di colpi necessari per l'affondamento del campionatore per tre tatti consecutivi di 15 cm cadauno; Il valore definitivo N_{spt} è dato dalla somma dei due valori registrati per l'infissione degli ultimi 30 cm. I risultati delle prove SPT vengono qui di seguito riportate:

Sondaggio	Profondità (m)	N_{colpi}	N_{spt}
S01	2.0	20/26/13	39

	4.0	RIF.	-
--	-----	------	---

Per la stima della resistenza al taglio in condizioni drenate si è fatto quindi impiego della correlazione di Shioi e Fukuni [1982], che prevede l'impiego dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche:

$$\varphi' = 15 + \sqrt{15 \times N'_{SPT}}$$

attraverso questa correlazione è possibile stimare la resistenza al taglio drenata per i terreni incoerenti, normal consolidati e non cementati conoscendo i valori dell'indice N_{SPT} .

Anche per la stima indicativa di alcuni parametri di deformabilità dei terreni, che verranno successivamente proposti, laddove non siano presenti determinazioni dirette, possono essere utilizzate correlazioni di natura empirica, impiegando i risultati delle prove penetrometriche e dalle prospezioni sismiche superficiali ed in foro. Tuttavia è opportuno precisare che, essendo i parametri di deformabilità molto sensibili alle modificazioni prodotte dalle condizioni al contorno, causate per esempio dalle operazioni di perforazione o dalle operazioni di infissione dinamica dell'attrezzo di prova, i valori desunti dalle correlazioni impiegate sono da intendersi a carattere puramente qualitativo.

5.3 Carotaggio sismico Down Hole

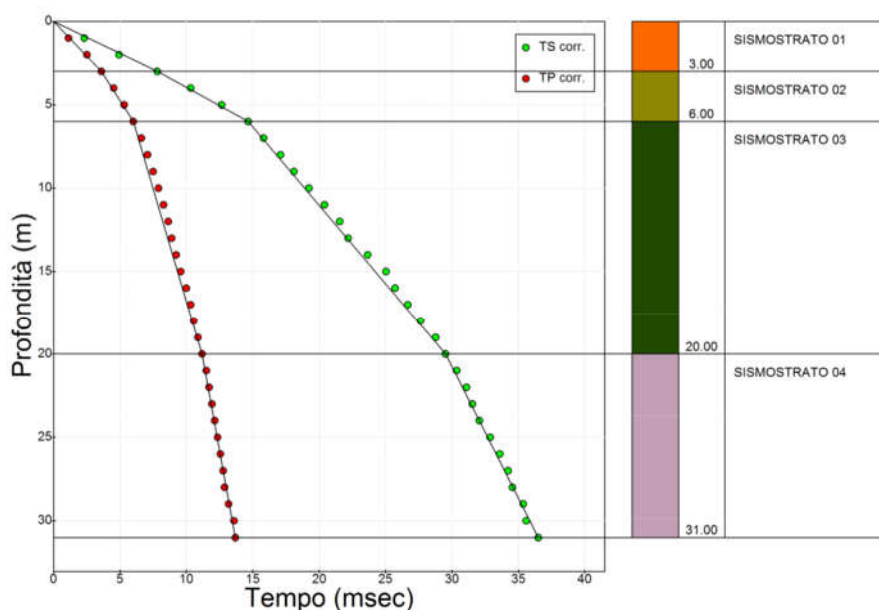
Lo scopo del carotaggio sismico down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, calcolando il tempo ad esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno d'ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

I fori dei sondaggi meccanici vengono appositamente attrezzati, per realizzare al loro interno una prova down-hole, con un rivestimento in PVC per tutta la loro lunghezza. Le tubazioni vengono rese solidali con il terreno attraverso l'iniezione di una miscela cementizia lungo tutte le pareti esterne a contatto con il terreno.

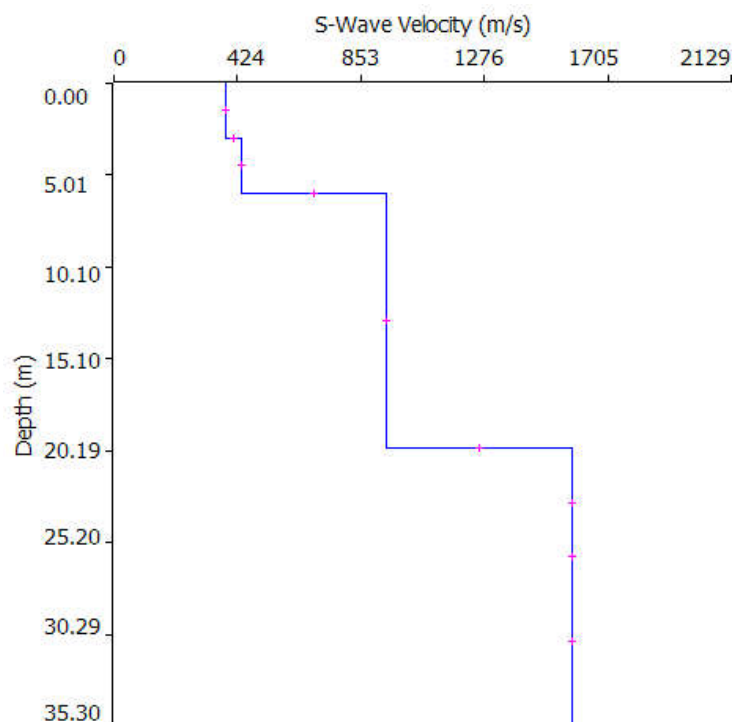
La prova in generale consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione, ed orizzontali per la generazione di onde di taglio polarizzate orizzontalmente e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una terna di geofoni, ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio

Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche in corrispondenza della verticale di misura.

I tempi d'arrivo delle onde di compressione e di taglio sono stati corretti, rispetto alla verticale, e riportati su un diagramma profondità – tempi sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante. Dalla pendenza dei tratti sono state determinate le velocità intervallari delle onde P ed SH nel terreno. Tale operazione è stata eseguita tenendo conto anche della stratigrafia redatta in fase di realizzazione del sondaggio fornitaci direttamente dalla committenza. La definizione delle velocità sismiche ha permesso di calcolare i moduli elastici dinamici, relativi ai terreni indagati.



Domocrona ottenuta con metodo diretto



INDAGINE	Vs,eq. [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
DH01 MOLIN DEL PIANO	413	B

Per i dettagli sui risultati dell'indagine sismica si rimanda alla relazione specialistica redatta da Enki s.r.l..

5.4 Stazione con tromografo digitale

Ad integrazione della campagna condotta si è ritenuto opportuno implementare i dati ottenuti con una prospezione geofisica per la caratterizzazione microsismica locale mediante un tromometro digitale, modello "Tromino Engy Plus", attraverso cui è stato possibile acquisire la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per una corretta progettazione anti-sismica locale.

Le tecniche di sismica passiva si basano infatti sulla misura del rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che dall'attività dinamica terrestre; viene definito 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. Le informazioni presenti nel rumore sismico naturale sono correlate alle caratteristiche

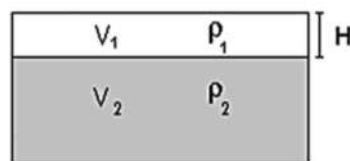
frequenziale e spettrali dello stesso microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione 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).

Le basi teoriche dell'H/V 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 (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

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



Schema di sottosuolo a 2 strati con differenti parametri geomeccanici

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) 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:

$$(f_r) = V_s/4H \quad (f_r) = V_p/4H$$

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. 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 sopra riportata.

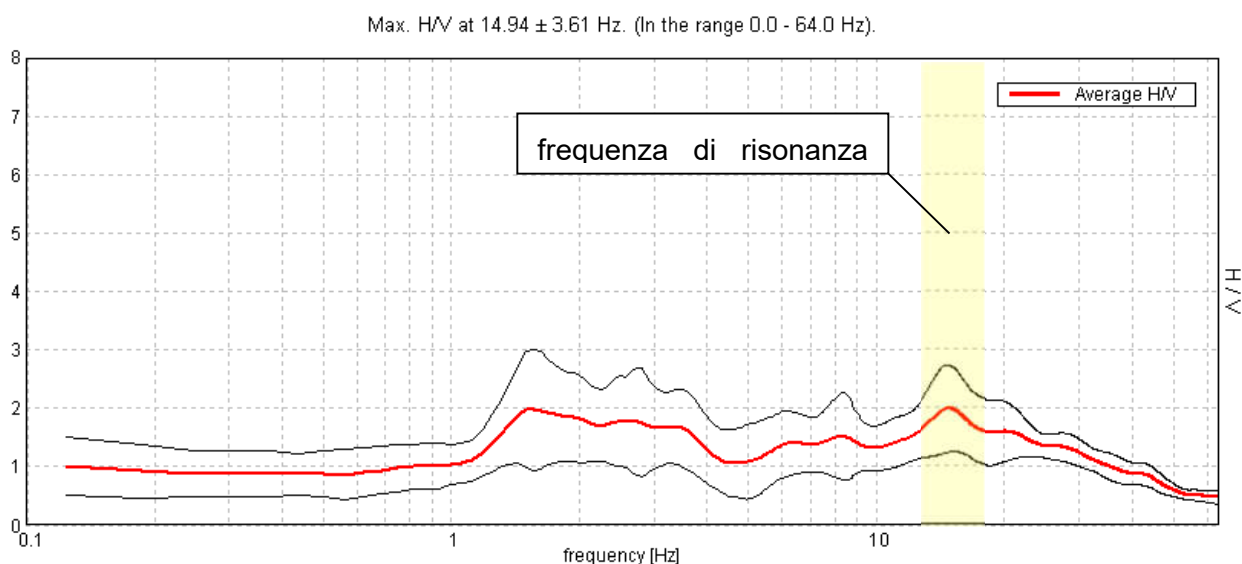
L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018 hanno profondamente rinnovato le modalità di applicazione delle norme sismiche adottando, in modo omogeneo per tutto il paese, soluzione coerenti con il sistema di norme già definito a livello europeo (Eurocodice 8). Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale e, dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si utilizza la teoria di Nakamura che pone in relazione lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie. Con riferimento a tale tecnica è stato utilizzato un tomografo digitale modello "Tromino Engy Plus", il quale, racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione, con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz, in grado di registrare il rumore sismico ambientale.

Con riferimento a tale tecnica è stata realizzata una stazione nella zona del piazzale mediante tomografo digitale. La misura ha evidenziato un rumore sismico e un disturbo continuo correlabile alle attività produttive presenti nelle immediate vicinanze, senza però inficiare in modo negativo sull'attendibilità ed utilizzo della registrazione stessa.

Il segnale registrato mostra la presenza di due blandi picchi di interesse sismico e geotecnico, correlabili con la presenza di altrettante discontinuità sismostratigrafiche tra materiali che presentano differente grado di addensamento e relativa velocità delle onde di taglio. Seppur di ampiezza ridotta, si ritiene che, da un punto di vista di interesse ingegneristico, il picco posto a circa 15 Hz rappresenti quello di maggior significato, identificando la frequenza caratteristica di riferimento. Altro picco, di ampiezza comparabile, risulta essere posto a circa 2-3 Hz, in ragione del graduale passaggio ad un substrato integro.



Confronto rapporto H/V sperimentale

6. Caratterizzazione litotecnica

Le prospezioni geognostiche effettuate, sia di tipo geofisico che geotecnico, hanno consentito di elaborare un modello litotecnico di riferimento ed una stima dei parametri geomeccanici caratteristici del sottosuolo interessato dalle opere ed interventi in progetto. Le indagini hanno mostrato la presenza, al di sotto di un sottile strato di riporto grossolano, di una coltre detritica (**Livello A**) dotata di uno spessore di circa 2,5 metri, costituita in prevalenza da sabbie medio-grossolane con abbondanti frammenti di calcare marnoso fortemente alterati. Segue un livello che abbiamo interpretato come cappellaccio di alterazione (**Livello B1**) del substrato litoide sino a circa 6.0 m da p.c. costituito da frammenti e clasti eterometrici spigolosi di calcare marnoso e calcareniti in matrice sabbioso limosa nocciola marrone. In continuità stratigrafica, ma sensibilmente differente in termini reologici, si riscontrano calcareniti alternate a siltiti molto alterate e fratturate (**Livello B2**), per poi passare a calcareniti con locali livelli di siltiti (**Livello C**), da fratturati a compatti.

Ai fini dei calcoli e delle verifiche geotecniche, per ciascun livello individuato, vengono proposti parametri geomeccanici caratteristici, congruenti con la tipologia di terreni rilevata:

Livello A: prof: 0.5-3.0 m – sabbie medio-grossolane con abbondanti frammenti di calcare marnoso fortemente alterati - Copertura detritica eluvio-colluviale			
Velocità Onde Sismiche S	Vs	m/sec	384
Peso di volume	γ	[t/m ³]	1.9

Coesione drenata	c'	[kg/cm ²]	0.05
Angolo di attrito interno	Φ'	°	28
Modulo Poisson	ν	-	0.36
Modulo di deformazione al taglio	G	Mpa	321
Modulo di Young	E	Mpa	876

Livello B1: prof: 3.0-6.0 m – frammenti e clasti eterometrici spigolosi di calcare marnoso e calcareniti in matrice sabbioso limosa nocciola marrone – **Cappellaccio alterazione substrato litoide**

Velocità Onde Sismiche S	Vs	m/sec	438
Peso di volume	γ	[t/m ³]	2.0
Coesione drenata	c'	[kg/cm ²]	0.1
Angolo di attrito interno	Φ'	°	30
Modulo Poisson	ν	-	0.43
Modulo di deformazione al taglio	G	Mpa	425
Modulo di Young	E	Mpa	1.217

Livello B2: prof: 6.0-20.0 m – siltiti, argilliti alternate a calcareniti molto fratturate e allentate

Velocità Onde Sismiche S	Vs	m/sec	940
Peso di volume	γ	[t/m ³]	2.1
Coesione drenata	c'	[kg/cm ²]	0.2
Angolo di attrito interno	Φ'	°	32
Modulo Poisson	ν	-	0.43
Modulo di deformazione al taglio	G	Mpa	2.105
Modulo di Young	E	Mpa	6.025

Livello C: prof: > 20.0 m – calcari marnosi e calcareniti fratturate con locali livelli di siltiti e argilliti

Velocità Onde Sismiche S	Vs	m/sec	1.575
Peso di volume	γ	[t/m ³]	2.2
Coesione drenata	c'	[kg/cm ²]	0.4
Angolo di attrito interno	Φ'	°	36
Modulo Poisson	ν	-	0.43
Modulo di deformazione al taglio	G	Mpa	6.353
Modulo di Young	E	Mpa	18.115

7. Considerazioni sulla sismicità della zona

8.1 Categoria di sottosuolo

Secondo quanto previsto dalle NTC 2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è possibile valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

I valori del parametro V_s calcolati con la MASW permettono la definizione della categoria di del sottosuolo, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

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

Il parametro $V_{s,eq}$ rappresenta la media della velocità delle onde di taglio ed è dato dalla:

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio strato i -esimo e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s; per depositi con profondità $H > 30$ m la $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo $H = 30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo sono:

- A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- B. Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- C. Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D. Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E. Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Categorie di sottosuolo

Basandoci sullo stendimento effettuato possiamo quindi affermare che il parametro $V_{s,eq}$ risulta essere pari a 413 m/s di conseguenza il terreno investigato, secondo quanto previsto dalle NTC 2018, ricade in **categoria di sottosuolo B**.

8.2 Classificazione sismica regionale

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, a quattro anni di distanza dall'entrata in vigore della precedente classificazione, è stato approvato con Del. GRT n° 421 del 26.05.2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014). La nuova classificazione sismica è entrata in vigore 60 giorni dopo la pubblicazione sul BURT.

Tale aggiornamento dell'elenco di classificazione sismica è divenuto necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1° Gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali. Si fa presente che i sette nuovi Comuni (Fabbriche di Vergemoli in provincia di Lucca, Crespina Lorenzana e Casciana Terme Lari in provincia di Pisa, Figline e Incisa Valdarno e Scarperia e San Piero in provincia di Firenze, Castelfranco Piandiscò e Pratovecchio Stia in provincia di Arezzo) si sono originati da fusione di comuni omogenei sotto il profilo della pericolosità sismica di base e della classificazione sismica, per cui l'aggiornamento ha previsto semplicemente la conferma della classificazione sismica dei comuni originari.

Il nuovo elenco e relativa mappa di classificazione sismica sono consultabili dal sito della Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/classificazione-sismica-della-toscana>.

Il Comune di Pontassieve (Cod. 09048033) rientra, secondo la recente riclassificazione in Zona 3 (sismicità bassa).

8.3 Pericolosità sismica di base

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Nell'Allegato B delle NTC sono riportati i valori di a_g , F_0 , T_c^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento.

Per tutti i punti che non ricadono precisamente su uno di tali punti i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame; pi è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame; d è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.516	0.255
SLD	50	0.064	2.527	0.270
SLV	475	0.153	2.408	0.300
SLC	975	0.194	2.401	0.311

Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, sulla base delle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si riporta nella successiva figura e nei tabulati conseguenti, gli spettri di risposta elastici in termini di accelerazioni orizzontali ed i valori dei parametri sismici relativi alla categoria di suolo proposto (cat. B), con categoria topografica T1 ed ai vari stati limite per opere ordinarie, assumendo un valore di vita nominale Vn pari a 50 anni ed un coefficiente d'uso (Cu=1).

