

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche

OPERE DI RISANAMENTO ACUSTICO – 1° FASE DI ATTUAZIONE  
DEL PIANO REDATTO AI SENSI DEL D.M. AMBIENTE 29/11/2000

PROGETTO DEFINITIVO

COMUNE DI CASCINA

CODICI INTERVENTO 050008015-050008016-050008024-050008031

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E  
IDROGEOLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.


D 1 4 Z 0 2 D 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	M. SCIARRA	Luglio 2018	R. BRICANTI	Luglio 2018	R. SCIACCA	Luglio 2018	F. MARCHESE

File: D14Z 02 D69 RG GE0001 001 A

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.  
Dott. Geologo Francesco Marchese  
Resp. UO GEOLOGIA  
Online Geologi 179 ES

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 2 di 48

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	8
3.1.1	Assetto strutturale.....	8
3.1.2	Assetto stratigrafico.....	9
3.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	13
3.2.1	Geomorfologia dell'area .....	13
3.2.2	Idrografia .....	15
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	16
5	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI .....	18
5.1	RISCHIO GEOMORFOLOGICO, IDRAULICO E SISMICO.....	18
5.1.1	Aree a pericolosità geologica.....	18
5.1.2	Aree a pericolosità idraulica.....	19
5.1.3	Aree a pericolosità sismica locale.....	23
6	VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA .....	25
6.1	VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....	25
6.2	SUBSIDENZA .....	25
7	INDAGINI.....	27
7.1	PREMESSA .....	27
7.2	CAMPAGNA INDAGINI .....	27
7.2.1	Indagini pregresse presenti in Sito (ISPRA e Banca Dati Regione Toscana) .....	27
7.2.2	Indagini ITALFERR 2018.....	30
8	MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO .....	31
8.1	UNITÀ STRATIGRAFICHE .....	31
8.2	LIVELLI PIEZOMETRICI .....	32
9	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO TECNICA DEI TERRENI .....	33
9.1	PREMESSA .....	33
9.2	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA .....	33

9.3	MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALEMENTEMENTE SABBIE E GHIAIE) .....	33
9.3.1	<i>Densità Relativa (<math>D_r</math>)</i> .....	33
9.3.2	<i>Angolo di resistenza al taglio (<math>\varphi'</math>)</i> .....	34
9.3.3	<i>Caratteristiche di deformabilità</i> .....	35
9.4	MATERIALI A GRANA FINE (PREVALEMENTEMENTE LIMI E ARGILLE) .....	35
9.4.1	<i>Peso di volume (<math>\gamma</math>)</i> .....	35
9.4.2	<i>Resistenza al taglio non drenata (<math>c_u</math>)</i> .....	35
9.4.3	<i>Modulo di deformazione a piccole intensità <math>G_0</math></i> .....	36
9.5	PARAMETRI GEOLOGICO-TECNICI DI RIFERIMENTO .....	36
10	SISMICITÀ DELL'AREA .....	37
10.1	STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE .....	38
10.2	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC2008 .....	41
10.3	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE .....	45
11	CONCLUSIONI .....	48
12	BIBLIOGRAFIA .....	50

APPENDICE 1 – Grafici relativi ai parametri geotecnici ricavati da prove CPT

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D69RG	GE0001	A	4 di 48

## TAVOLE ALLEGATE

Id	Scala	Codifiche Italferr																					
Planimetria ubicazione indagini	1:5000	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A	
Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico	1:5000/500	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A	
Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico	1:5000/500	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A	
Carta dei complessi idrogeologici	1:5000/500	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A	
Carta dei complessi idrogeologici	1:5000/500	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	N	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A	
Indagini pregresse	-	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A	

## DOCUMENTI ALLEGATI

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
Indagini geofisiche	-	D	1	4	Z	0	2	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	5 di 48

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica di inquadramento redatto nell'ambito della Progettazione Definitiva delle barriere antirumore Prima Fase di Attuazione Blocco 2 del piano elaborato ai sensi del D.M. Ambiente 29 novembre 2000.

Il tratto ferroviario oggetto di risanamento acustico è ubicato lungo la tratta ferroviaria Firenze-Pisa presso il Comune di Cascina, per un'estensione lineare di circa 4.4 km; i codici d'intervento identificativi sono individuati dalle seguenti codifiche: C.I. 050008015, C.I. 050008031, C.I. 050008016, C.I. 050008024.


Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti sia da fonti bibliografiche (fonti ISPRA e Banca Dati delle indagini geotematiche Regione Toscana), sia da indagini geofisiche realizzate da Italferr e comprendenti tomografie elettriche 2D, tomografie sismiche a rifrazione, indagini M.A.S.W., indagini HVSR, prove S-CPTU.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:

- 1) Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
- 2) Analisi della Cartografia del rischio;
- 3) Descrizione delle indagini geognostiche realizzate;
- 4) Modello geotecnico di riferimento e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni;
- 5) Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

A corredo della presente relazione sono stati inoltre eseguiti i seguenti elaborati grafici:

- Planimetria ubicazione indagini;
- Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico;
- Carta dei complessi idrogeologici.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 6 di 48

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 14/01/2008, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.


### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area d'interesse si sviluppa nella porzione medio-occidentale del Valdarno Inferiore, nella parte orientale della pianura pisana, in particolare il tracciato si estende dall'estremo est di Cascina proseguendo verso nord-ovest in prossimità della località di Navacchio. La lunghezza totale della tratta oggetto del presente studio è dunque di circa 4.43 km.

Il tracciato oggetto di studio è visibile in Figura 3-1.



**Figura 3-1 - Immagine aerea dell'area di Cascina, in rosso si evidenzia la porzione di tracciato oggetto di intervento di risanamento acustico**

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 8 di 48

### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO


#### 3.1.1 Assetto strutturale

Il territorio comunale di Cascina è posto nel Valdarno Inferiore all'interno della pianura pisana. Si tratta di una porzione del sistema di bacini distensivi Neogenici (Martini & Sagri 1993; ISPRA, 2010) formati in seguito all'apertura del Mar Tirreno e colmati con depositi pre-Quaternari e Quaternari (Ghelardoni et al., 1968; Mariani & Prato, 1988; Pascucci et al., 2001; Aguzzi et al. 2005; ISPRA 2010). In particolare, ci troviamo all'interno del bacino sedimentario di Pisa-Viareggio (Mazzanti, 2000) originatosi, fin dal tardo Tortoniano, dal riempimento del sistema di semi-graben (Mariani e Prato, 1988; Nagi & Pascucci, 2002; ISPRA, 2010) posto lungo il margine tirrenico. Questa depressione è limitata ad est dalla struttura positiva dei Monti Pisani ed a ovest dalla dorsale di Viareggio. La presenza di una faglia diretta sepolta, non attiva, è attribuibile al sistema di faglie distensive in direzione SE-NW chiamato Meloria-Bientina. Tale faglia sepolta fiancheggia il settore sud-orientale dei Monti Pisani causando la depressione tettonica compresa tra i monti stessi ed il rilievo delle Cerbaie (ISPRA, 2010). Il bacino di Pisa-Viareggio include un considerevole spessore di depositi in successione stratigrafica dal Neogene al Quaternario.