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.015	0.044	0.056
kv	0.006	0.008	0.022	0.028
amax [m/s ²]	0.620	0.759	1.801	2.281
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

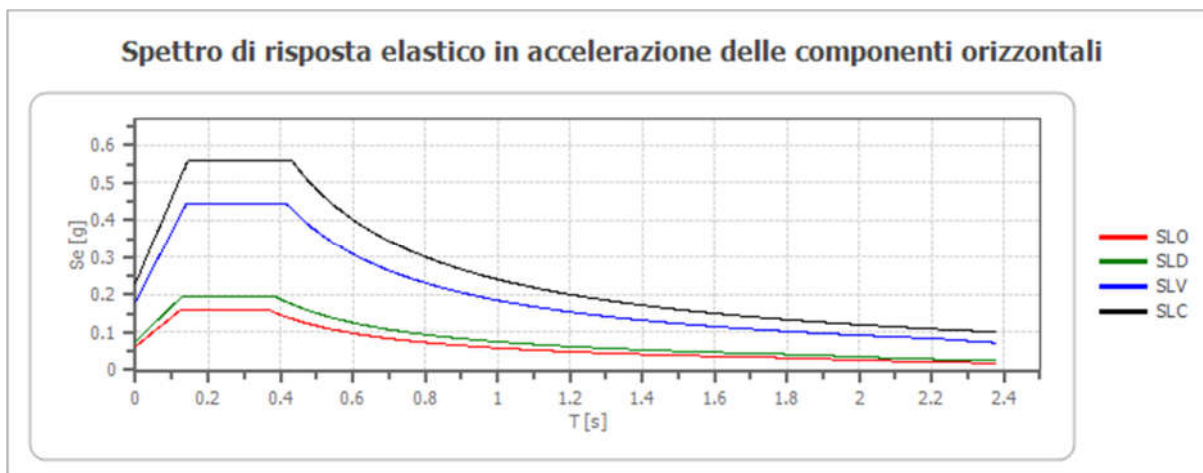
Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.036	0.070	--
kv	--	0.018	0.035	--
amax [m/s ²]	0.620	0.759	1.801	2.281
Beta	--	0.470	0.380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.036	0.070	--
kv	--	0.018	0.035	--
amax [m/s ²]	0.620	0.759	1.801	2.281
Beta	--	0.470	0.380	--

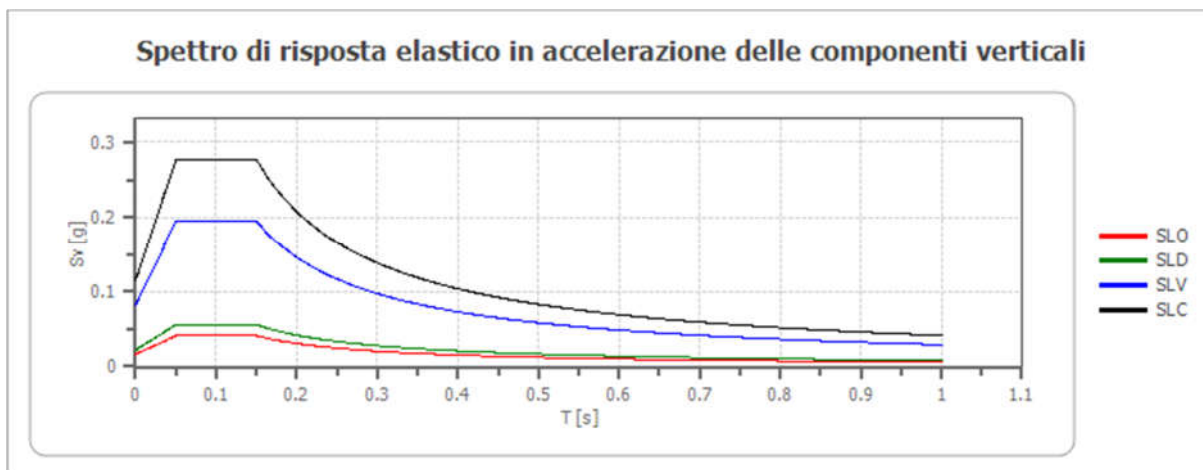
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.053	2.516	0.255	1.200	1.450	1.000	1.200	1.000	0.123	0.370	1.811	0.063	0.159
SLD	1.0	0.064	2.527	0.270	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.129	0.387	1.858	0.077	0.196
SLV	1.0	0.153	2.408	0.300	1.200	1.400	1.000	1.200	1.000	0.140	0.420	2.212	0.184	0.442
SLC	1.0	0.194	2.401	0.311	1.200	1.390	1.000	1.200	1.000	0.144	0.432	2.375	0.233	0.559

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$: 1.000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.053	2.516	0.255	1	1.450	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.016	0.041
SLD	1.0	0.064	2.527	0.270	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.022	0.056
SLV	1.0	0.153	2.408	0.300	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.081	0.195

SLC	1.0	0.194	2.401	0.311	1	1.390	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.115	0.277
-----	-----	-------	-------	-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

8. Considerazioni sulla fattibilità degli interventi da un punto di vista idrogeologico

Per quanto attiene la stabilità della scarpata che delimita il lotto di intervento le indagini geognostiche condotte, supportate da un rilievo geologico strutturale lungo la scarpata aperta che delimita a nord il perimetro destinato all'intervento in progetto, hanno messo in evidenza l'affioramento di un ammasso litoide caratterizzato da una sequenza riferibile principalmente ai seguenti litotipi:

- Calcari marnosi, compatti, di colore bianco avana, a grana fine e frattura concoide con spessore variabile dai 30 cm ai 2-3 metri.
- Calcari marnosi granulosi di colore giallo avana con frattura concoide e spessore variabile da poche decine di centimetri a qualche metro
- Sottili intercalazioni di scisti argillosi (o leggermente marnosi) di colore grigio scuro;
- Calcareni grigie al taglio fresco, marrone rossastro se alterate, di spessore da pochi centimetri a 20-40 centimetri.

La giacitura dell'ammasso in affioramento è a reggipoggio con una leggera inclinazione di 28°-30° sull'orizzonte, sovrastato da una modesta copertura terrigena. **Gli elementi geologico strutturali sin qui acquisiti consentono di escludere pertanto dinamiche di versante ed instabilità dei futuri fronti interessati dalla realizzazione delle opere di sostegno.** Si sottolinea che il progetto comprenderà interventi di riprofilatura e strutturali quali la realizzazione di un muro controterra in calcestruzzo il quale contribuirà nella risoluzione di eventuali problemi di tenuta. Sarà buona norma tuttavia provvedere, se necessario, ad un disgaggio selettivo e ad una bonifica del fronte aperto per evitare accidentali crolli di massi, seppur di modeste dimensioni, nel corso delle operazioni di messa in opera delle opere di contenimento.

Considerando infine l'assetto idrogeologico generale del versante, si ritiene comunque necessaria la predisposizione di adeguati sistemi di drenaggio alle spalle del manufatto di contenimento che consentano di regimare ed allontanare le acque di infiltrazione, evitando così la formazione di sovrappressioni. Sarà altresì necessario prevedere un efficiente sistema di regimazione delle acque di deflusso provenienti da tergo, al fine ancora di prevenire zone di ristagno a monte dell'opera. Per quanto attiene l'assetto idrogeologico dell'areale intero, si ricorda come il progetto preveda la realizzazione di un sistema di trattamento delle acque con

disoleatore in grado di recepire tutte le acque meteoriche (AMD NC) del lotto 4 e gestirle in coerenza con quanto disciplinato dalla vigente normativa in materia. Il sistema di depurazione acque meteoriche prevederà l'installazione di due vasche interrato, la cui ubicazione è visibile in Tavola 3, le quali prevederanno l'asportazione di circa 20 m³ di terreno ciascuna; le modeste volumetrie di scavo previste non determineranno alterazioni o modifiche all'assetto idrogeologico locale.

9. Gestione terre e rocce da scavo

I materiali derivanti dallo scotico superficiale del piazzale, propedeutici alla pavimentazione dello stesso, nonché i materiali derivanti dagli scavi necessari all'alloggio delle vasche di raccolta delle acque sono costituiti litologicamente da terreno di copertura ed in parte da sabbie e ghiaie con trovanti calcarei. Le volumetrie previste si attestano nell'ordine dei 40-50 m³ considerando le vasche per la raccolta acqua, lo scotico superficiale dell'area del piazzale e la realizzazione dei muri in calcestruzzo perimetrali. Sulla base delle indicazioni progettuali, non potendo riconferirli in sito, verranno avviati a discarica autorizzata ricorrendo pertanto ai disposti normativi sulla gestione dei rifiuti, ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i. ed in ottemperanza del DPR 120 del 13 giugno 2017 nelle fattispecie di riferimento.

10. Considerazioni conclusive

L'indagine svolta ha consentito di definire le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dei terreni interessanti il lotto in esame. Le indagini geognostiche condotte hanno messo in evidenza la presenza sulla quasi totalità dell'area di investigazione, di terreni dotati di discrete caratteristiche geomeccaniche solo per i primi tre metri circa dal p.c. a cui seguono terreni appartenenti verosimilmente al substrato litoide seppur alterato ma dotato di buone caratteristiche geotecniche. L'assetto geomorfologico nel suo complesso manifesta una sostanziale stabilità senza alcun indizio di dinamiche gravitative in atto o quiescenti ancorché a carattere superficiale. Assente una circolazione idrica sub superficiale ed ipodermica. Si segnala tuttavia la presenza di una circolazione idrica intercettata a circa 10 metri di profondità in corrispondenza di livelli calcarei marnosi disarticolati e di una circolazione idrica più significativa intercettata ad una profondità di circa 20 metri da p.c..

La natura dell'intervento oggetto da parte di questo documento non comporterà modifiche all'assetto idrogeologico locale, gli interventi di consolidamento dell'adiacente scarpata produrranno altresì un effetto migliorativo alla stabilità dello stesso. Per quanto riguarda la gestione delle acque meteoriche di dilavamento (AMDNC) provenienti dal piazzale del lotto n.4 si tiene a precisare come il progetto si doterà di un sistema di raccolta e trattamento delle suddette

acque: l'installazione del suddetto sistema, vista la volumetria complessiva, non andrà a modificare l'attuale ordine idrogeologico dell'area bensì contribuirà alla corretta gestione dello stesso.

Per quanto detto finora, in base al contesto geologico e alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti nell'area di intervento, nonché all'entità dell'intervento in progetto, in ottemperanza a quanto espressamente richiesto dal D.P.G.R. 08/08/2003 n. 48/R e dal DPGR 32R del 16/03/2010 e 53/R del 2011 così come modificato dal DPGR 5/R del 2020, nel rispetto di quanto prescritto, si può affermare che gli interventi previsti non interesseranno aree boscate né potranno alterare la stabilità attuale dei luoghi né tantomeno indurranno modifiche alla circolazione idrica superficiale e sub superficiale.

Il documento redatto soddisfa i requisiti richiamati dalla normativa vigente DECRETO 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e dal D.P.G.R.T. 9 luglio 2009, n°36/R.

Firenze, settembre 2020

Il tecnico incaricato


DOTT. GEOL.
LUCA
GARDONE
N° 849
*
REGIONE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA

ALLEGATI

1. Elaborati cartografici
2. Stratigrafia sondaggio
3. Relazione Sismica Specialistica
4. Report SESAME

COMUNE DI PONTASSIEVE

Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

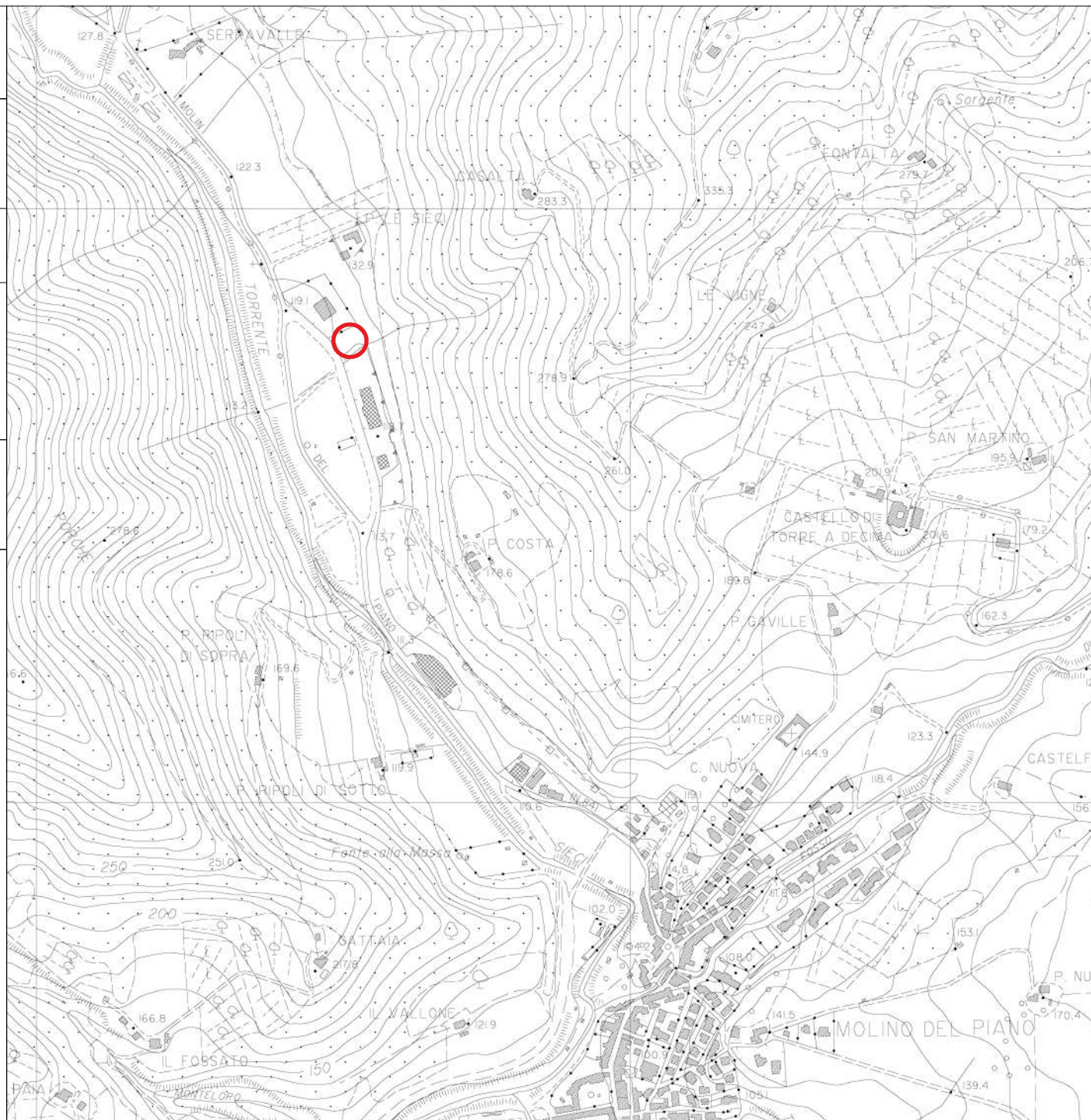
ELABORATO:
Corografia generale
(CTR Regione Toscana)

TAVOLA 1
SCALA 1:10.000

Legenda



area di studio



COMUNE DI PONTASSIEVE
Città Metropolitana di Firenze

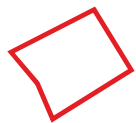
Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Estratto di mappa catastale

TAVOLA 2
SCALA 1:2.000

Legenda



area di intervento
Foglio 63 part.475



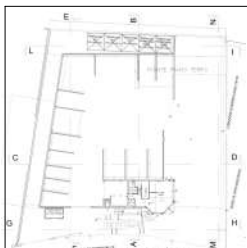
COMUNE DI PONTASSIEVE
Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta dettaglio stato di progetto

TAVOLA 3
SCALA GRAFICA



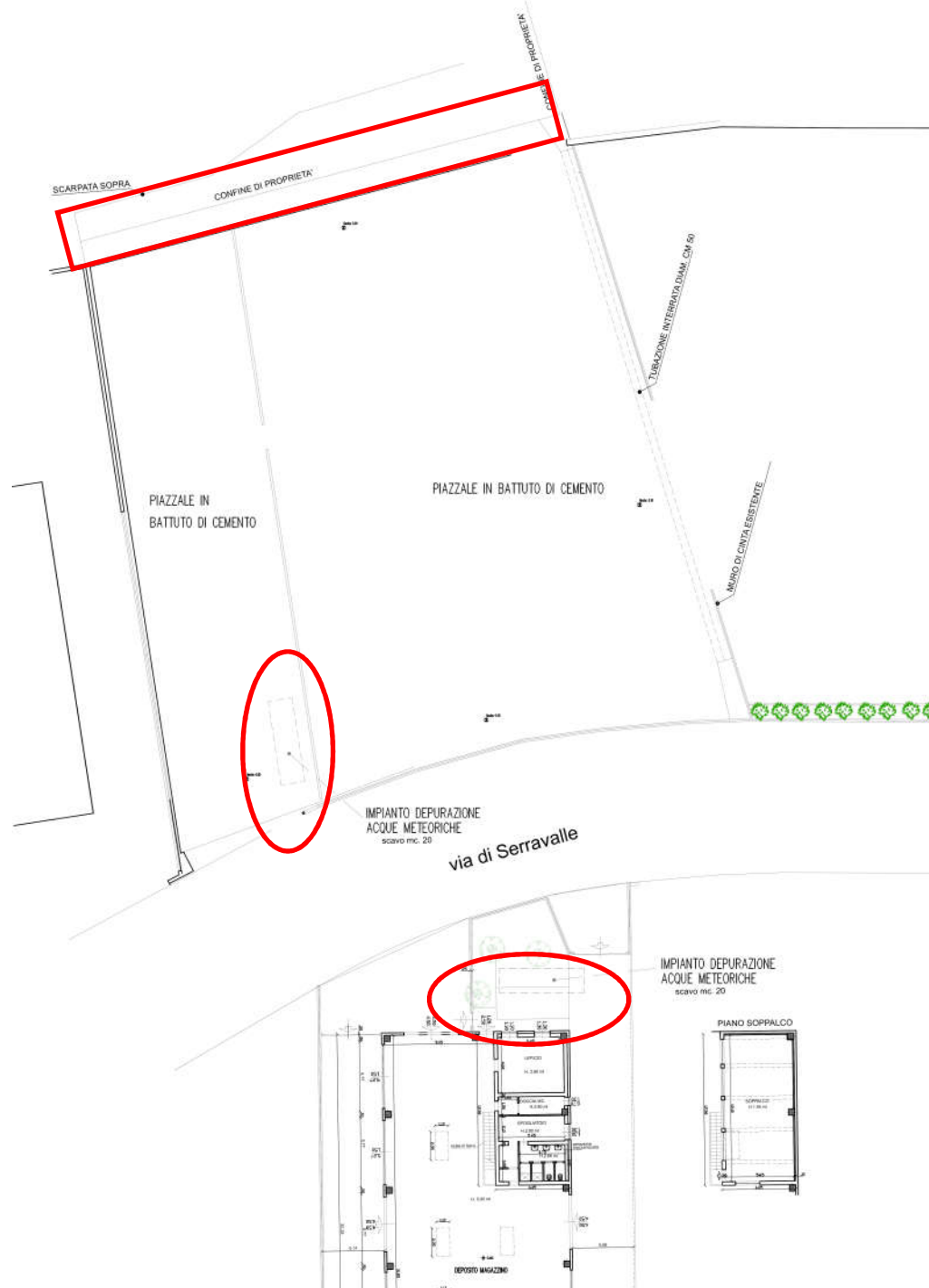
Edificio di progetto



Interventi di riprofilatura
e sostegno scarpata



Installazione vasche
trattamento acque



COMUNE DI PONTASSIEVE
Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

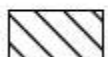
ELABORATO:
Carta pericolosità geologica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

TAVOLA 4
SCALA GRAFICA

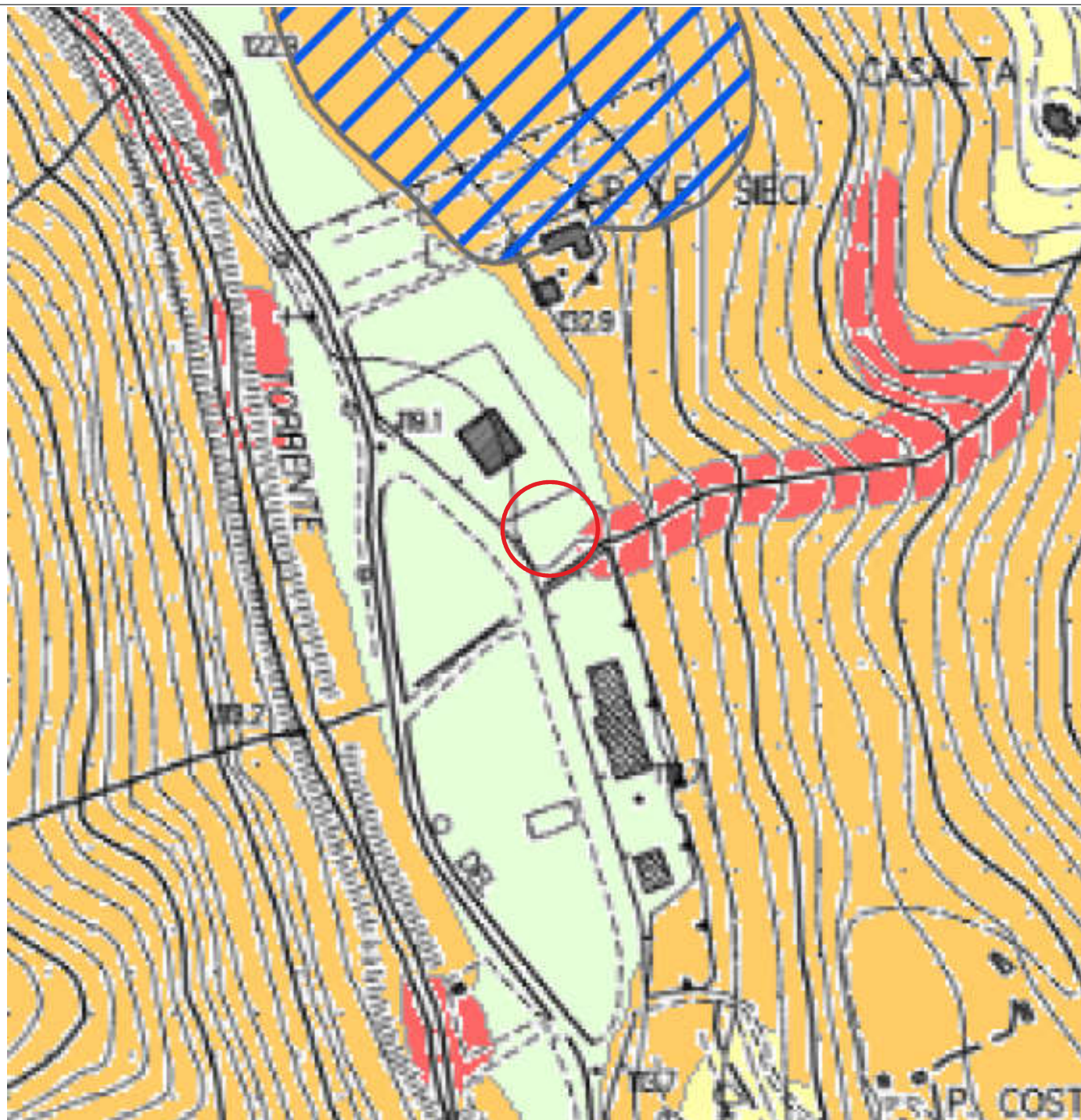
PERICOLOSITA' GEOLOGICA

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

PERICOLOSITA' DA FRANA - PAI ARNO

-  PF3 - Aree a pericolosità elevata
-  PF4 - Aree a pericolosità molto elevata

 area di studio



COMUNE DI PONTASSIEVE

Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta pericolosità idraulica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

TAVOLA 5
SCALA GRAFICA



area di studio



1

PERICOLOSITA'
IRRILEVANTE

Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua e poste all'esterno dell'ambito definito "A1" all'art. 75 della Del. C.R. n. 12/2000, per le quali per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

* non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
* sono in situazione favorevole di alto morfologico di norma poste a quota altimetrica superiore a 2 m rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

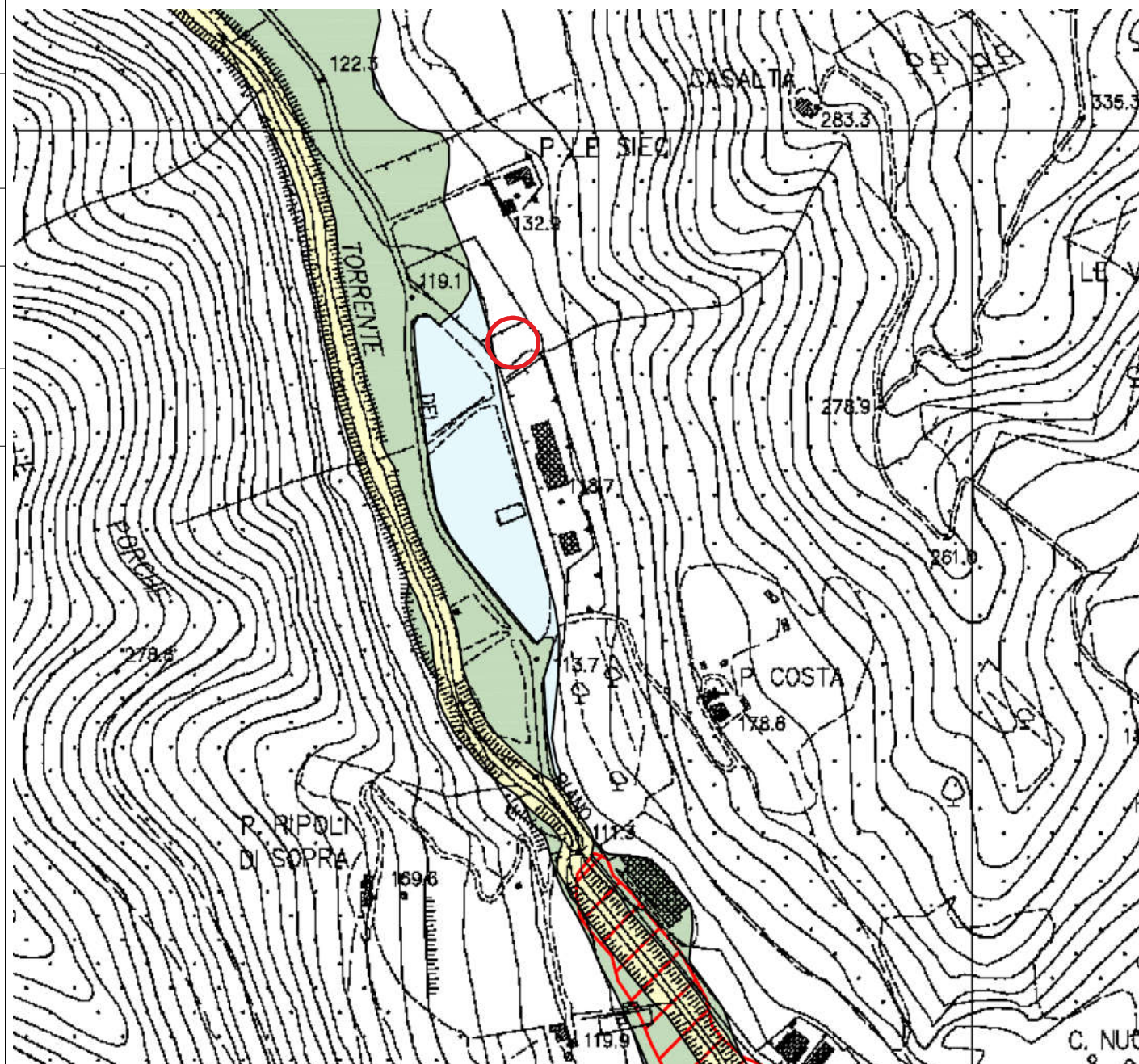


2

PERICOLOSITA'
BASSA

Aree di fondovalle e comunque poste all'esterno dell'ambito definito "A1" all'art. 75 della C.R. n. 12/2000, per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

* non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
* non si riscontrano condizioni favorevoli al ristagno;
* sono in situazione favorevole di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, ossia posta a quote altimetriche superiori a 2 m rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza dell'argine, rispetto al ciglio di sponda.



COMUNE DI PONTASSIEVE Città Metropolitana di Firenze
Progetto per ampliamento attività stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

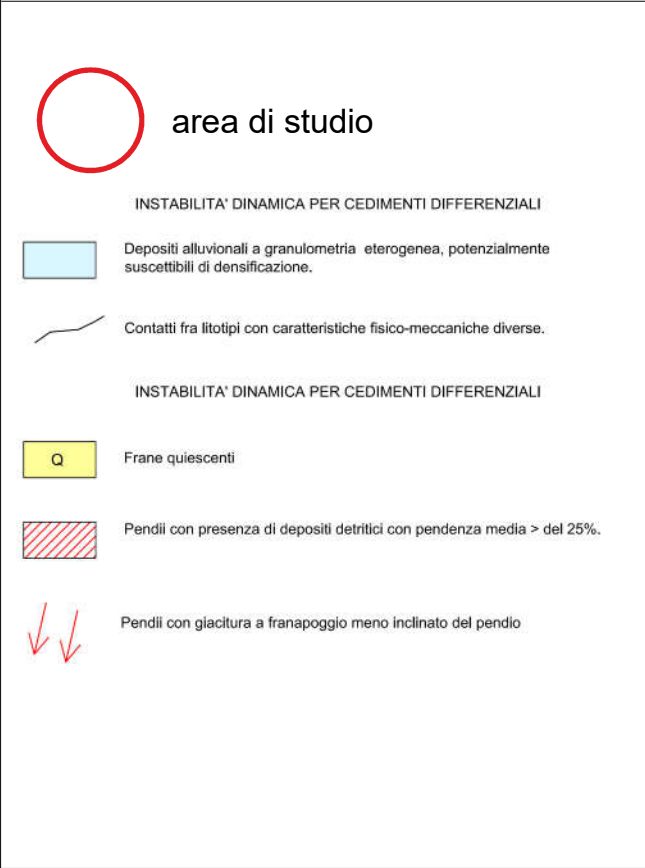
Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta degli aspetti particolari per le
zone sismiche e della zonazione sismica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

ELABORATO:
Carta degli aspetti particolari per le
zone sismiche e della zonazione sismica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

TAVOLA 6 SCALA GRAFICA

 area di studio

INSTABILITA' DINAMICA PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI

 Depositi alluvionali a granulometria eterogenea, potenzialmente suscettibili di densificazione.

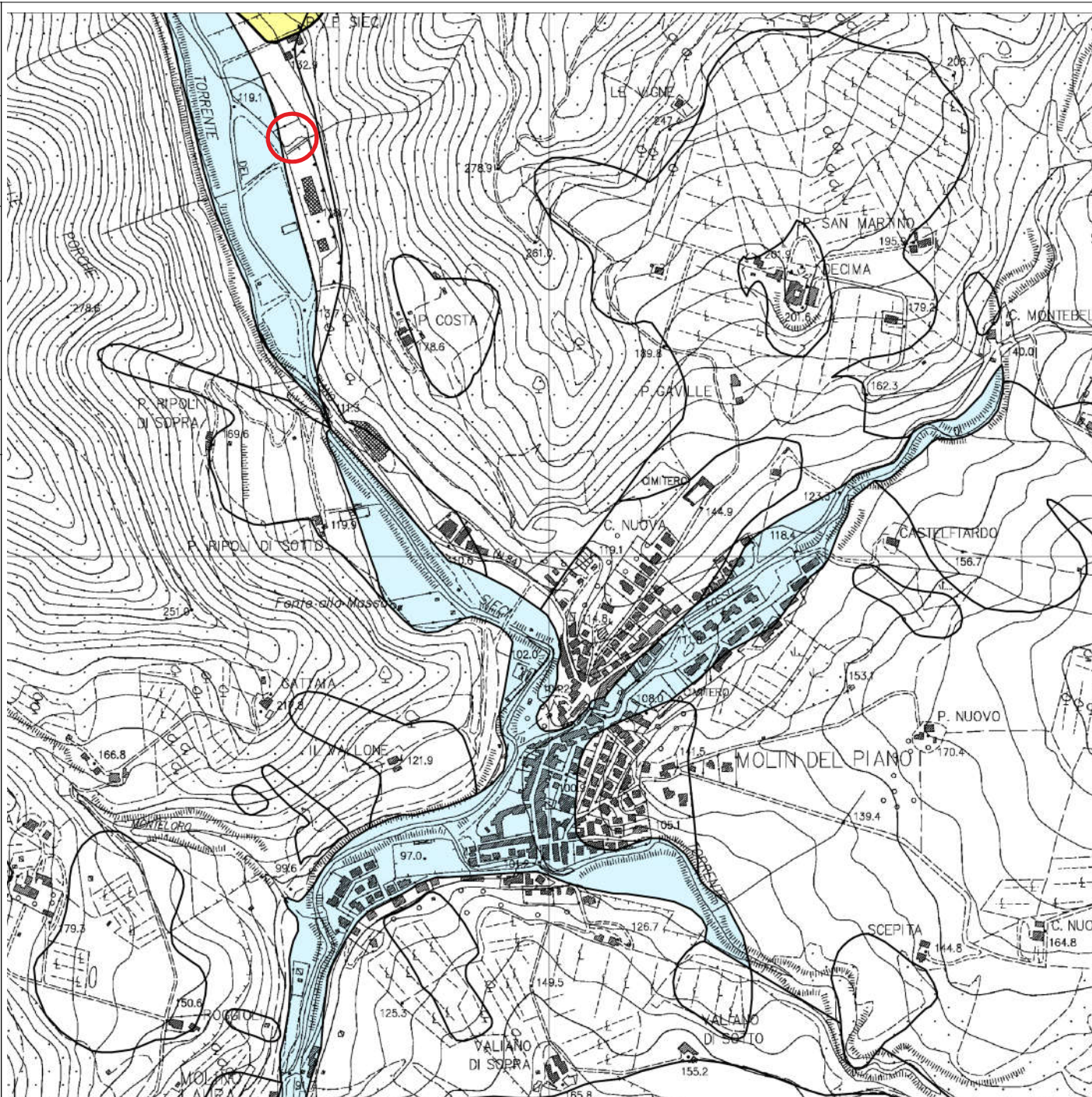
 Contatti fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse.

INSTABILITA' DINAMICA PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Q	Frane quiescenti
---	------------------

 Pendii con presenza di depositi detritici con pendenza media > del 25%.