Sulla base dei dati disponibili il sottosuolo della pianura di Pisa può essere suddiviso in tre unità tettonico-stratigrafiche:

- Il *substrato profondo* comprende la Serie Toscana che si immerge sotto la pianura. Sondaggi profondi, eseguiti nella pianura, hanno portato alla luce il substrato profondo sul quale è avvenuto il riempimento sedimentario (Fancelli et al., 1986). Si tratta del “tetto” delle successioni litologiche pre-mioceniche, costituito dalla parte bassa della falda Toscana
- Il *substrato intermedio* è costituito da sedimenti “neoautoctoni” la cui deposizione ha un inizio variabile da zona a zona, ma non è mai anteriore al Miocene sup. Si tratta di sedimenti deposti in presenza di una subsidenza di origine tettonica. La successione inizia alla base con sabbie e conglomerati a cui seguono argille lagunari sormontate da gessi variamente alternati a strati argillosi la cui deposizione viene fatta coincidere con l'interruzione delle comunicazioni tra il Mediterraneo e l'Oceano Atlantico. Al di sopra dei gessi si ritrovano sabbie, argille e conglomerati che rappresentano la sedimentazione di un bacino senza comunicazione con i mari aperti. A questi è seguita la deposizione di argille azzurre di facies francamente marina che sono state invece deposte in un ambiente di mare più profondo cui seguono alternanze di argille azzurre e sabbie gialle che denotano l'alternarsi di ambienti marini più o meno profondi. Al di sopra si ritrovano Sabbie ed Argille contenenti fossili di *Arctica Islandica* che ne attribuiscono l'età al Pleistocene a cui segue la sedimentazione delle sabbie di Nugola Vecchia che rappresentano un episodio di sedimentazione di mare basso ed indicano quindi un fenomeno di regressione marina avvenuto al termine del Pleistocene inferiore. È da notare che questa successione può essere osservata in superficie sulle Colline Pisane dove questi terreni formano una monoclinale che si immerge al di sotto della pianura di Pisa (Fancelli et al., 1986).
- Il *substrato superiore* è formato da sedimenti successivo al Pleistocene inferiore che si sono deposti in presenza di variazioni del livello del mare e di mutazioni del regime dei fiumi il cui trasporto solido cambiava, in seguito alle variazioni del clima, sia nella sua entità che nella granulometria più o meno fine dei clasti. Al substrato superiore appartengono le argille e sabbie marine poco profonde, unità individuata tra circa 86 m e 100 m di profondità dal livello del mare e attribuibile al Pleistocene inferiore.  
L'Unità dei conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, presenti uniformemente nel sottosuolo Pisano, si trovano a circa 50 metri di profondità presso Cascina fino a raggiungere i 145 metri nella zona di Pisa. I conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, il cui spessore varia tra 4 e 10 metri, sono costituiti da ciottoli delle formazioni affioranti sui Monti Pisani e sono sede di un importante acquifero artesianesimo attualmente molto sfruttato. Si ritiene quindi che l'apporto dei clasti più grossolani di questi conglomerati siano dovuti al trasporto del Serchio che scorreva impetuoso a partire dai rilievi delle Alpi Apuane, mentre le acque dell'Arno avrebbero fornito un contributo clastico più fine in quanto dotate di minore energia. Al di sopra della formazione precedentemente descritta si trova un livello di “Limi fluvio-palustri del sottosuolo”. Questi corrispondono ad una fase di più limitata attività fluviale, sono infatti caratterizzati da una notevole



	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 9 di 48


diminuzione delle dimensioni dei clasti rispetto a quelle della formazione sulla quale poggiano (Della Rocca, Mazzanti, & Pranzini, 1987). Questa diminuzione del trasporto è probabilmente legata ad un cambiamento del clima (più arido) al quale si deve la deposizione, nel Pleistocene superiore, delle dune delle sabbie dell'Isola di Coltano al di sopra dei "Limi fluvio-palustri del sottosuolo". La deposizione di queste sabbie indica un fenomeno di ingressione marina seguita da un sollevamento eustatico con formazione di dune di origine eolica. A tali sabbie segue la deposizione dell'unità dei "Limi fluvio-palustri di superficie" che sono legati a fenomeni di esondazioni dell'Arno e dei corsi d'acqua minori che, provenendo dai monti Pisani, spesso si impaludavano nella pianura fino ad epoche storiche. L'intero territorio cascianese è dominato dall'affioramento di questa unità.

### 3.1.2 Assetto stratigrafico

Nel territorio di Cascina affiorano terreni di età relativamente recente datati dal Pleistocene superiore all'Olocene, che proseguono in profondità per circa 330 metri fino ad incontrare i depositi pliocenici. Nella carta geologica in conformità a quanto contenuto nel CARG (ISPRA, 2010) e nella Cartografia geologica regionale (Progetto Carta Geologico-Regionale della Toscana) sono stati rappresentati i litotipi significativi per caratteristiche litologiche-stratigrafiche e sviluppo areale.

Da un punto di vista generale le unità litologiche presenti nella porzione di pianura pisana ove è localizzata Cascina sono le seguenti:

- *Sedimenti limo-argillosi e sabbiosi delle aree golenali (Attuale).* I sedimenti presenti nelle aree golenali sono depositi dai corsi d'acqua attuali negli alvei e nelle aree laterali raggiunte dalle piene ordinarie. Per quanto riguarda l'Arno si tratta di sedimenti a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbiosa in corrispondenza dell'energia delle acque che li hanno depositi.
- *Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene).* Questi terreni sono costituiti prevalentemente da argille (la cui consistenza può variare localmente), da argille organiche e torbe. Queste ultime sono caratterizzate dal colore grigio scuro o nero e dalle scadenti proprietà meccaniche. All'interno degli strati argillosi sono talvolta presenti sottili livelli costituiti da limi e subordinatamente da sabbie. I depositi appartenenti a questo gruppo sono rappresentati da sedimenti molto fini e sono generalmente localizzati nelle zone più lontane dai fiumi sulle quali si sono verificati fenomeni di sovralluvionamento. Nelle zone ancora più depresse inoltre, soggette ad impaludamento, si sono deposte anche argille organiche e torbe. La deposizione delle torbe è causata da un processo di degradazione anaerobica subito dalla vegetazione igrofila che si verifica in seguito alla permanenza del terreno allo stato palustre. Questi depositi si ritrovano infatti nelle zone che nel passato erano permanentemente paludose mentre attualmente lo diventano solo occasionalmente in concomitanza degli eventi meteorici più consistenti. Tali aree si trovano a Nord di Coltano, a Stagno, nella zona della Ballerina, del Gracitone e, più a Nord, nelle vicinanze di Campaldo.
- *Depositi alluvionali prevalentemente limosi e sabbiosi con intercalazioni argillose (Olocene).* Questi depositi hanno una granulometria mediamente più grossolana di quelle dei terreni sopra descritti. Si tratta infatti di depositi prevalentemente limosi e argillosi al cui interno sono più o meno frequenti intercalazioni sabbiose. Le ripetute esondazioni verificatesi nel passato nella pianura di Pisa, depositavano la frazione limosa meno fine prevalentemente nelle aree poste in prossimità del corso fluviale dell'Arno. I limi si ritrovano infatti nella zona di Barbaricina, della Vettola, di S. Giovanni al Gatano, ed inoltre nelle zone di Pisa sud, di S. Giusto, di S. Ermete, e di Ospedaletto. Questi depositi si trovano anche in località Le Rene e rappresentano anche in questa località un sedimento di esondazione fluviale che potrebbe essere stato depositato da un antico corso del fiume oggi abbandonato. Le zone il cui substrato è costituito da questi terreni sono leggermente più rilevate rispetto alle ex aree palustri in cui si ritrovano sedimenti mediamente più fini.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 10 di 48