 Pendii con glacitura a franapoggio meno inclinato del pendio



COMUNE DI PONTASSIEVE Città Metropolitana di Firenze

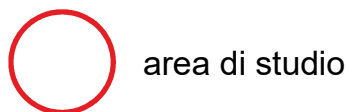
Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta pericolosità geomorfologica
(estratto Piano Assetto Idrogeologico AdB Arno)

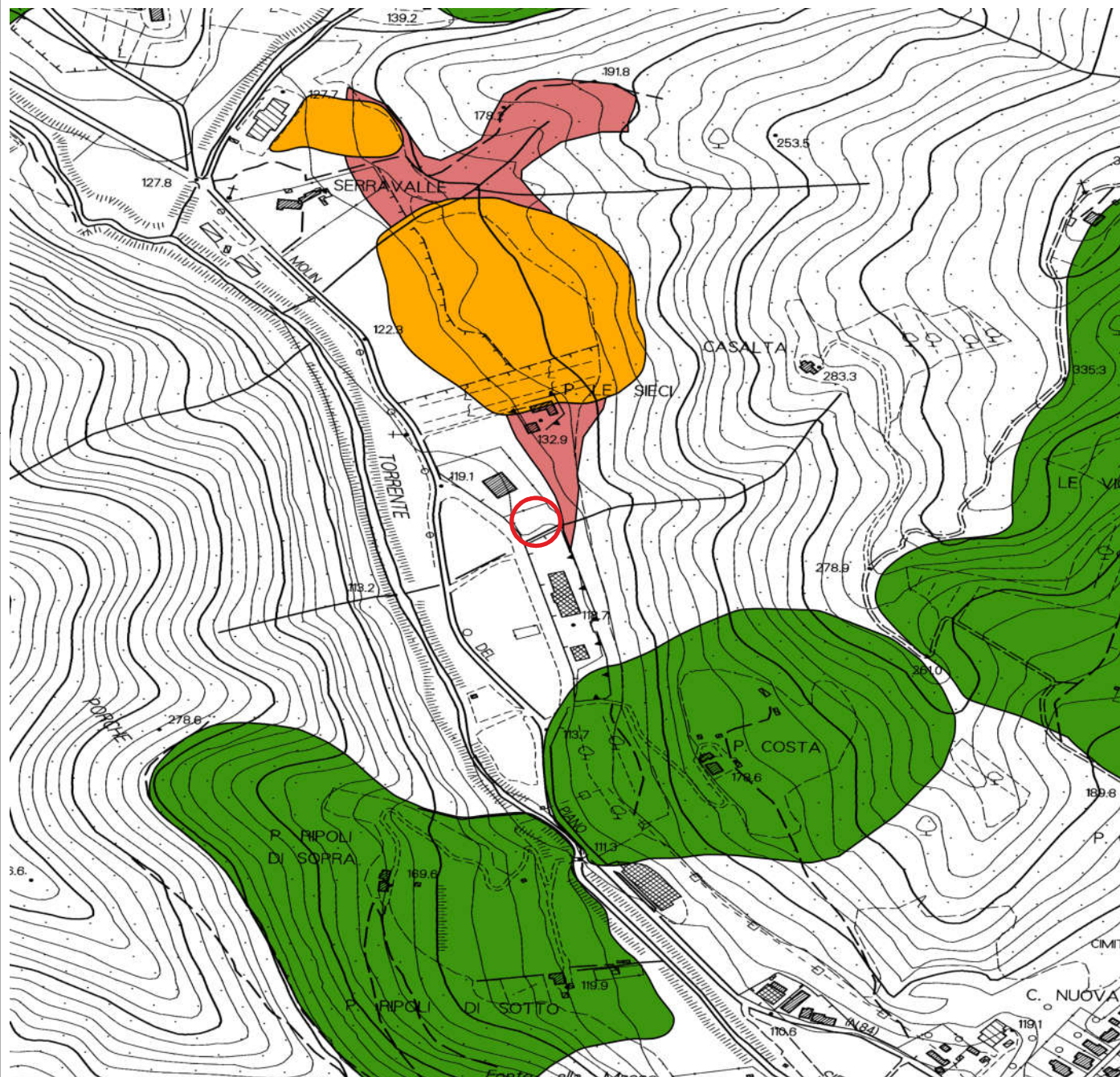
TAVOLA 7
SCALA GRAFICA

Legenda



Pericolosità Geomorfologica (PAI)

-  P2
-  P3a
-  P3b
-  P4



COMUNE DI PONTASSIEVE Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta pericolosità e rischio idraulico
(estratto PGRA AdB Arno)

TAVOLA 8
SCALA GRAFICA

Legenda:



area di studio

Pericolosità Idraulica



P1



P2



P3

Rischio Idraulico



R1



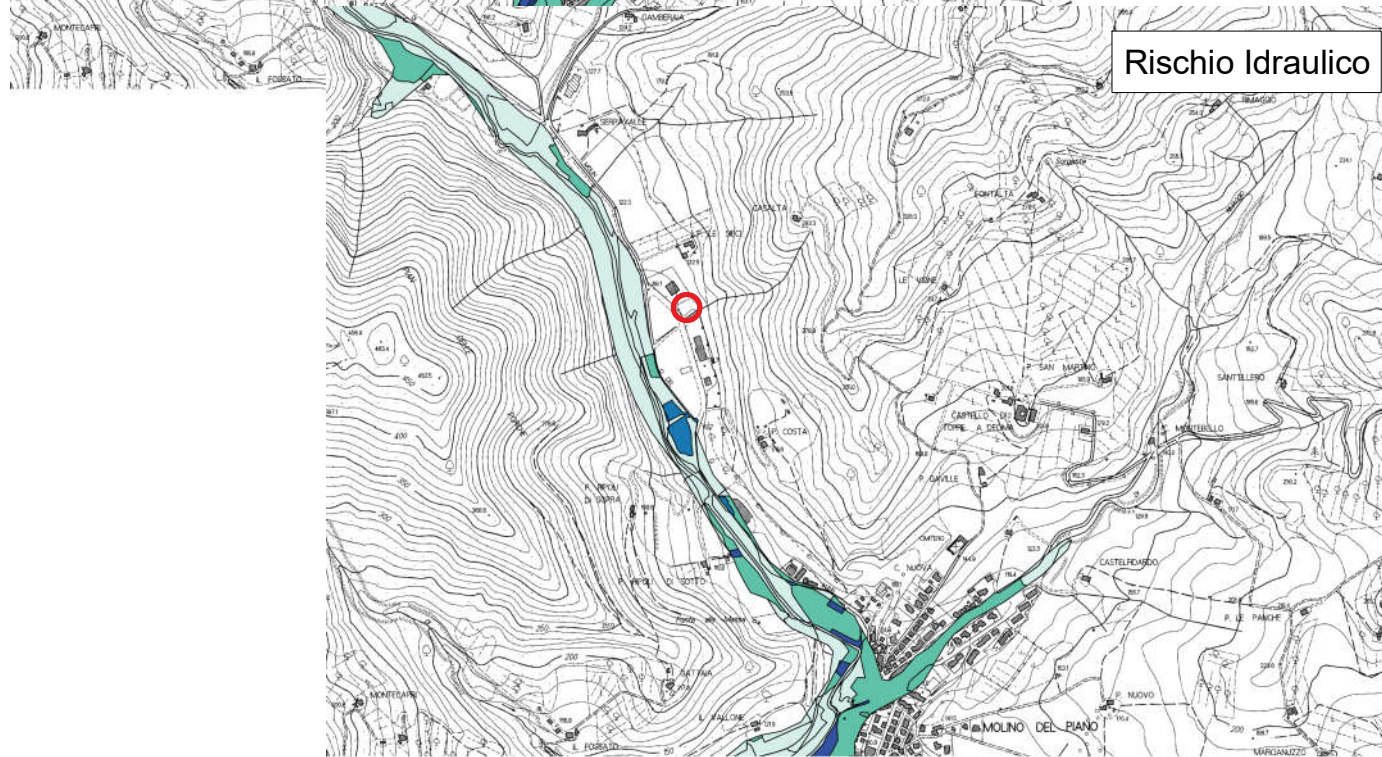
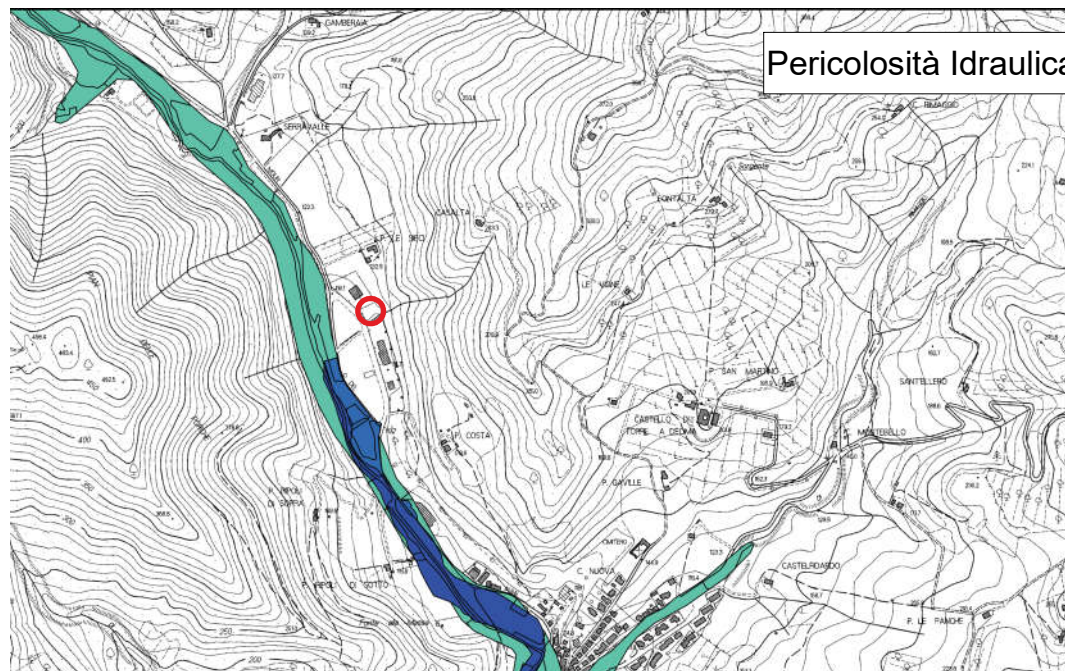
R2



R3



R4



COMUNE DI PONTASSIEVE Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta Vincolo Idrogeologico
(estratto SITA Cartoteca Regione Toscana)

TAVOLA 9
SCALA GRAFICA

Legenda:



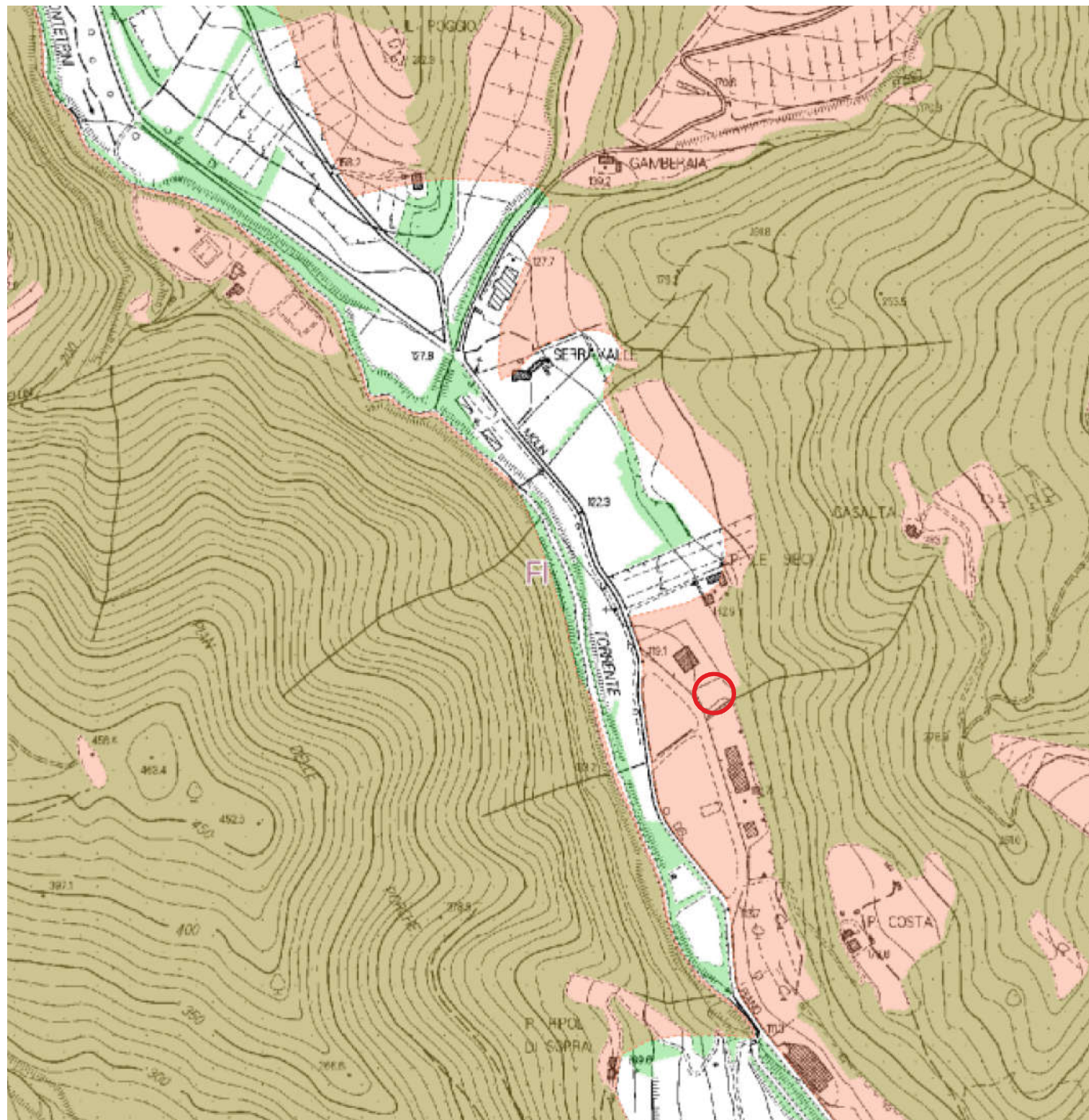
area di studio

Regio Decreto 3267/1923 (Fonte Amministrazioni Provinciali)

R.D. n.3267/1923

Aree boscate (Fonte Uso del suolo 2016_RT)

Zone boscate; Zone con vegetazione arbustiva e/o erbacea;
Strade in aree boscate



COMUNE DI PONTASSIEVE
Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta geologica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

TAVOLA 10
SCALA GRAFICA

Legenda dei simboli

- DIREZIONE DEGLI STRATI
- FAGLIA CERTA
- FAGLIA INCERTA ABBASATA
- FAGLIA PRESUNTA
- SOVRASCORRIMENTO CERTO
- SOVRASCORRIMENTO PRESUNTO

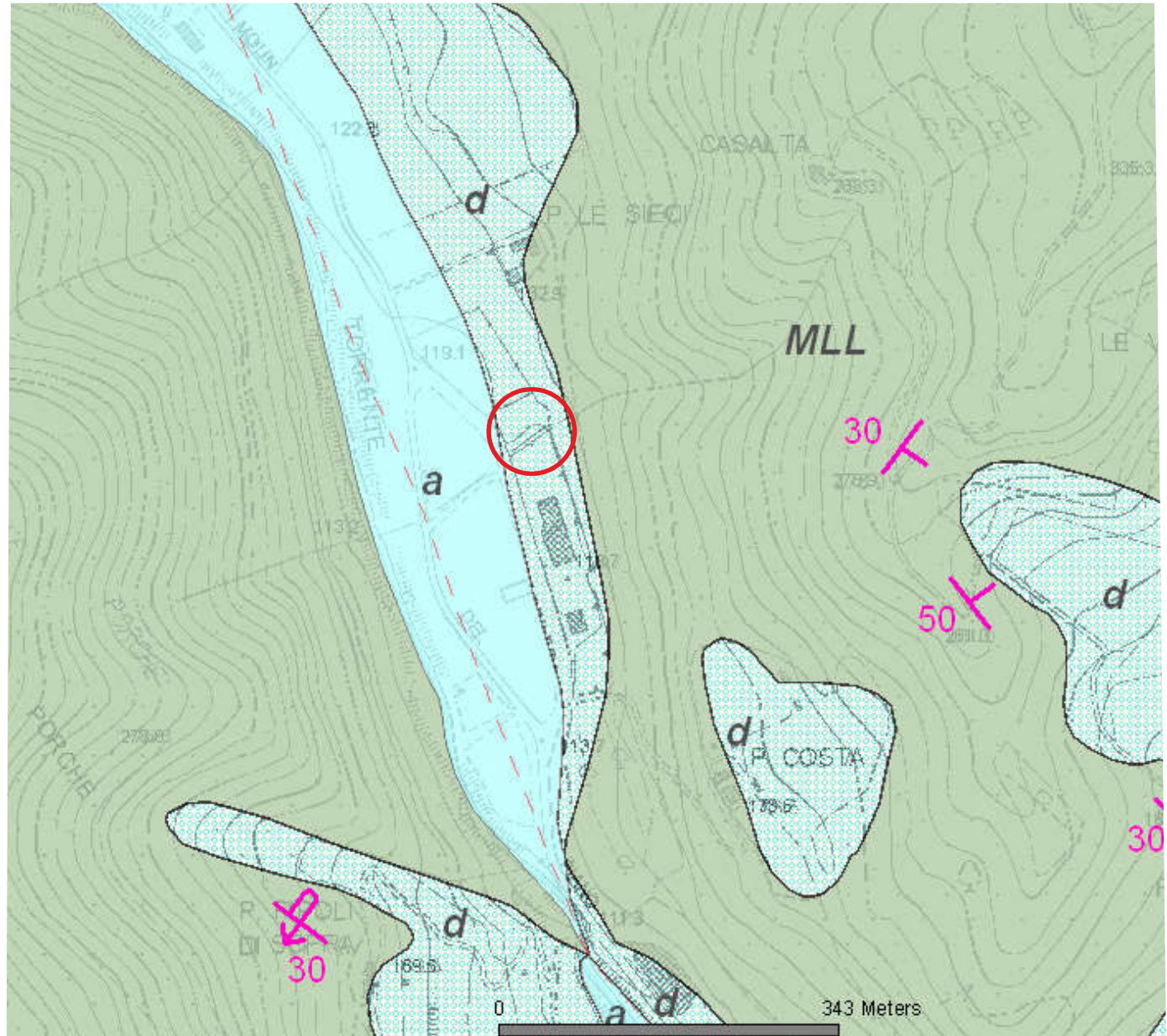
LITOLOGIA

- d - COLTRI DETRICHEE E COPERTURE ELUMO-COLLUVIALI
- a - DEPOSITI ALLUVIONALI

UNITÀ LIGURI - Supergruppo della calvana

- MLL - FORMAZIONE DI MONTE MORELLO
- SIL - FORMAZIONE DI SILLANO

 area di studio



COMUNE DI PONTASSIEVE

Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e trattamento rifiuti speciali non pericolosi recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Carta geomorfologica
(estratto Piano Strutturale Comune Pontassieve)

TAVOLA 11

SCALA GRAFICA

FORME E PROCESSI DI EROSIONE IDRICA E DEL PENDIO

Forme di denudazione o erosione

- Orlo di scarpata fluviale o di terrazzo
- Orlo di scarpata in erosione
- Orlo di scarpata non in erosione
- Orlo rimodellato di scarpata o debole rottura di pendio
- Ec** Area soggetta ad erosione a calanchi
- E** Area soggetta ad erosione profonda
- Es** Area soggetta ad erosione superficiale
- Area, di limitata estensione, soggetta ad erosione superficiale
- Alveo con tendenza all'approfondimento
- Solco di erosione concentrata
- Erosione laterale di sponda

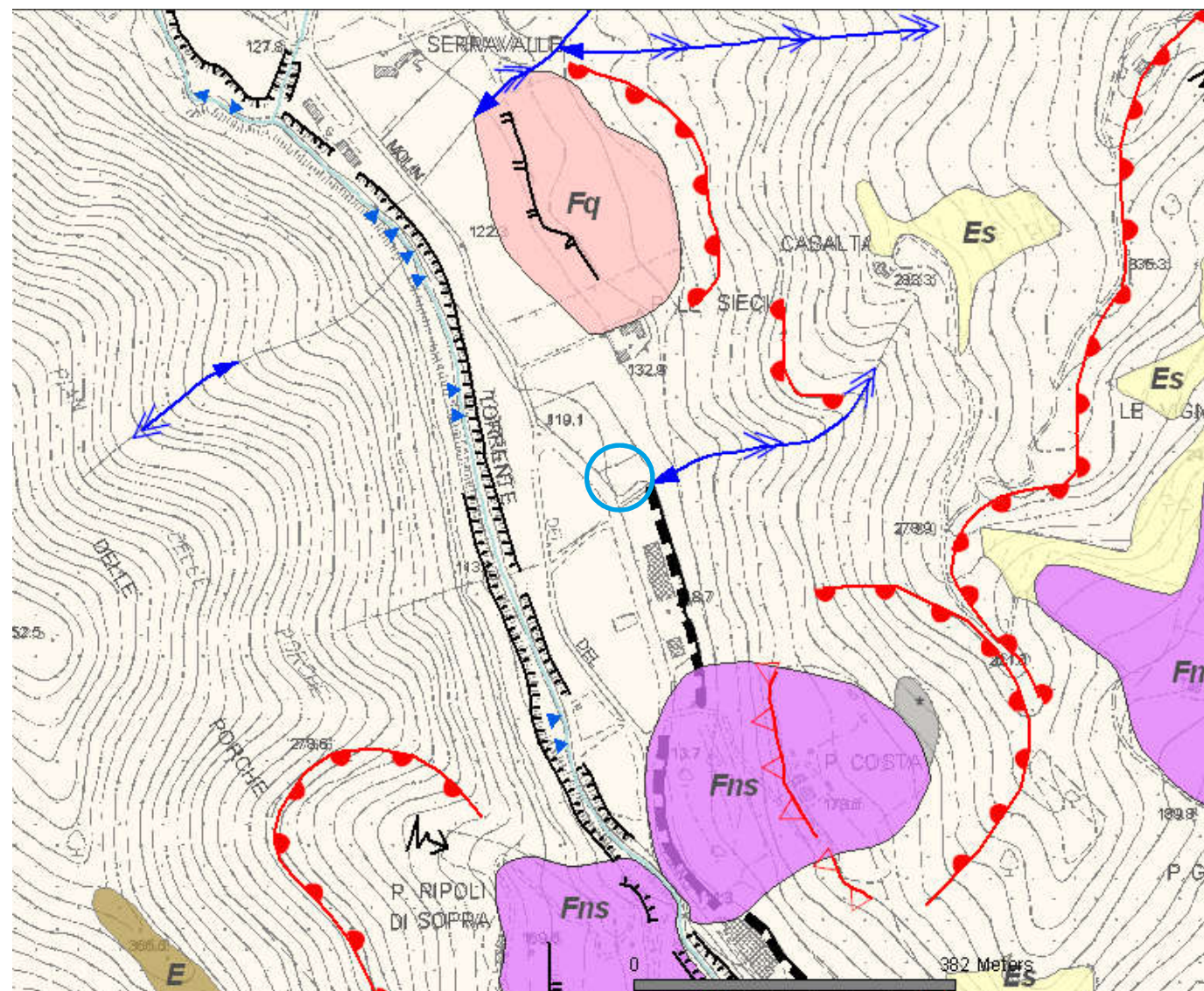
FORME E PROCESSI DOVUTI A GRAVITA'

2.1 Forme di denudazione

- Corona di frana
- Fd** Frana di limitata estensione
- I** Area molto instabile per frana diffusa
- ds** Area instabile per soliflusso generalizzato
- ds** Area interessata da deformazioni superficiali lente
- Soliflusso localizzato
- Retrazione

2.2 Forme di accumulo e relativi depositi

- F** Corpo di frana attiva
- Fq** Corpo di frana quiescente
- Fns** Corpo di frana antica
- Fas** Corpo di frana artificialmente stabilizzata
- Contropendenze



COMUNE DI PONTASSIEVE
Città Metropolitana di Firenze

Progetto per ampliamento attività stoccaggio e
trattamento rifiuti speciali non pericolosi
recuperabili, Via di Serravalle, 12/14/16/29/31

Proprietà:
MOGGI SMALTIMENTI s.r.l.

ELABORATO:
Ubicazione indagini geognostiche

TAVOLA 12
SCALA 1:500



Prospezione sismica con
tromografo digitale



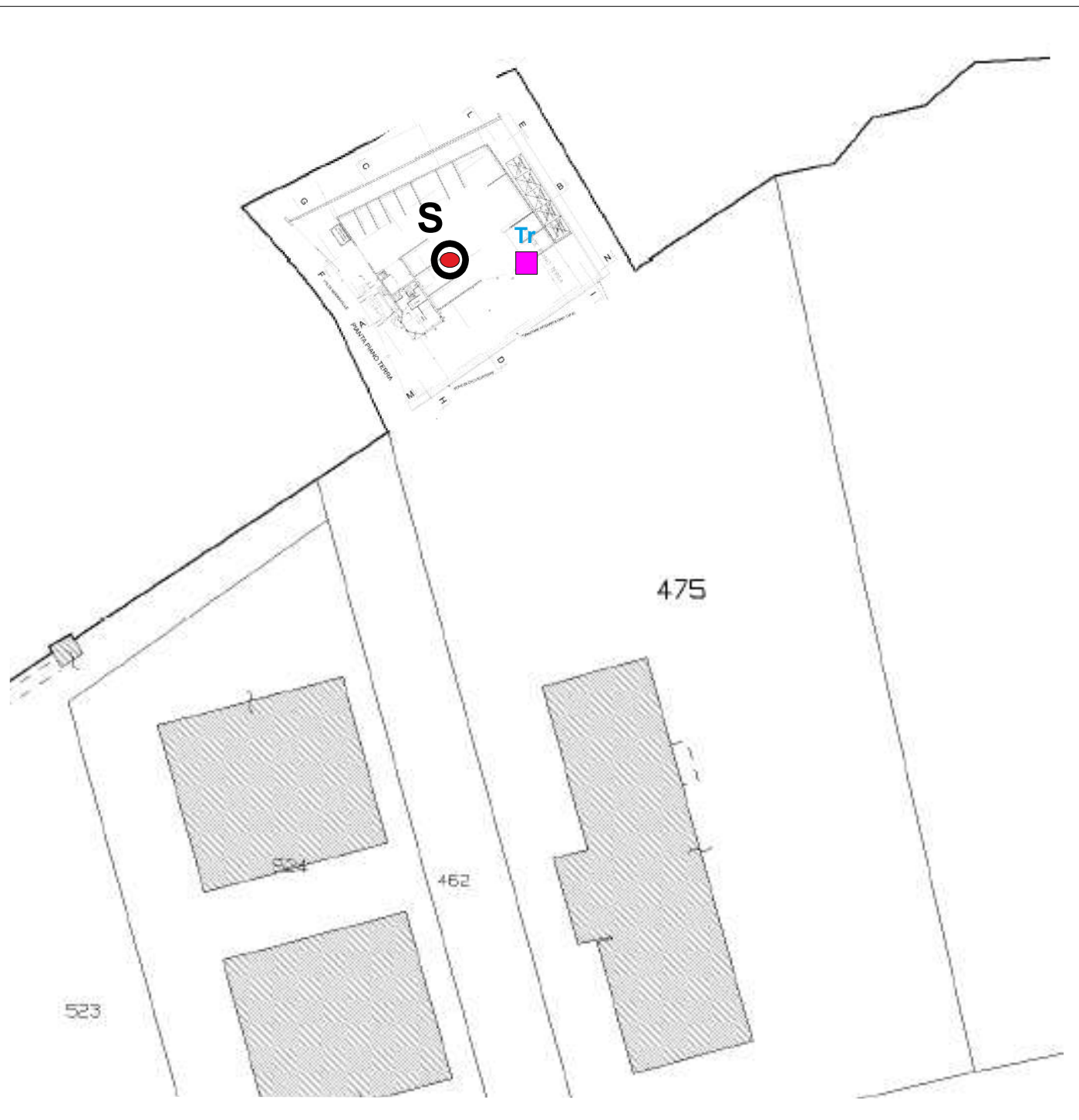
Sismica in foro - Down hole



Sondaggio a carotaggio
continuo attrezzato per
Down Hole



Edificio in progetto



Progetto: Ampliamento attività di stoccaggio

Committente: Molin del Piano - Pontassieve

Impresa: GEOTECNICA PALAZZI

Data: 25/10/2011

Quota m s.l.m.: 118.0

Sondaggio: S01

Sonda: Beretta T44

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	% recupero					PP		S.P.T. (m) N. colpi	R.Q.D	H ₂ O	C	Down Hole
			20	40	60	80	100	(m)	Kg/cm ²					
0.1		Massicciata piazzale e materiale di riporto												
0.5		Calcari micritici chiari molto fratturati												
1.0														
1.5		Sabbie medie-grossolane a tratti limose con abbondanti inclusi e frammenti di calcare marnoso, colore nocciola												
2.0										2.0 20/26/13				
2.5														
3.0		Cappellaccio di alterazione, silti e calcareniti fortemente alterati e fratturati in matrice sabbiosa limosa solo a tratti sostenuta, colore marrone												
3.5														
4.0										4.0 RIF				
4.5														
5.0														
5.5														
6.0		Calcari e calcareniti chiari con vene di calcite												
6.5														
7.0														
7.5		Silti e argilliti fortemente alterate in matrice limo argillosa, colore grigio scuro, passanti da 8.0 m ad argilliti consistenti grigio scuro-verdastro												
8.0														
8.5														
9.0														
9.5		Frammenti litici arenacei e calcarenitici in abbondante matrice sabbiosa a tratti prevalente, colore marrone. Presenza di acqua												
10.0														

TECNICO RILEVATORE: Geol. Marcello Ghinassi

Scala 1:75

Progetto: Ampliamento attività di stoccaggio

Committente: Molin del Piano - Pontassieve

Impresa: GEOTECNICA PALAZZI

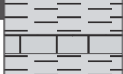
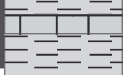
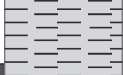
Data: 28/10/2011

Quota m s.l.m.: 118.0

Sondaggio: S01

Sonda: Beretta T44

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo

Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	% recupero					PP		S.P.T. (m) N. colpi	R.Q.D	H ₂ O	C	Down Hole
			20	40	60	80	100	(m)	Kg/cmq					
10.5														
11.0		Siltiti e argilliti in matrice argillosa solo a tratti sostenuta colore grigio, con livelli arenitici fini rossastri a 12.4 e 13.5m												
11.5														
12.0														
12.5														
13.0														
13.5														
14.0		Calcarei micritici fortemente fratturati e alterati in matrice sabbiosa. Colore chiaro												
14.5														
15.0		Siltiti e argilliti grigio scuro con locali livelli calcarenitici e arenitici fortemente alterati												
15.5														
16.0														
16.5														
17.0														
17.5														
18.0														
18.5														
19.0														
19.5														
20.0														

Misure effettuate ma valori sempre fuori scala per la presenza costante di abbondanti inclusi lapidei

TECNICO RILEVATORE: Geol. Marcello Ghinassi

Scala 1:75

Progetto: Ampliamento attività di stoccaggio

Committente: Molin del Piano - Pontassieve

Impresa:GEOTECNICA PALAZZI

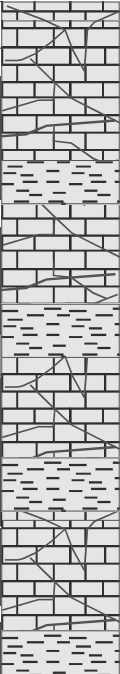
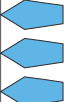
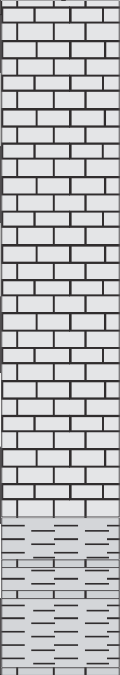
Data: 31/10/2011

Quota m s.l.m.: 118.0

Sondaggio: S01

Sonda: Beretta T44

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo

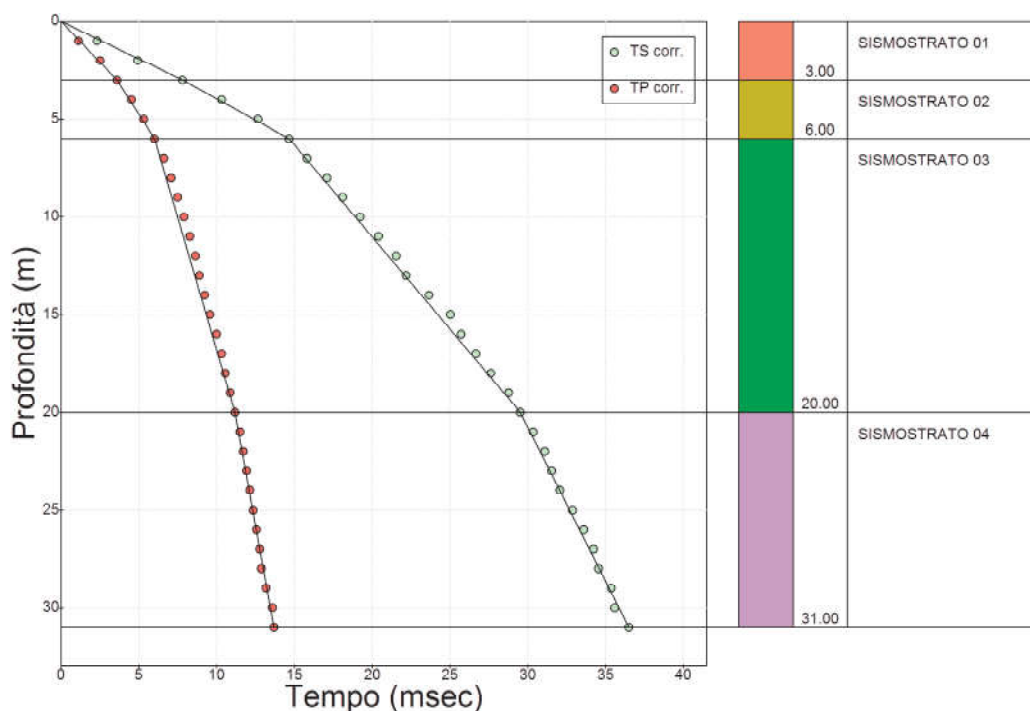
Prof (m)	Litologia	Descrizione stratigrafica	% recupero					PP		S.P.T. (m) N. colpi	R.Q.D	H ₂ O	C	Down Hole
			20	40	60	80	100	(m)	Kg/cmq					
20.5		Alternanza tra livelli di clasti calcarenitici fratturati in matrice limo-sabbiosa e livelli di silti e argilliti. Presenza di acqua a circa 20,0 m												
21.0														
21.5														
22.0														
22.5														
23.0														
23.5														
24.0														
24.5														
25.0														
25.5		Calcari compatti micritici fratturati												
26.0														
26.5														
27.0														
27.5														
28.0														
28.5														
29.0														
29.5														
30.0														
31.0														
		FINE SONDAGGIO												



Comune di Pontassieve (FI)

Frazione Molin del Piano

Provincia di Firenze



Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso frazione Molin del Piano, comune di Pontassieve (FI)

NOVEMBRE 2010



Enki s.r.l.
Via Giambattista Lulli 62
50144 Firenze
Tel 055 3247209 - Fax 055 3289276
P.IVA 05008670480 - REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000



ENKI s.r.l.
Società di Ingegneria Ambientale e Civile
Via Giambattista Lulli, 62 - 50144 FIRENZE
Tel. 055.3247209 - Fax 055.3289276
Mail: info@enki.it
REA CCIAA FI n. 510082 - Reg. Imp. FI n. 9079/2000
Partita IVA 05008670480



Enki s.r.l.