- *Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi (Olocene).* La distribuzione di questi terreni è stata cartografata in base ai risultati di indagini geognostiche. In queste aree i primi 5 metri di sottosuolo sono costituiti in prevalenza da sabbie con argille e limi in quantità subordinata. Si ritrovano nella zona di Ospedaletto e in alcune fasce adiacenti al corso attuale dell'Arno. L'ambiente di deposizione è analogo a quello dei depositi sopra descritti. Nelle zone laterali al fiume possono essere interpretati come arenili formati nella parte interna di meandri in seguito al deposito dei materiali sabbiosi in sospensione nelle acque a causa del rallentamento della corrente.
- *Aree palustri bonificate.* Le aree paludose ancora in tempi storici nel comune di Pisa sono caratterizzate dalla presenza di argille plastiche ed organiche superficiali, talvolta con frazioni limose con scadenti proprietà meccaniche. Nella zona sud del comune di Pisa le ex aree palustri principali sono quelle di Stagno a sud dell'Isola di Coltano e del Palude Maggiore a nord, ancora localizzabili nelle carte del catasto Leopoldino del 1825 le quali sono state prosciugate in tempi molto recenti.

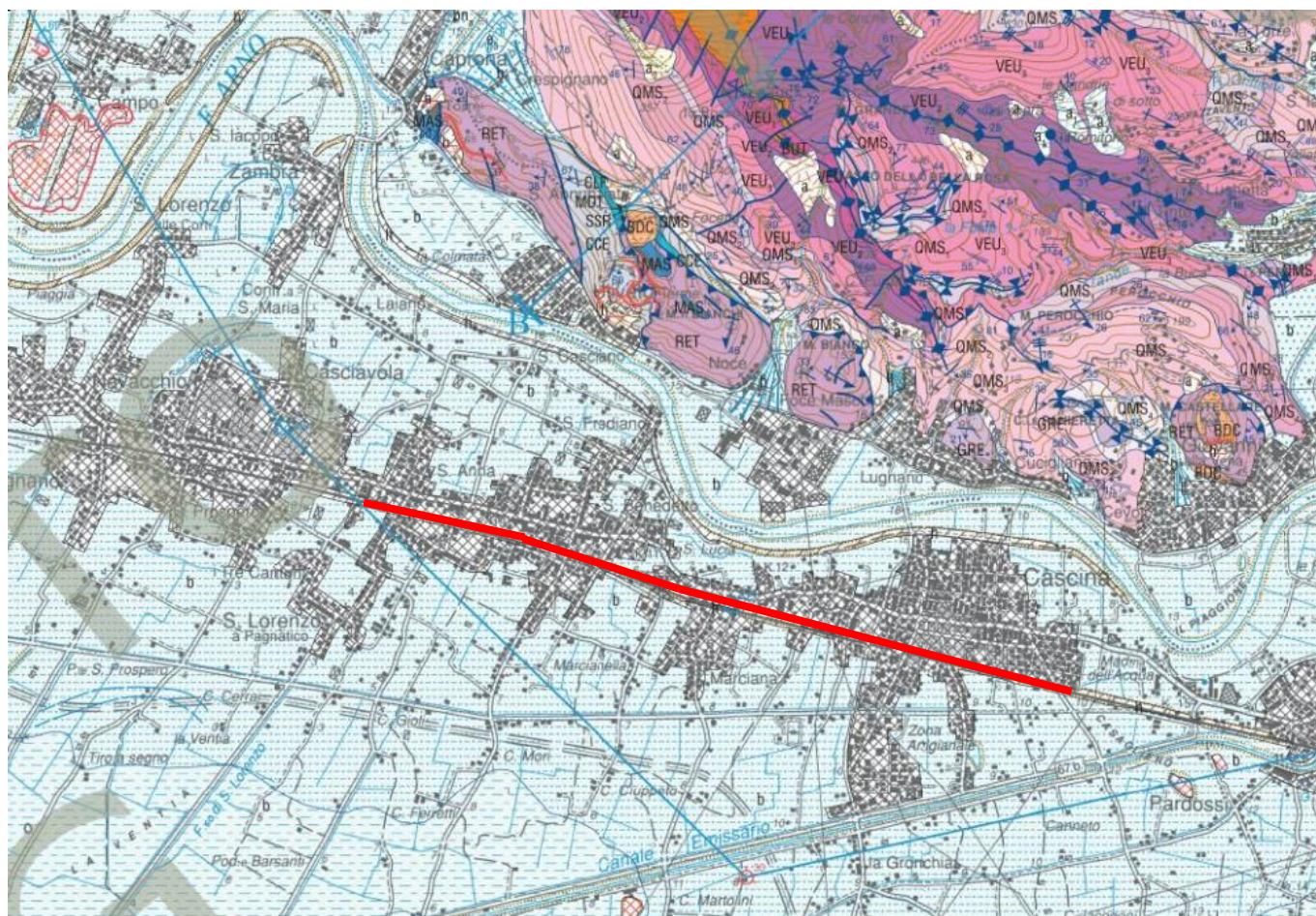
Più in dettaglio, sulla base della relazione geologica redatta per il Piano Strutturale del Comune di Cascina, l'assetto stratigrafico relativo può invece essere descritto come segue:

- Depositi Olocenici
  - Depositi alluvionali attuali – sabbie e limi (b)
  - Depositi alluvionali attuali – Limi e argille prevalenti (b)  
I suddetti depositi sono costituiti prevalentemente da limi e sabbie di esondazione fluviale o di barra di meandro dei fiumi attuali ed antichi che hanno solcato questo tratto di pianura.
  - Depositi palustri (e3a): limi e argille laminate di ambiente lagunare.
- Depositi Pleistocenici
  - Sabbie e limi di Vicarello (QVC): sabbie medio-fini di colore giallo con screziature arancioni. Al loro interno si ritrovano frequentemente concrezioni di CaCO<sub>3</sub> e manufatti del Paleolitico medio. Localmente presentano ciottoli sparsi. L'ambiente deposizionale di questa formazione è essenzialmente eolico-palustre e di piana di esondazione fluviale (Pleistocene Superiore). Questa formazione si rinviene in sporadici affioramenti nella parte SE del comune di Cascina.