Via Lulli, 62
50144 Firenze

Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276

P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082

Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso frazione Molin del Piano, comune di Pontassieve (FI)

1. INTRODUZIONE

- 1.1. Descrizione dei contenuti della relazione
- 1.2. Programmazione delle indagini geofisiche

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA ATTIVA

- 2.1. Indagine Down-hole
- 2.2. Elaborazione dati sismici - interpretazione Down-hole con il metodo diretto
- 2.3. Conclusioni

A. Allegato A ELABORATI GRAFICI

- INQUADRAMENTO PLANIMETRICO
- DROMOCRONA DOWN-HOLE

B. Allegato B FOTOGRAFICO

1 INTRODUZIONE

La corretta esecuzione di opere di ingegneria civile nel sottosuolo richiede un'attenta caratterizzazione degli orizzonti geotecnici interessati dalle suddette opere.

Tramite opportune indagini si possono infatti evidenziare i profili stratigrafici, le caratteristiche idrauliche e meccaniche del terreno e le condizioni della falda, rilevando inoltre eventuali strutture e corpi sepolti e/o sottoservizi non mappati.

Le indagini da effettuare in situ sono di due tipologie:

- **Geognostiche** (ad esempio sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e prove penetrometriche)
- **Geofisiche.**

Le tecniche di indagini **geognostiche**, sono di tipo puntuale e restituiscono la grandezza della variabile misurata solamente nell'intorno del punto di campionamento.

Le tecniche **geofisiche**, sono invece di tipo volumetrico e non invasivo, restituiscono cioè la grandezza della variabile misurata mediata su elevati volumi di terreno.

E' evidente che ricorrendo in forma **complementare e correlata** alle diverse tecniche di indagine si ottengono notevoli vantaggi nella qualità delle informazioni ottenute sul sito investigato e nell'impiego ottimizzato di risorse economiche ed umane.

Infatti, le tecniche di indagine integrate citate sono in grado di fornire al tecnico progettista delle informazioni sulla modalità e sulla tecnica di realizzazione di opere di ingegneria civile rispetto al contesto geologico e geotecnico in cui sono inserite, permettendo a priori una valutazione della qualità dell'esecuzione dei lavori.

Le tecniche di indagine geofisiche si prefigurano quindi come un supporto informativo utilizzabile nella redazione di progetti di opere di ingegneria civile complesse nel sottosuolo.

Ai fini della **caratterizzazione litostratigrafica** di un'area la realizzazione di:

- **Prospezioni geofisiche con metodo sismico di superficie**, con tecnica ReMi e MASW, permettono di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi dalla vigente normativa NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008;

- **Prospezioni geofisiche con metodo sismico in foro**, con tecnica Down-hole, permettono di ottenere la caratterizzazione geomeccanica e sismica e la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008
- **Prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori**, e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, permette di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa, NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni ex DM 14/01/2008;
- **Prove penetrometriche**, permettono la determinazione dei principali parametri geomeccanici del terreno di dettaglio.
- **Sondaggi geognostici**, permettono di determinare le principali caratteristiche geolitologiche del sottosuolo indagato.

La campagna di prospezione geofisica può essere propedeutica all'eventuale campagna di prospezione geognostica, in modo che l'elaborazione **congiunta ed integrata** dei dati ottenuti:

- dalla serie di **acquisizione delle misure di microtremori**;
- dalla serie di **stendimenti sismici MASW e ReMi**;
- dalle indagini di tipo **Down-hole**
- dalle eventuali **indagini dirette geognostiche** quali prove penetrometriche;

permetta così la:

- Ricostruzione del **profilo litostratigrafico** con individuazione del **bedrock** di riferimento sismico;
- **Parametrizzazione** del comportamento meccanico dei terreni in termini di velocità di onde sismiche Vp e Vs;
- **Caratterizzazione geotecnica** dei terreni e delle rocce presenti in sito
- **Comportamento frequenziale** dei terreni e degli edifici indagati.

L'utilizzo correlato delle tecniche di prospezione geofisiche integrate, con eventuali indagini geognostiche sopra indicate, permette di superare le problematiche che normalmente sorgono operando in ambienti in cui sono molto forti i disturbi e le problematiche per l'acquisizione di parametri descrittivi del sottosuolo; normalmente infatti

per ottenere indicazioni attendibili che permettano la caratterizzazione del sottosuolo è necessario acquisire i dati in maniera multiparametrica e multistrumentale, ricorrendo a diverse tecniche di prospezione e di indagine.

1.1 Descrizione dei contenuti della relazione

La presente relazione illustrerà la metodologia, la strumentazione utilizzata ed i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione geomeccanica e sismica del sottosuolo presso frazione Molin del Piano, comune di Pontassieve (FI)

In particolare l'indagine ha riguardato il sottosuolo interessato da diversi tipi di intervento, e ha permesso:

- Caratterizzare le aree dal punto di vista geomeccanico;
- Classificare il sottosuolo dal punto di vista sismico relativamente alla classificazione attuale e determinata ricorrendo alla pubblicazioni allegate alle N.T.C. 2008;

Nei capitoli successivi, verranno riportati i risultati della campagna di prospezione geofisica, in particolare con riferimento alle tecniche di acquisizione Down-Hole e all'analisi ed interpretazione dei dati acquisiti.

1.2 Programmazione delle indagini geofisiche

In base alle indicazioni ricevute e al sopralluogo effettuato, ed in ragione del particolare e specifico contesto geomorfologico e alla struttura dell'edificio, è stato deciso di realizzare la seguente campagna di indagini:

- esecuzione di 1 campagna di acquisizione in foro dei dati sismici di tipo Down-hole, relativamente ai primi arrivi delle onde V_p e V_s , con passo di 1 metro e fino alla profondità di 31 m dal p.c., con posizione come riportato in allegato A.

2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA ATTIVA

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica dell'area indagata, la campagna di acquisizione dei dati Down-Hole ha previsto l'acquisizione dei tempi di arrivo sia delle onde V_p che delle onde V_s , al fine di determinare un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di compressione V_p e delle onde di taglio V_s .

2.1 Indagine Down-hole

La metodologia di indagine Down-Hole, è impiegata nel campo della ingegneria geotecnica ed è utilizzata essenzialmente per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde P e delle onde S nei materiali attraversati dal foro d'indagine.

Lo scopo principale è di determinare l'andamento delle velocità e quindi dei moduli dinamici e del coefficiente di Poisson di tali materiali in funzione della profondità.

I rilievi consistono infatti nella misura dei tempi di percorso che le onde elastiche (P ed S), generate in un punto in superficie vicino alla bocca-foro, impiegano per raggiungere uno o più geofoni posti nel foro a profondità diverse.

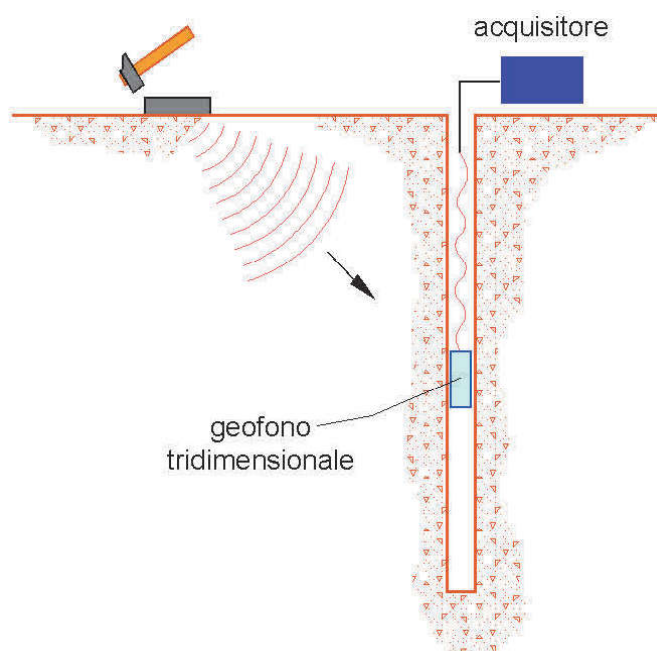


Fig. 2.1-1: Tecnica di acquisizione Down-hole a singolo geofono

La misura dei tempi di percorso è effettuata mediante un'apparecchiatura di acquisizione di segnali sismici digitale, adottando di norma la tecnica di "stacking" dei segnali rilevati per aumentare il rapporto segnale/rumore.

Il geofono nel foro è spostato tra una misura e l'altra di una quantità fissa, normalmente pari a 1 m.

Tradizionalmente i passi di elaborazione di indagini VSP o down-hole per indagini geotecniche consistono in:

- lettura dei tempi di arrivo;
- calcolo e rappresentazione delle dromocrone tempi-distanze fra punto di energizzazione e sensori;
- calcolo delle velocità di intervallo;
- eventuale calcolo e rappresentazione del coefficiente di Poisson o dei moduli elastici dinamici.

La lettura del tempo di arrivo viene effettuata tramite picking manuale su personal computer, e note le profondità di misura vengono calcolate le coordinate dei punti di ricezione e quindi le distanze dal o dai punti di energizzazione.

Viene quindi rappresentato l'andamento dei tempi in funzione delle distanze (dromocrone) od in alternativa l'andamento dei tempi in funzione della profondità lungo il foro.

Le prove Down-Hole sono state eseguite nel foro eseguito presso frazione Molin del Piano, comune di Pontassieve, con profondità d'indagine, relativa al piano campagna, di **31 m** e passo di misura di 1 m per le onde P e per le S.

L'energizzazione è stata effettuata battendo una mazza strumentata contro un apposita piastra in ferro infissa nel terreno e posta ad una distanza **4 m** dal foro.

Per la definizione esatta dell'istante di energizzazione è stato utilizzato un dispositivo di trigger fissato direttamente sulla mazza battente.

Per le onde P l'energizzazione è stata ottenuta battendo in senso verticale, mentre le onde S sono state generate battendo lateralmente ad entrambe le estremità della piastra orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro.

Per ogni profondità di misura si sono registrati i segnali generati con battute nei due versi opposti. In questo modo si sono ottenuti oscillogrammi S con segnali in controfase, condizione questa indispensabile per riconoscere l'inversione dei segnali e quindi per ottenere un'accurata individuazione dei tempi di primo arrivo delle onde S.

Per la ricezione delle onde P ed S, è stato utilizzato un geofono tridimensionale Geospace da 10 Hz, dotato di dispositivo di aggancio pneumatico per il fissaggio alle pareti del foro.

I dati sono stati registrati mediante un acquisitore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D equipaggiato con un geofono

tridimensionale a frequenza naturale di 10 Hz, ed utilizzando 3 canali per il geofono tridimensionale.

Il sistema permette l'acquisizione, la visualizzazione e la memorizzazione dei segnali oltre all'applicazione di operazioni di "stack" del segnale per ottenere, quando necessario, un miglioramento del rapporto segnale/rumore.

L'acquisizione è stata effettuata utilizzando un passo di campionamento di **1/16 ms** (16 kHz) e un tempo di acquisizione pari a **256 ms** (4096 campioni) per entrambi i segnali generati P e S.

2.2 Elaborazione dati sismici - interpretazione in down-hole con il metodo diretto

Per poter interpretare i dati della indagine Down-hole con il metodo diretto, preliminarmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.

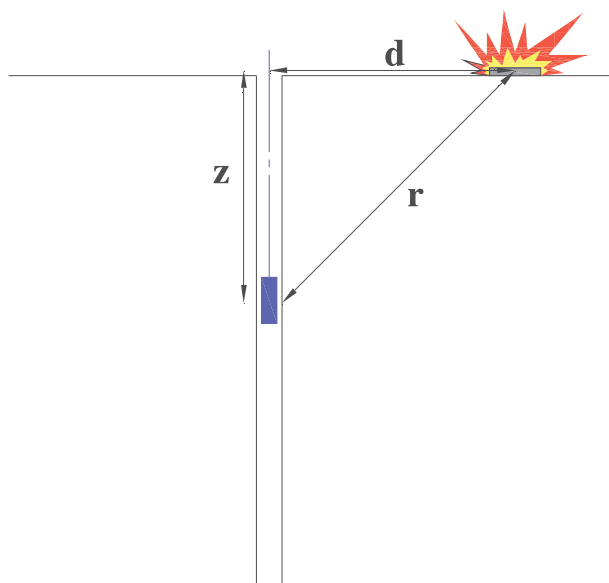


Fig. 2.2-1: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto

Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

1) Correzione tempi di arrivo:

$$1.0) \quad t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

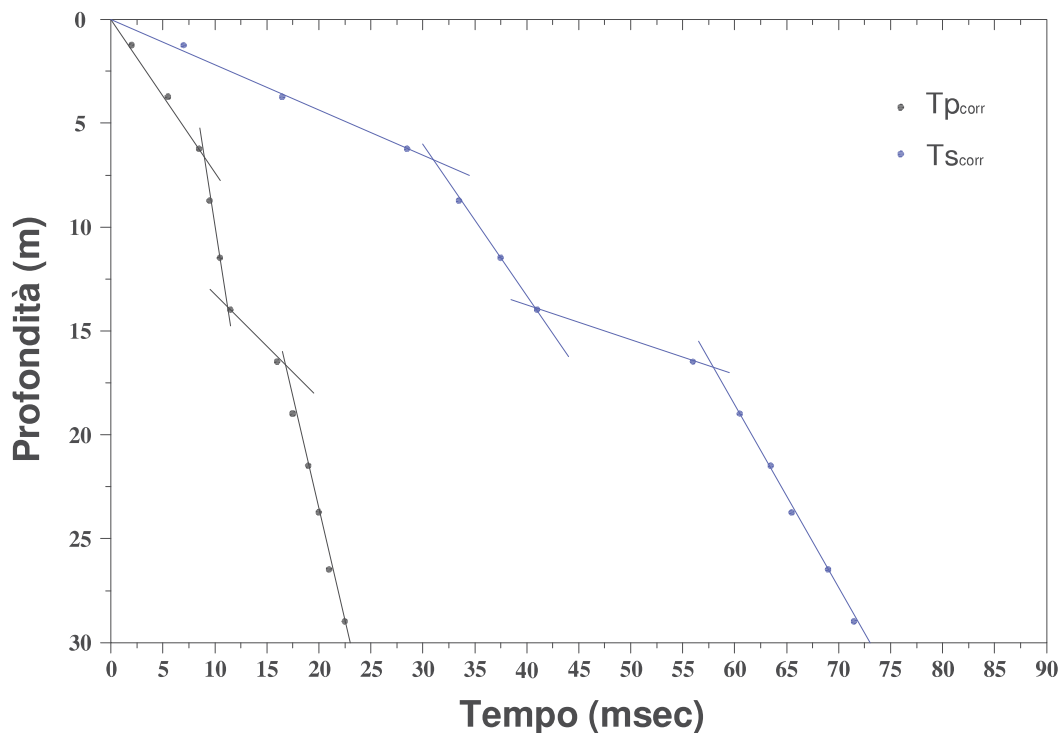


Fig. 2.2-2: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto - Dromocrone

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

2) coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

3) modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

4) modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{\text{dmedio}} = \rho V_p^2$$

5) modulo di Young medio:

$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

6) modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{\text{vmedio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Con il metodo dell'intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica vengono interpretati, elaborando e quantificando anche i tempi di arrivo fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità.

Tale metodo è utilizzabile anche quando si dispone di un solo ricevitore, per cui i valori di velocità determinati vengono definiti di *pseudo-intervallo*, consentendo comunque una migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico, con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{Z_2 - Z_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- non è applicabile nel caso in cui $t_{2corr} < t_{1corr}$.

I tempi dei primi arrivi vengono determinati graficamente e in modalità comparativa, graficando i sismogrammi delle onde P e i sismogrammi delle onde S, per quest'ultimi si grafica sia la battuta destra S1 che la battuta sinistra reciproca S2.

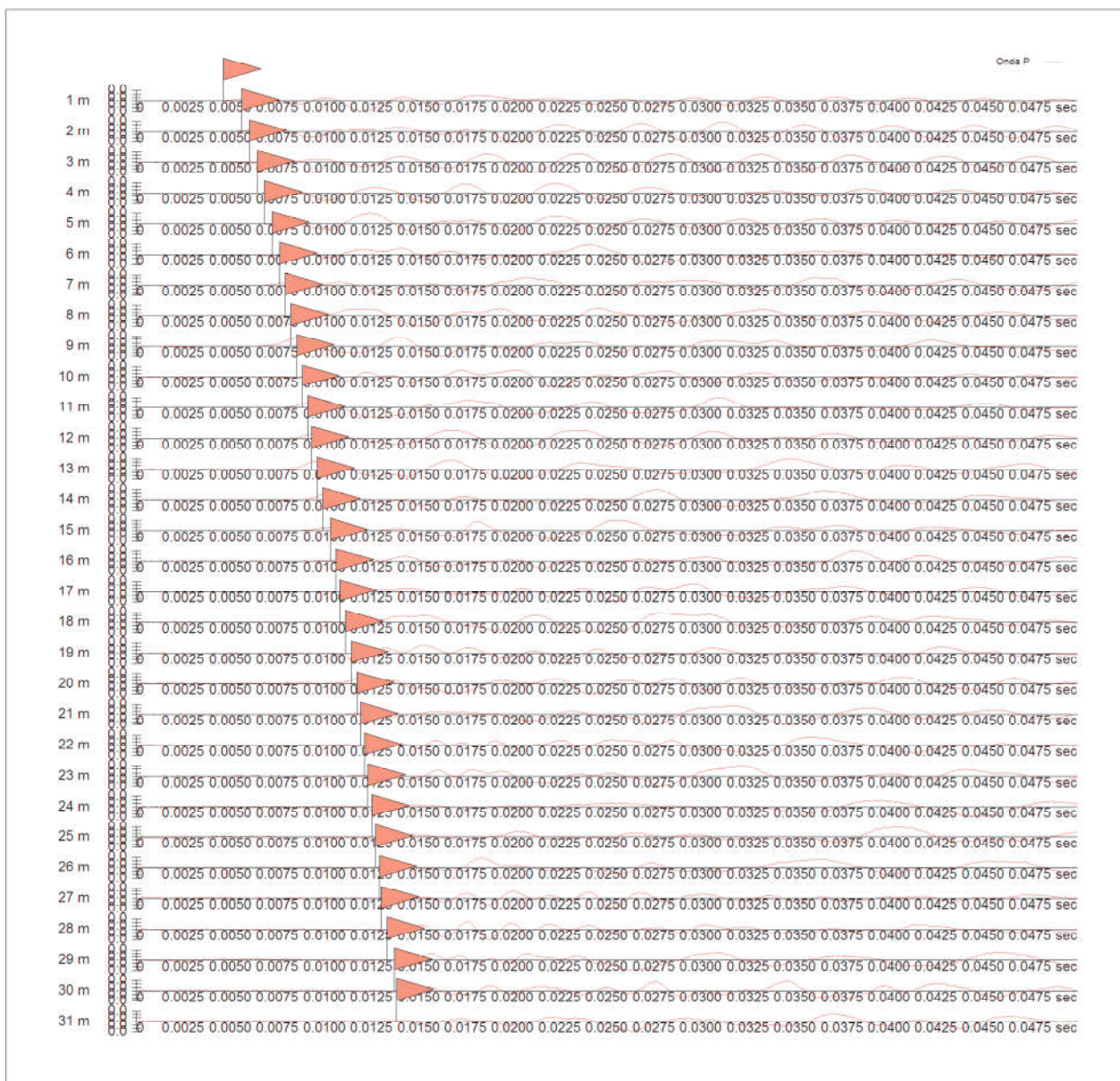


Fig. 2.2-3: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto – Grafico comparativo primi arrivi Vp

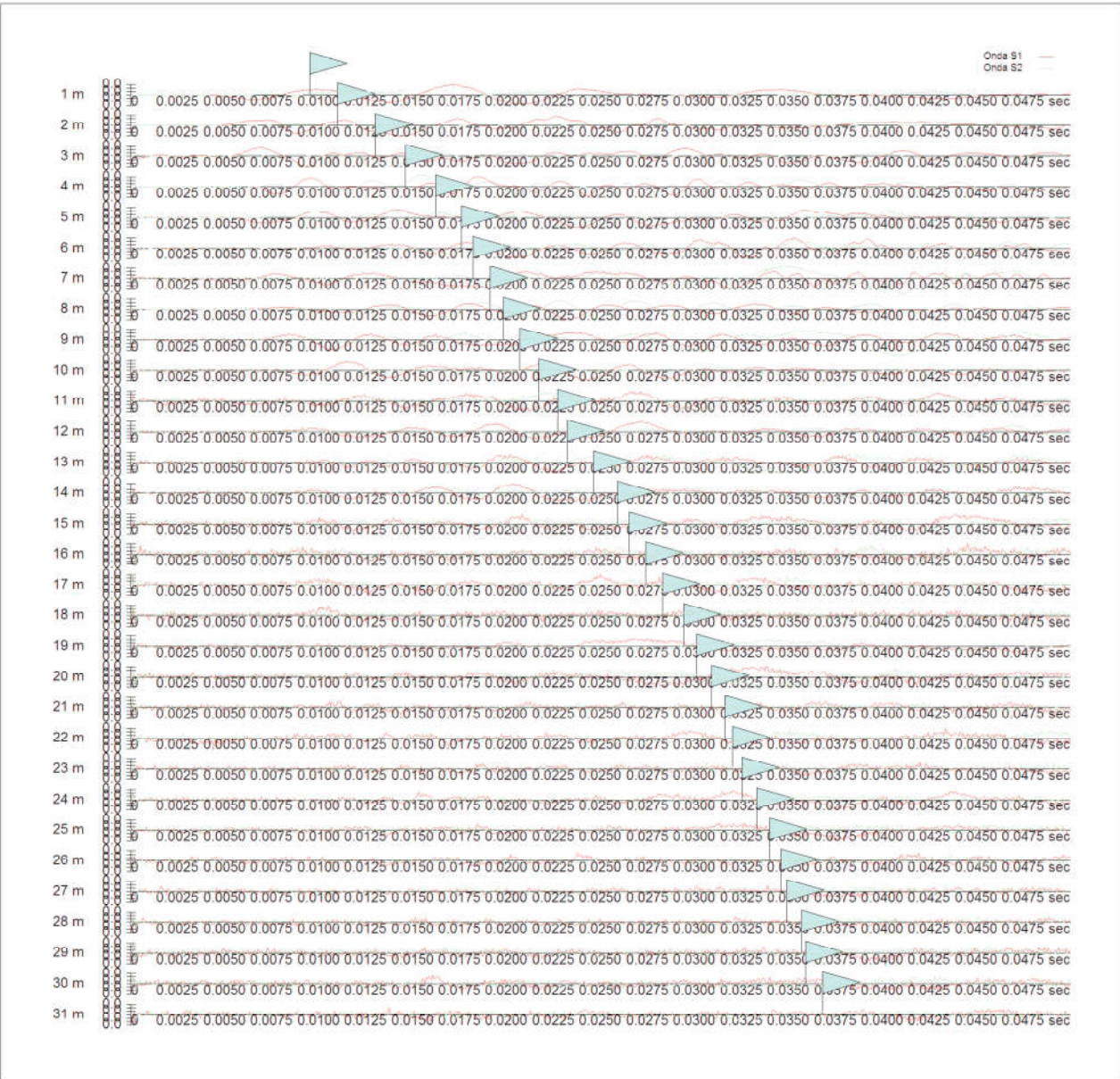


Fig. 2.2-4: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto – Grafico comparativo primi arrivi Vs

Tab. 2.2-1: Layout geometrico Down-hole

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
4	31	1	1

Tab. 2.2-2: Tempi primi arrivi Down-hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	1.00	4.6	9.5
2	2.00	5.6	11
3	3.00	6	13
4	4.00	6.4	14.6
5	5.00	6.8	16.2
6	6.00	7.2	17.6
7	7.00	7.6	18.2
8	8.00	7.9	19.1
9	9.00	8.2	19.8
10	10.00	8.5	20.7
11	11.00	8.8	21.7
12	12.00	9.1	22.7
13	13.00	9.3	23.2
14	14.00	9.6	24.6
15	15.00	9.9	25.9
16	16.00	10.3	26.5
17	17.00	10.6	27.4
18	18.00	10.8	28.3
19	19.00	11.1	29.4
20	20.00	11.4	30.1
21	21.00	11.7	30.9
22	22.00	11.9	31.6
23	23.00	12.1	32
24	24.00	12.3	32.5
25	25.00	12.5	33.3
26	26.00	12.7	34
27	27.00	12.9	34.6
28	28.00	13	34.9
29	29.00	13.3	35.7
30	30.00	13.7	35.9
31	31.00	13.8	36.8

Tab. 2.2-3: Tempi primi arrivi Down-hole corretti per fattore geometrico

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
4.1231	1.1157	2.3041
4.4721	2.5044	4.9194
5.00	3.60	7.80
5.6569	4.5255	10.3238
6.4031	5.3099	12.6501
7.2111	5.9908	14.6441
8.0623	6.5986	15.802
8.9443	7.066	17.0836
9.8489	7.4933	18.0935
10.7703	7.8921	19.2195
11.7047	8.2702	20.3935
12.6491	8.633	21.5351
13.6015	8.8887	22.1741
14.5602	9.2306	23.6535
15.5242	9.5657	25.0255
16.4924	9.9925	25.7088
17.4643	10.3182	26.6716
18.4391	10.5428	27.6261
19.4165	10.8619	28.7694
20.3961	11.1786	29.5155
21.3776	11.4934	30.3543
22.3607	11.7081	31.0903
23.3452	11.9211	31.5268
24.3311	12.1326	32.0578
25.318	12.343	32.8818
26.3059	12.5523	33.6046
27.2947	12.7607	34.2264
28.2843	12.8693	34.5492
29.2746	13.1753	35.3652
30.2655	13.5798	35.5851
31.257	13.6865	36.4974

Tab. 2.2-4: Sismogrammi invertiti con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
SISMOSTRATO 01	3
SISMOSTRATO 02	6
SISMOSTRATO 03	20
SISMOSTRATO 04	31

Tab. 2.2-5: Parametri geotecnici medi ottenuti con metodo diretto

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
833.33	384.62	21.29	0.36	321.16	1507.67	876.55	1079.46
1255.23	438.6	21.7	0.43	425.71	3486.8	1217.92	2919.19
2697.5	940.86	23.33	0.43	2105.77	17309.44	6025.66	14501.74
4382.47	1575.93	25.09	0.43	6353.02	49129.64	18115.53	40658.95

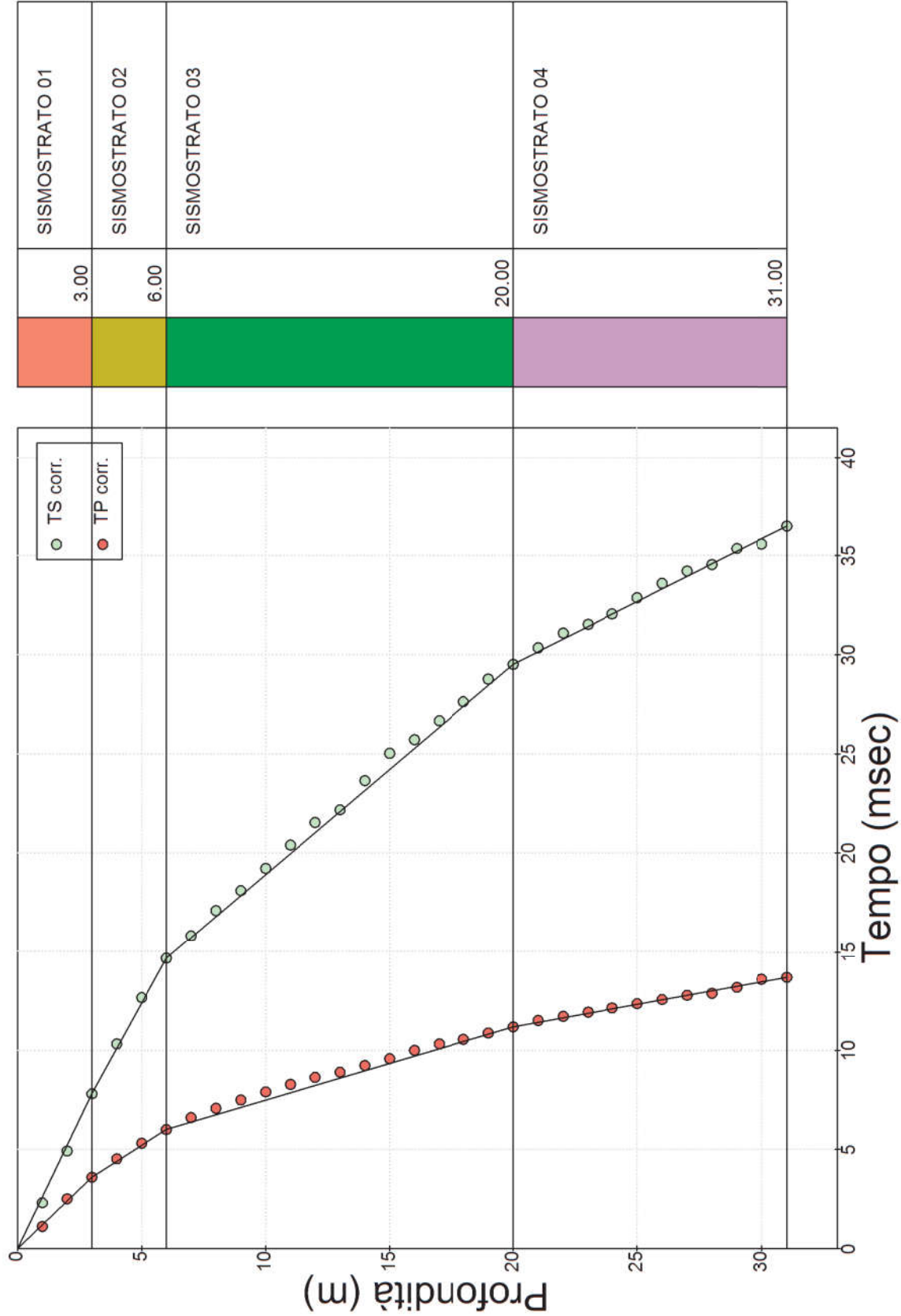


Fig. 2.2-5: Dromocrona ottenuta con metodo diretto

L'elaborazione dei dati permette di determinare un profilo monodimensionale delle velocità di strato delle onde sismiche, che permette di ovviare alle problematiche presenti nella modellazione diretta, per cui sono insite delle ambiguità interpretative circa lo spessore e velocità dello strato nel senso che lo stesso risultato può essere ottenuto con diversi modelli valendo un principio di equivalenza.

Il parametro determinabile univocamente è infatti rappresentato dal valore del prodotto di spessore e velocità.

Ai fini della determinazione del parametro Vs30 questo non rappresenta una limitazione infatti tale parametro rappresenta proprio la media della velocità delle onde di taglio sui primi 30 m di profondità ed è dato dalla (1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

I risultati dei processi di inversione ed interpretazione, dei dati sismici acquisiti con la Down-hole, ha prodotto delle curve di velocità, come di seguito riportato.

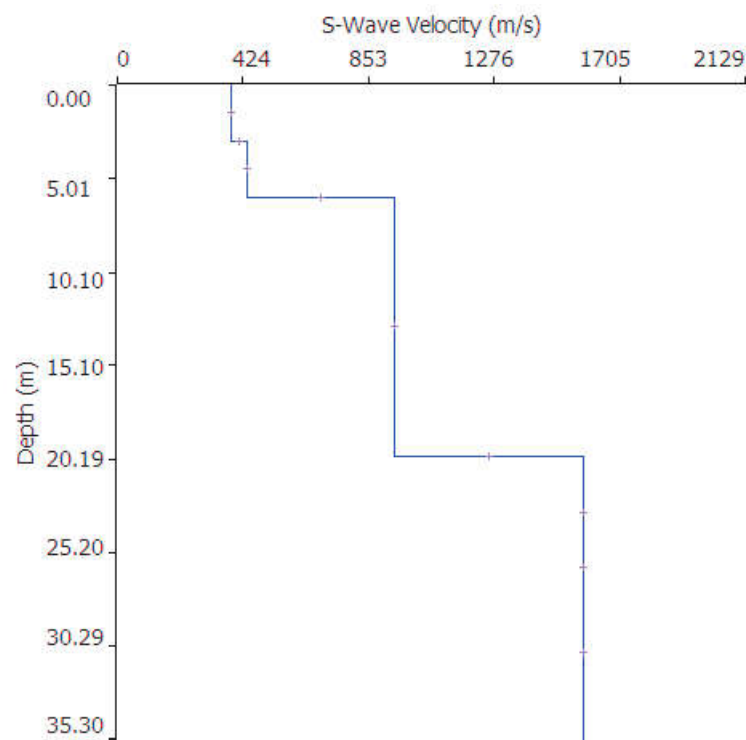


Fig. 2.2-6: Profilo di velocità monodimensionale onde S PROFILO DH01.

Tab. 2.2-6: RIEPILOGO CALCOLO Vs30

INDAGINE	Vs30 [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
DH01 MOLIN DEL PIANO	836	B

2.3 CONCLUSIONI

Le misure effettuate con tecnica in foro Down-hole hanno consentito di ottenere delle informazioni sulla stratificazione acustico-elastica del sottosuolo ed in particolare hanno permesso di stimare il profilo verticale delle onde di taglio (V_s) nei primi 30 m di profondità.

L'area oggetto di indagine, ubicata presso frazione Molin del Piano, comune di Pontassieve rientra nella zona sismica 3S ai sensi della vigente normativa regionale.

I valori del parametro V_{s30} , determinati con l'elaborazione dei vari dati sismici sono risultati pari a:

Tab. 2.3-1: RIEPILOGO CALCOLO V_{s30}

INDAGINE	V_{s30} [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
DH01 MOLIN DEL PIANO	836	B

Dall'analisi dei profili della velocità delle onde di taglio, i terreni indagati si possono definire terreni di tipo B perché hanno una v_{s30} superiore a 800 m/s e quindi caratteristica dei terreni di tipo A, ma la presenza di uno strato di alterazione superficiale superiore a 3 m li fa ricadere nella categoria B.

Quindi i terreni resede delle opere nelle aree oggetto di studio possono essere definiti principalmente come

- **sottosuolo di categoria B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

In questi suoli il fattore S , relativo al profilo stratigrafico del suolo di fondazione risulta essere pari a $S = S_s * S_T$.

Dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, desumibile dalla Tab. 3.2.V delle NCT2008 in base al tempo di ritorno assegnato in funzione della tipologia ed importanza dell'opera progettata.

Dove S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, desumibile dalla Tab. 3.2.VI e indicato nella relazione geologica.