Si riportano dunque gli stralci delle due carte geologiche dell'area del comune di Cascina, in

Figura 3-2 e in Figura 3-3, sulle quali viene sovrapposto il tracciato della linea ferroviaria oggetto di studio. In particolare, in

Figura 3-2, si riporta uno stralcio della carta geologica d'Italia fornita dall'ISPRA (ISPRA, 2010), il quale evidenzia come in questa porzione della pianura pisana siano presenti, al di sotto di ampie aree dominate da depositi e strutture antropici, dei depositi alluvionali di età olocenica costituiti prevalentemente da limi, argille e sabbie (b).



#### Depositi alluvionali

Limi e limi argillosi di piana inondabile.

Limi e sabbie di argine e di ventaglio di rota.

Sabbie da fini a medie di aree di tracimazione intravalliva e di conoide distale.

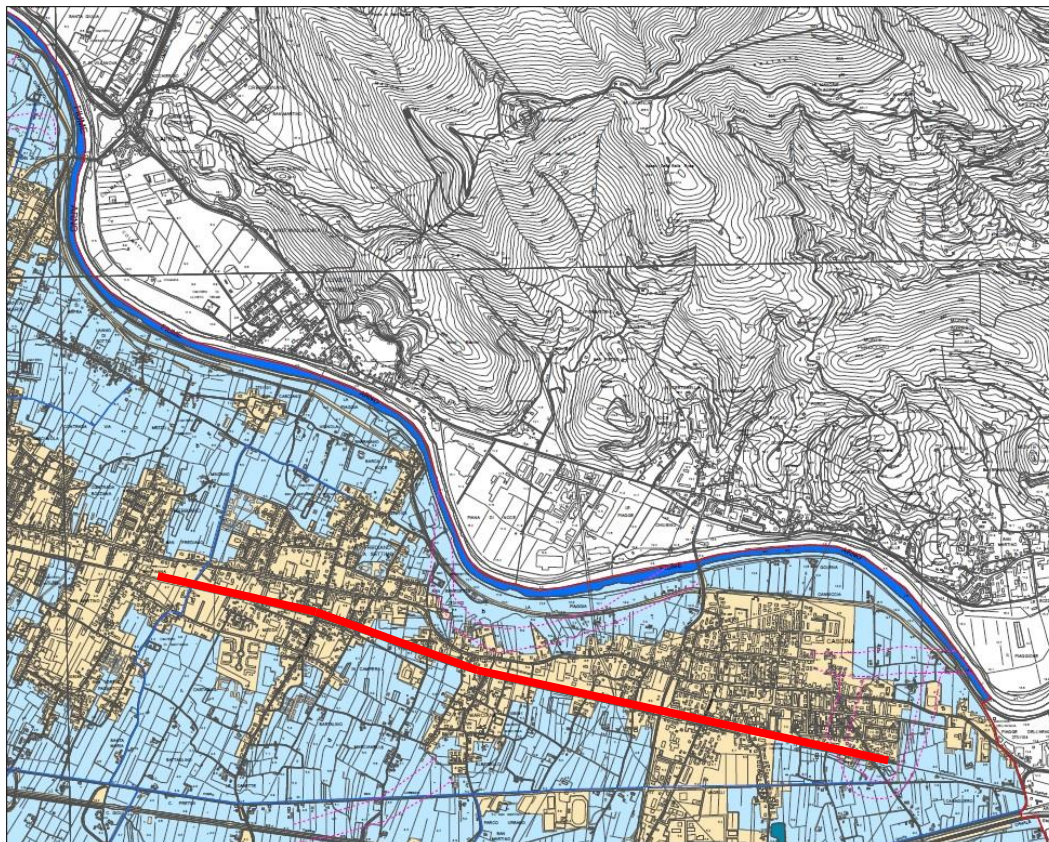
Ghiaie mal classate con matrice sabbiosa deposte in aree di conoide o di tracimazione intravalliva.

**OLOCENE**

**Figura 3-2 - Stralcio della Carta Geologica, Foglio 273 "Pisa", scala 1:50000, ISPRA. In rosso la traccia dell'area di studio (ISPRA, 2010).**

In Figura 3-3 si riporta invece lo stralcio della carta geologica redatta a corredo del Piano Strutturale comunale; tale carta risulta coerente con quanto riportato dalla cartografia ISPRA, in particolare evidenziando l'ampia presenza di aree antropizzate sovrapposte a depositi alluvionali attuali a prevalente composizione sabbioso-limosa.





#### DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

##### FORME E STRUTTURE ANTROPICHE

- Struttura antropica che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno
- Lago antropico
- Lago antropico di cava

##### FORME FLUVIALI

- Traccia di alveo abbandonato
- Idrografia principale
- Idrografia secondaria


##### DEPOSITI OLOCENICI

- b Depositi alluvionali attuali - Sabbie e Limi
- b Depositi alluvionali attuali - Limi e argille prevalenti
- e3a Depositi palustri

##### DEPOSITI PLEISTOCENICI

- QVC Sabbie e limi di Vicarello - Sabbie medio-fini di colore giallo con screziature arancioni. Al loro interno si ritrovano frequentemente concrezioni di CaCO<sub>3</sub> e manufatti del Paleolitico medio. Localmente presentano ciottoli sparsi. (Pleistocene superiore)

**Figura 3-3 – Carta geologica allegata al Piano Strutturale del comune di Cascina (scala 1:10000). In rosso il tracciato della linea oggetto di studio.**

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 13 di 48

## 3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

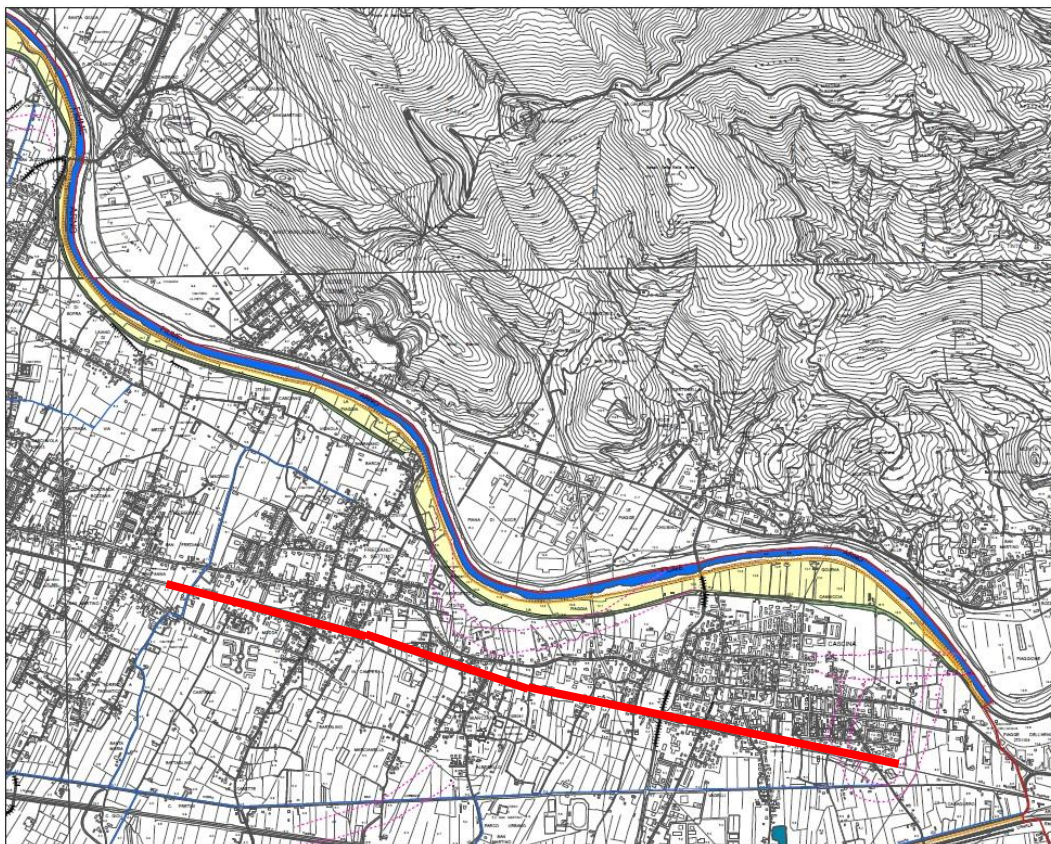
### 3.2.1 Geomorfologia dell'area

Il territorio comunale di Cascina si colloca interamente in zona di fondovalle all'interno della pianura alluvionale del Fiume Arno, zona in cui prevale, oltre alla forte modellazione antropica, la dinamica fluviale (Figura 3-4). Questo territorio ha una forma a trapezio e si colloca a sud del corso dell'Arno nella parte centro-meridionale della pianura pisana, e si restringe ad E tra i Monti Pisani e la Valle di Bientina e si allarga ad ovest tra il corso dell'Arno e quello dello Scolmatore (Mazzanti, 2000; ISPRA, 2010). In quest'area l'Arno assume un andamento a meandri, la cui evoluzione contempla un'azione concomitante di erosione sulla sponda esterna (riva concava) e deposizione su quella interna (convessa). L'accrescimento granulometrico prevede una diminuzione di granulometria dal basso verso l'alto, dovuta alla minore energia di trasporto del flusso idrico dal fondo, verso la sponda in deposizione. Alla diminuzione di energia verso la sponda convessa, fa eco una variazione nelle strutture: da laminazione incrociata di tipo duna, a laminazione incrociata tipo *ripple*. Con il taglio di un meandro si arresta la migrazione del canale e della barra; il canale viene sigillato in condizioni naturali, dal così detto 'tappo argilloso' (*clay plug*) (Mazzanti, 2000; ISPRA, 2010).

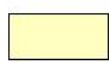

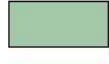


La morfologia del territorio comunale cascinense è tipica delle pianure alluvionale: si tratta di una vasta area pianeggiante dominata da depositi quaternari a composizione prevalentemente sabbioso-limosa o limoso-argillosa, risultato di un vasto processo di sedimentazione in seguito agli importanti apporti alluvionali dell'Arno e del Serchio e di affluenti minori. A Cascina, e nelle aree limitrofe, la piatta superficie alluvionale raggiunge quote massime appena intorno ai 15 metri s.l.m.; le deboli pendenze favoriscono vasti ristagni d'acqua e la tendenza alla formazione di nuove aree paludose, nonostante le opere di canalizzazione e di bonifica effettuate nel corso dei secoli.

Un contributo fondamentale all'assetto geomorfologico del territorio comunale è fornito dai forti interventi antropici che hanno condotto, oltre alle estese zone urbanizzate, anche allo sviluppo di una fitta rete di canali artificiali atti a favorire il difficile drenaggio superficiale dell'area. Lungo tale rete idrografica sono state evidenziate, ove presenti le difese arginali, le scarpate fluviali e le aree in cui le sponde o le scarpate risultano interessate da cedimenti o da micro dissesti. Dal rilievo eseguito tali dissesti al dicembre 2013 risultano essere modesti e puntuali. Sempre ad indicare la forte urbanizzazione dell'area, sono state rilevate, lungo molti tratti delle principali vie di comunicazione nonché al margine di alcune aree interessate da importanti interventi di scavo o rinterro, le scarpate antropiche, che si mostrano linearmente piuttosto estese. Anche l'attuale corso del fiume Arno è delimitato da scarpate antropiche fluviali, da estese aree golenali e da rilievi arginali. Sono stati evidenziati anche gli andamenti degli alvei abbandonati che indicano il possibile vecchio tracciato dell'Arno.





**FORME GEOMORFOLOGICHE POLIGONALI**

	Golena
	Cava esaurita non inserita nel PAERP (autorizzata fino al 2023)
	Depositi palustri
	Lago antropico
	Lago antropico di cava


**FORME GEOMORFOLOGICHE LINEARI**

	Traccia di alveo abbandonato
	Scarpata antropica generica
	Scarpata antropica fluviale
	Argine fluviale
	Idrografia principale
	Idrografia secondaria

**FORME GEOMORFOLOGICHE PUNTUALI**

	Cedimenti di sponda fluviale
---	------------------------------

**Figura 3-4 – Carta geomorfologica e relativa legenda allegata al Piano Strutturale del comune di Cascina (scala 1:10000). In rosso il tracciato della linea oggetto di studio.**


	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 15 di 48

### 3.2.2 Idrografia

Il territorio comunale, è delimitato a nord dal corso del fiume Arno e a sud dal corso dello Scolmatore, delineanti una geometria a ventaglio che si apre verso l'area costiera della pianura di Pisa.