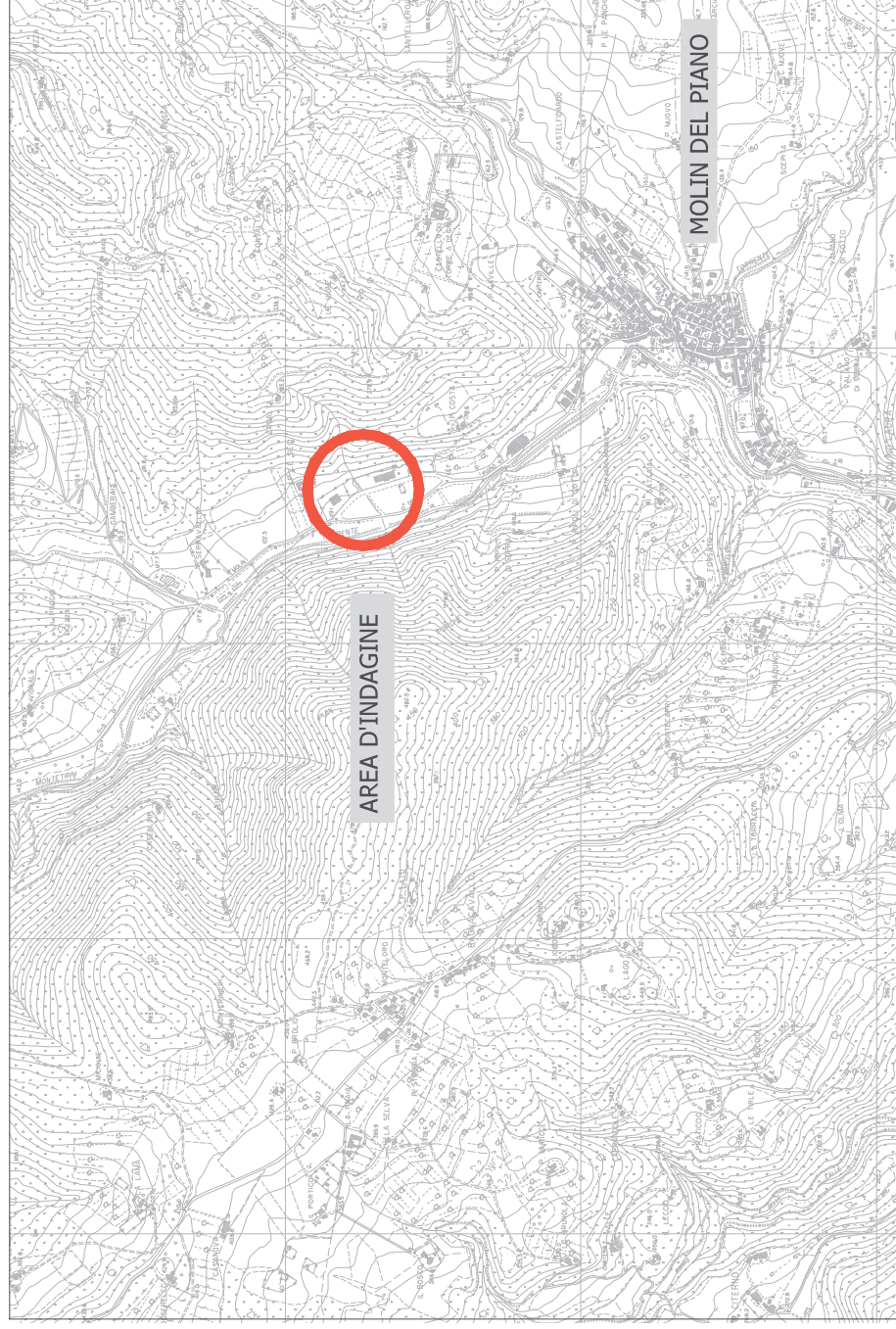
ALLEGATO A

INQUADRAMENTO GENERALE

DROMOCRONE DOWN - HOLE

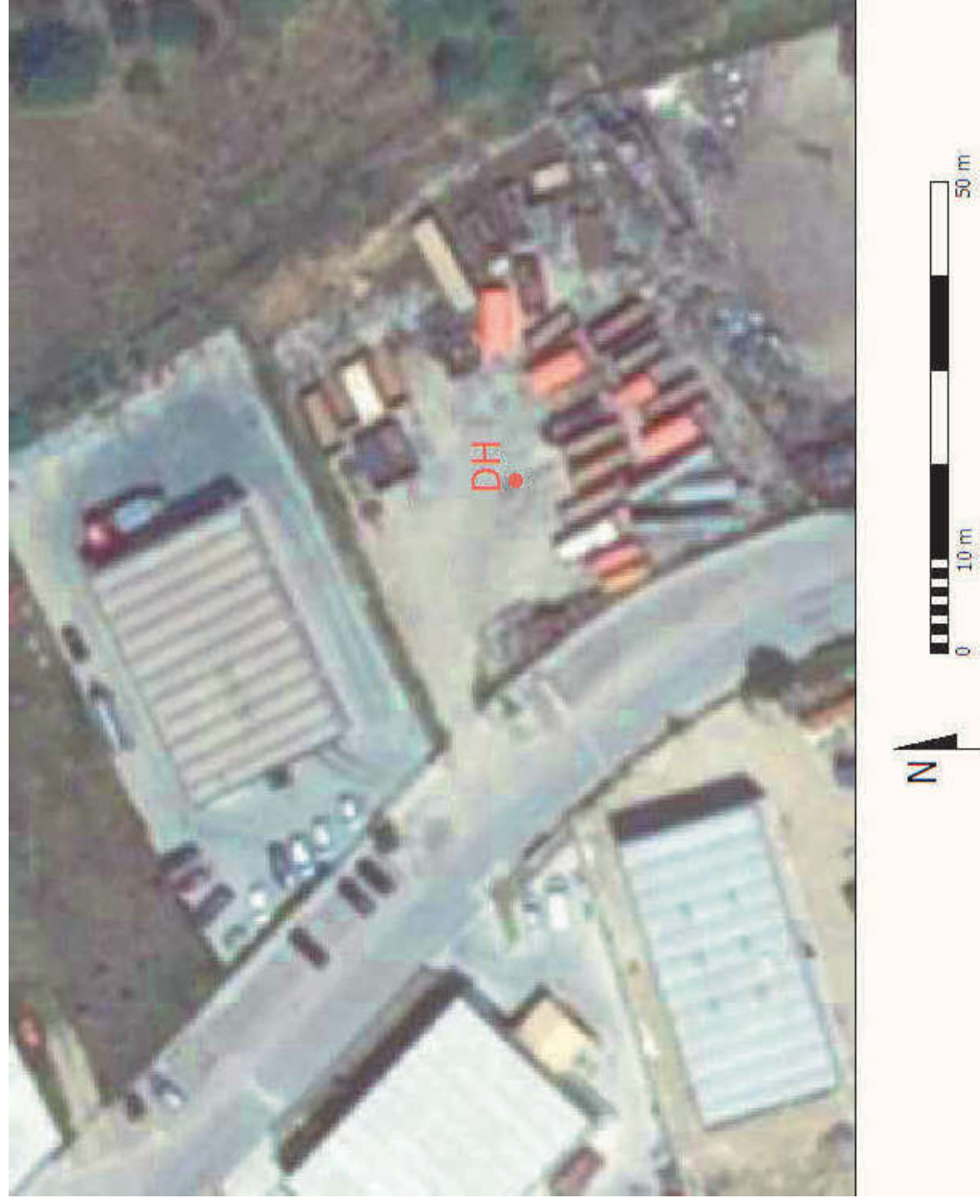
All. A Tav. A01

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO GENERALE scala 1:25.000



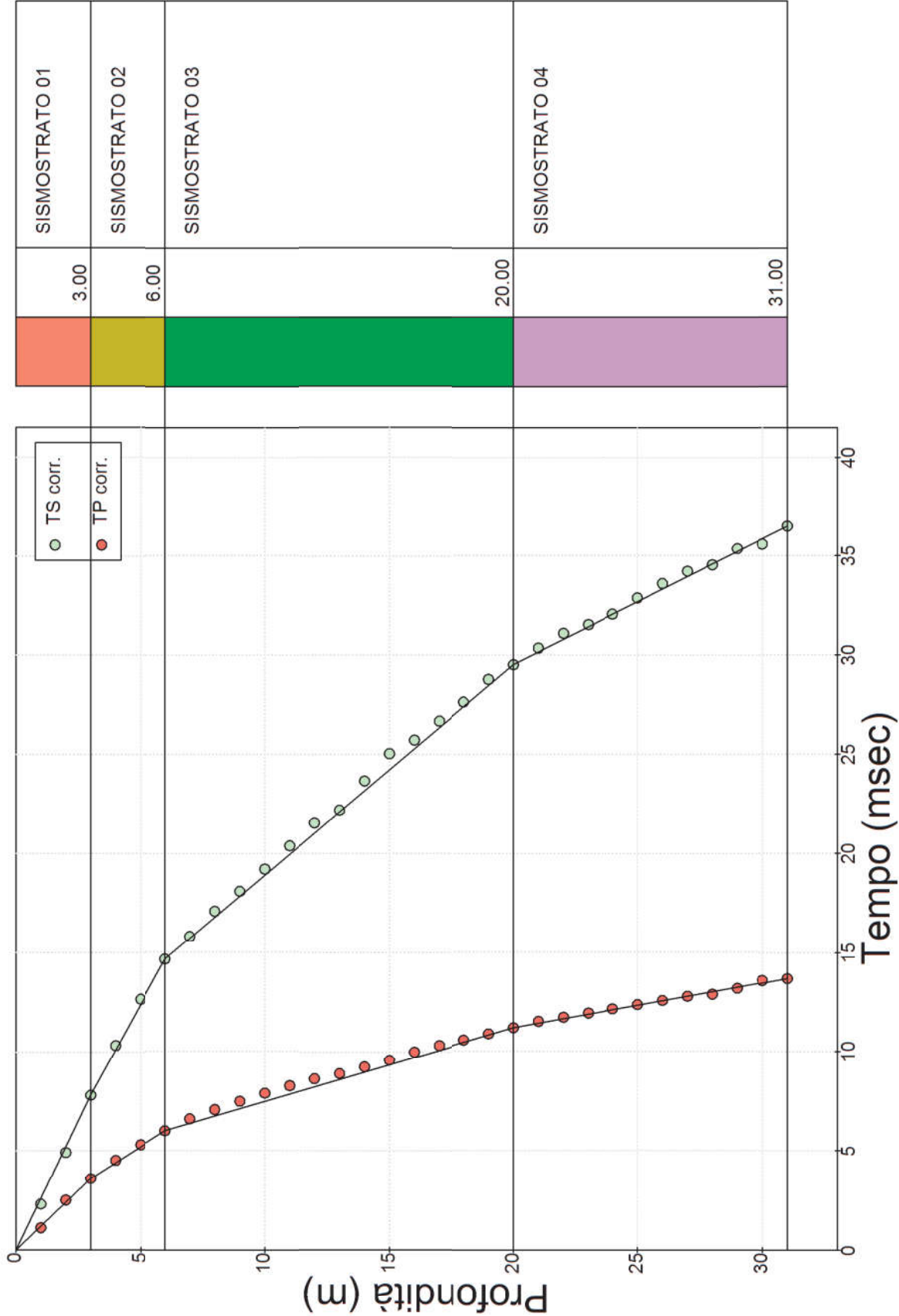
All. A Tav. A02

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO



All. A Tav. A03

DROMOCRONE DH01



ALLEGATO B

FOTOGRAFICO



Foto 1: Misura down-hole DH01

MOLIN DEL PIANO, MOLIN DEL PIANO TR PIAZZALE

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 10/11/11 14:09:02 End recording: 10/11/11 14:25:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 69% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

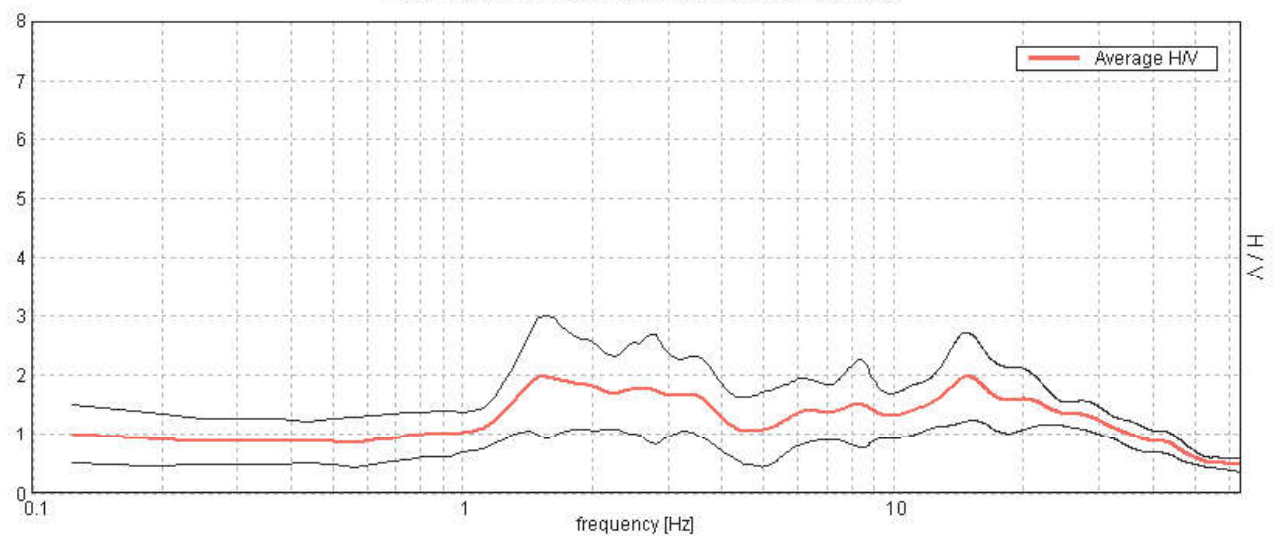
Window size: 15 s

Smoothing window: Triangular window

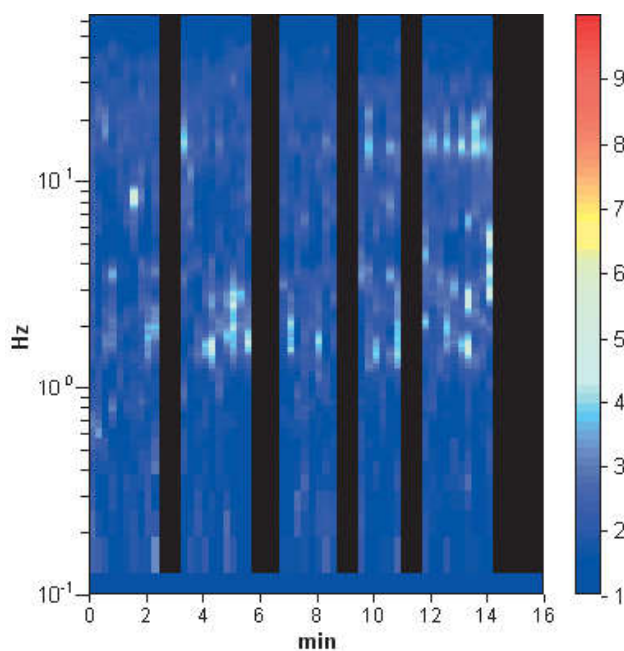
Smoothing: 15%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

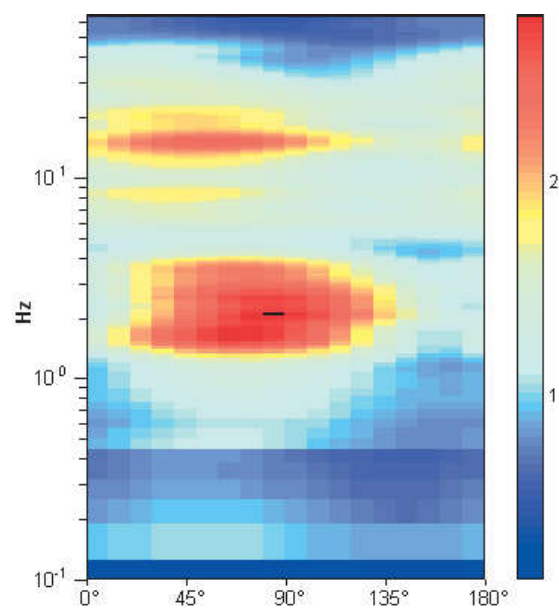
Max. H/V at 14.94 ± 3.61 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



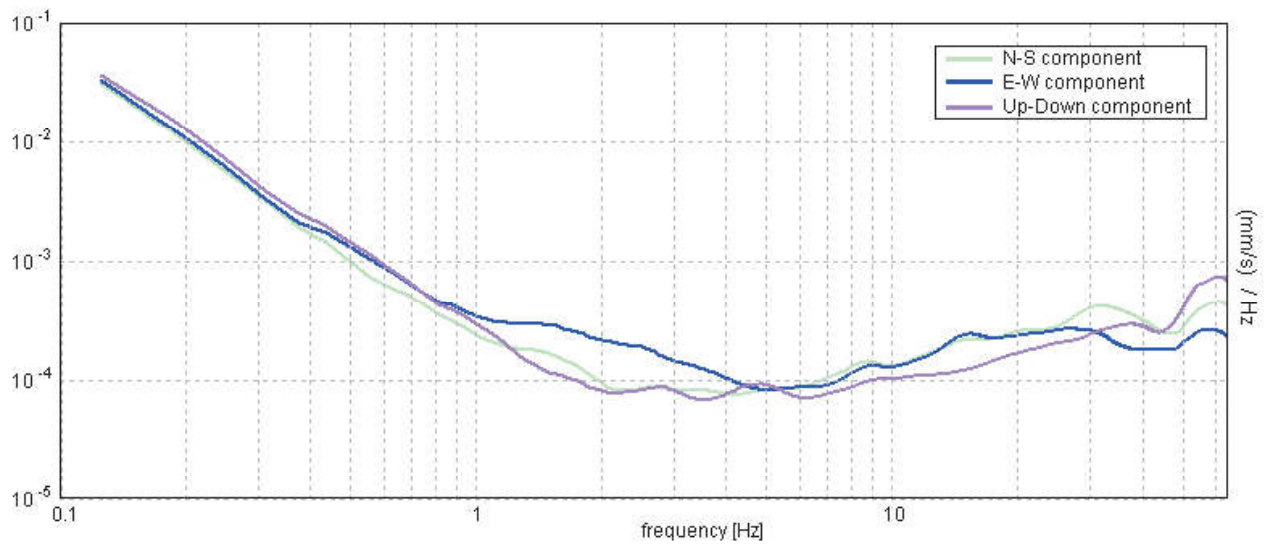
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 14.94 ± 3.61 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$14.94 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$9858.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 360 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	35.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.98 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11848 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.76987 < 0.74688$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3639 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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