L'Arno: Dopo il primo tratto montano, a partire dal monte Falterona, lascia il Casentino e, attraverso la stretta di S. Marna, sbocca nella piana di Arezzo. A circa 60 Km dalle sorgenti, nei pressi del bordo occidentale della piana, si congiunge con il Canale Maestro della Chiana. Entra quindi nel Valdarno Superiore dove scorre, percorrendo un vasto arco, sino a Pontassieve, allo sbocco della Sieve, suo principale affluente di destra. Da qui piega decisamente verso ovest e mantiene tale direzione fino alla foce. É in questo ultimo tratto detto Valdarno Inferiore, che confluiscono i restanti importanti affluenti di destra e sinistra. Il Valdarno Inferiore è caratterizzato in destra da una ampia pianura di bonifica con il sottobacino Valdinievole - Padule di Fucecchio e in sinistra da lunghe vallate in cui scorrono importanti affluenti quali il Pesa, l'Elsa e l'Era. L'Arno, a valle di Pontedera, fluisce verso la foce canalizzato, contenuto in arginature di difesa. Nel territorio cascianese, l'Arno scorre con un andamento spiccatamente meandriforme in direzione est-ovest. Il suo tratto terminale è stato in gran parte rettificato con interventi compiuti tra il 1300 ed il 1700 e caratterizzato da numerosi meandri abbandonati, frutto della divagazione del corso fluviale.

Lo Scolmatore dell'Arno è un canale artificiale scolmatore del fiume Arno che parte a valle di Pontedera e termina nei pressi del Calambrone, al confine tra i comuni di Livorno e di Pisa e defluisce in mare in Località Calambrone. La costruzione fu decisa nel 1954 in seguito all'inondazione del 1949. L'opera non era ancora completa per l'alluvione del 1966. Il suo corso attraversa la parte meridionale del territorio comunale; a SW del confine comunale di Cascina, nello Scolmatore, confluisce il Canale emissario di Bientina che solca la parte centro-meridionale del territorio cascianese. All'interno della porzione di territorio delineata da queste due importanti direttrici fluviali (Arno e Scolmatore) si sviluppa una fitta rete di canali artificiali responsabile delle maggiori criticità idrauliche del territorio cascianese.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 16 di 48

#### 4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Da un punto di vista litologico è importante distinguere tutti i litotipi presenti nell'area sia in affioramento che in sottosuolo, poiché le differenze litologiche e tessiturali determinano sostanziali differenze nel comportamento idrogeologico, influenzando in particolare la permeabilità. Le formazioni geologiche presenti nel territorio comunale cascianese possono essere qualitativamente classificate come permeabili per porosità (permeabilità primaria), in relazione alle loro caratteristiche litologiche e tessiturali e tenendo conto della loro capacità di contenere acqua e di farla defluire. Le formazioni idrogeologiche presenti sono state distinte in classi, in funzione del grado di permeabilità più o meno elevato.

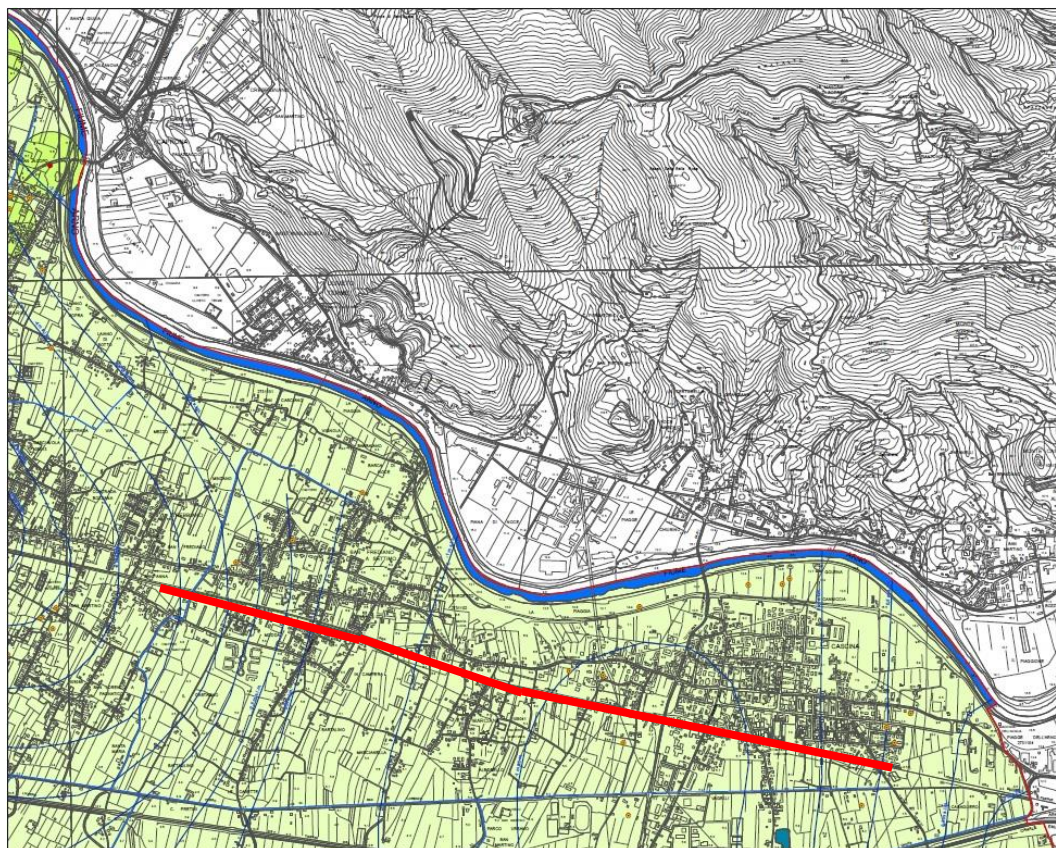
Nel territorio comunale di Cascina sono state distinte tre classi di permeabilità primaria per porosità (permeabilità da bassa a molto bassa, permeabilità medio-bassa e permeabilità medio-alta). Gran parte del territorio comunale è caratterizzato da una permeabilità medio-bassa ( $k=10^{-6} \div 10^{-4}$  m/s), si individuano poi due aree nei quadranti meridionali in cui la permeabilità risulta bassa o molto bassa ( $k=10^{-9} \div 10^{-6}$  m/s) ed infine sono presenti piccole zone a permeabilità medio-alta nel quadrante sud-orientale ( $k=10^{-4} \div 10^{-3}$  m/s). La porzione di tracciato oggetto del presente studio ricade interamente su depositi a permeabilità medio-bassa.

Riguardo all'andamento della superficie piezometrica, si evidenzia che il sistema acquifero della pianura può essere suddiviso in due sottoinsiemi: quello superficiale, di tipo freatico, localizzato entro i primi metri di profondità dal piano campagna, alimentato dalle precipitazioni e dagli scambi idrici con la rete idraulica minore generalmente povero, specialmente in presenza dei terreni limo-argillosi, e quello profondo, formato da più livelli acquiferi contenuti in terreni ghiaiosi e sabbiosi. Quest'ultimo è noto come "acquifero multistrato confinato", ed è composto da due principali orizzonti acquiferi in ordine di sovrapposizione dall'alto verso il basso: 1° Acquifero artesiano in Sabbie e 1° Acquifero artesiano in Ghiaie; quest'ultimo orizzonte debolmente artesiano è quello principalmente sfruttato nella pianura di Cascina. Nella carta idrogeologica e delle permeabilità superficiali (Fig. 4-1) è stata riportata la superficie piezometrica del 1° Acquifero Artesiano in Ghiaie nel mese di agosto 1994 e quindi rappresentativa di una situazione di magra della falda che si raggiunge abitualmente verso la fine della stagione estiva, prima che abbia inizio la ricarica autunnale. La superficie piezometrica si protrae nel successivo periodo invernale-primaverile fino al raggiungimento dei massimi livelli piezometrici. In particolare, la carta idrogeologica redatta per il Piano Strutturale, nell'area di studio, individua un valore minimo della superficie piezometrica di -4.00 m s.l.m. ed un valore massimo di 0.5 m s.l.m..

Di seguito verrà riportata una sintetica descrizione dei litotipi e del loro tipo e grado di permeabilità relativa (Baldacci, Bellini, & Raggi, 1994)

- sabbie delle spiagge attuali; permeabilità primaria medio elevata;
- depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata; permeabilità primaria molto bassa, livelli praticamente impermeabili in corrispondenza delle intercalazioni torbose;
- depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi-limosi; permeabilità primaria medio-bassa, che aumenta leggermente in corrispondenza dei livelli più sabbiosi;
- depositi di origine eolica, sabbiosi; permeabilità primaria media;
- depositi delle aree golenali e terreni di riporto; permeabilità media.






**CLASSI DI PERMEABILITA'**

	Permeabilità da bassa a molto bassa
	Permeabilità medio - bassa
	Permeabilità media
	Permeabilità medio - alta
	Permeabilità alta

	Linee isopiezometriche (m s.l.m.) - 1° Falda significativa (Agosto 1994)
	Idrografia principale
	Idrografia secondaria
	Zona di rispetto di 200 m (art.94, c.6 - D.Lgs 152/2006 e s.m.i.)
	Lago antropico
	Lago antropico di cava
	Deposito palustre
	Pozzo potabile ad uso acquedottistico (art.94, c.1 - D.Lgs 152/2006 e s.m.i.)
	Pozzo (altri usi)
	Idrovora

**Figura 4-1 – Carta idrogeologica allegata al Piano Strutturale del comune di Cascina (scala 1:10000). In rosso il tracciato della linea oggetto di studio.**

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 18 di 48

## 5 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI

### 5.1 RISCHIO GEOMORFOLOGICO, IDRAULICO E SISMICO

Nell'ambito delle valutazioni circa le caratteristiche geomorfologiche ed idrauliche dell'area in studio è stata analizzata la cartografia tematica del Piano Strutturale e quella redatta dall'autorità di bacino del fiume Arno ed in particolare:

- La “Carta della Pericolosità geologica” redatta nell'ambito del Piano Strutturale del comune di Cascina;
- La “Carta della Pericolosità Idraulica” redatta nell'ambito del Piano Strutturale del comune di Cascina a seguito delle integrazioni richieste dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Livorno-Lucca-Pisa.
- La “Carta di Pericolosità Idraulica” presente nel PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- La “Carta del rischio da alluvione” presente nel PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- La “Carta della pericolosità sismica locale” redatta nell'ambito del Piano Strutturale del comune di Cascina.

#### 5.1.1 Aree a pericolosità geologica

Attraverso la sintesi degli elaborati di base descritti precedentemente, con particolare riferimento alla Carta Geomorfologica, alla Carta Geologica, ed alla Carta Litotecnica per l'intero territorio comunale, il PG.T. ha elaborato la Carta della Pericolosità Geologica, in scala adeguata (1:10.000).

Per la perimetrazione delle aree a pericolosità geologica si è fatto riferimento al Regolamento 53/R, secondo i relativi criteri rispetto alle varie classi di pericolosità, così come di seguito riportati. Si precisa che non sono state individuate aree ricadenti in pericolosità geologica molto elevata (G4) o media (G2) per l'assenza di fenomeni gravitativi attivi, inattivi o quiescenti o fenomeni di soliflusso.

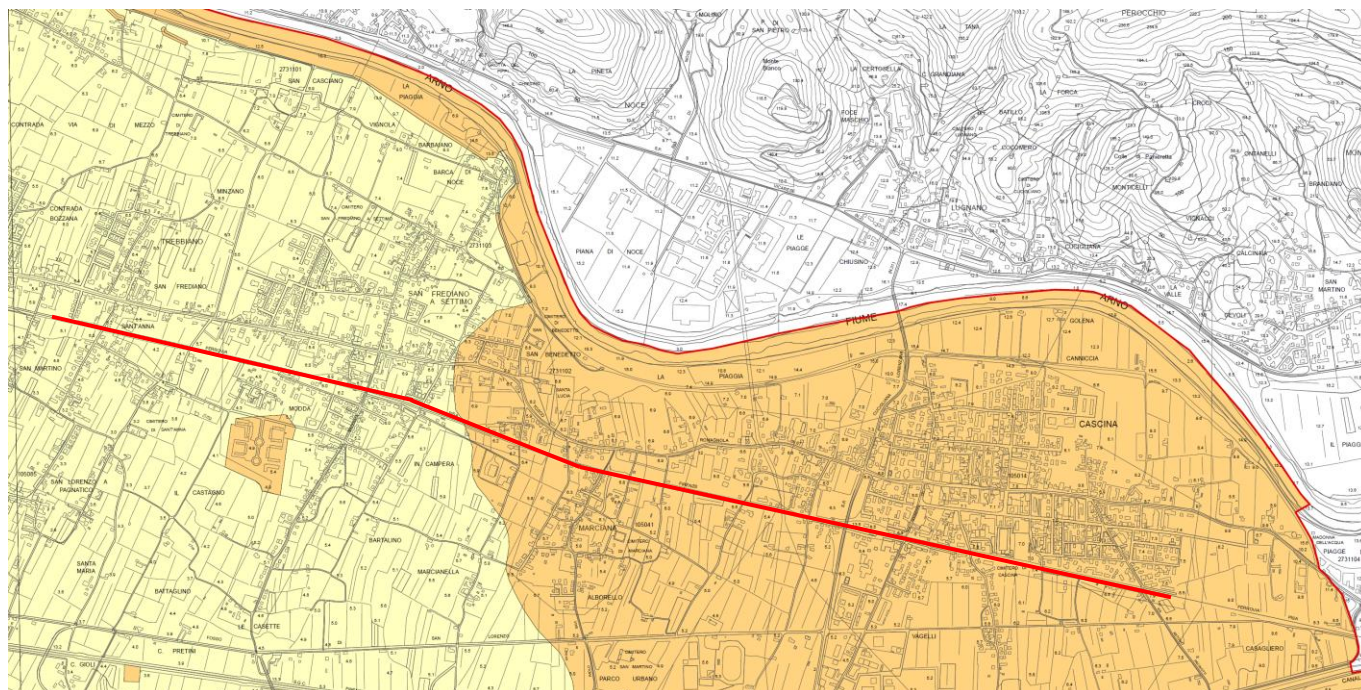
Il territorio comunale di Cascina ricade in classe G1 - pericolosità geologica bassa e G3 - pericolosità geologica elevata. Di seguito si riporta la descrizione delle classi di pericolosità geologica individuate:

- Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.
- Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti e relative aree di influenza; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

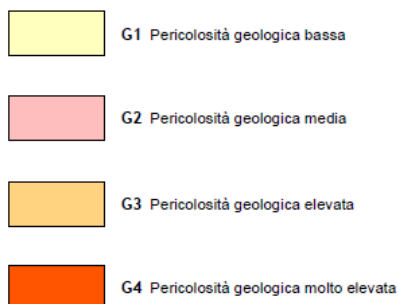
In particolare le aree classificate in pericolosità geologica elevata (G3) comprendono il reticolo fluviale, le zone di scarpata, nonché tutta l'area di golena in sinistra dell'Arno, le aree in subsidenza e le aree contraddistinte da terreni con caratteristiche litotecniche scadenti.

Sulla base di tale carta dunque la tratta ferroviaria oggetto di risanamento acustico ricade in area con classe di pericolosità geologica bassa (G1) nella porzione occidentale, mentre passa in classe di pericolosità geologica elevata (G3) nella porzione orientale. Si riporta lo stralcio della Carta della Pericolosità Geologica in Figura 5-1.





**Classi di pericolosità**




**Figura 5-1 – Carta della pericolosità geologica. In rosso il tracciato oggetto di studio.**

### 5.1.2 Aree a pericolosità idraulica

La “Carta della Pericolosità Idraulica” (Figura 5-2) suddivide il territorio comunale sulla base della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53R/2011; in particolare vengono individuate n. 4 classi di pericolosità idraulica (da 1.2 a 1.4),

- Pericolosità idraulica media (1.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < TR < 500$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 20 di 48

- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
- Pericolosità idraulica elevata (1.3): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < TR < 200$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:
  - a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
  - b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Nel caso specifico di studio, poiché alcune aree non presentano allagabilità per eventi con  $200 < Tr < 500$ , e non possono neppure essere definite come aree collinari o montane, si è provveduto a definire una ulteriore classe di pericolosità (1.2\*):

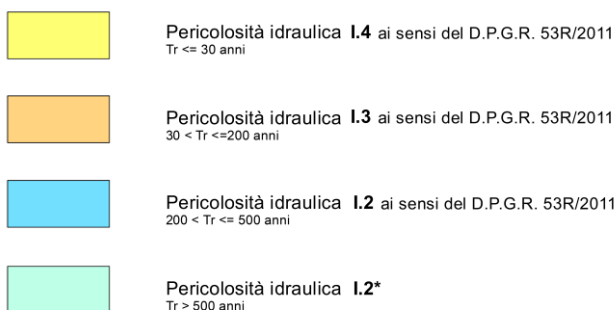
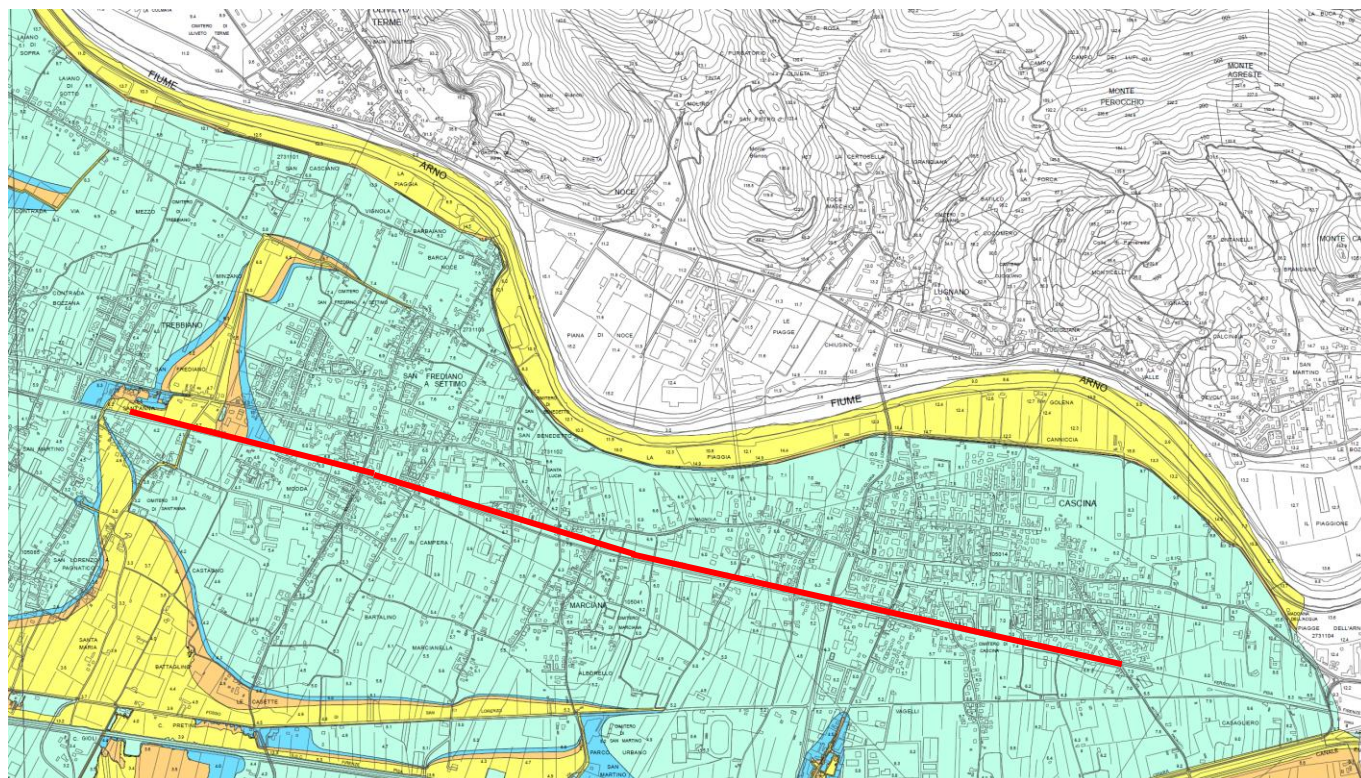
- Pericolosità idraulica media (1.2\*): Aree di fondovalle per le quali sono state verificate le condizioni di allagamento per eventi con  $Tr > 500$  anni mediante studi idrologici e idraulici analitici.

Ricadono in classe 1.2\* la zona del centro abitato di Cascina e gran parte della fascia territoriale settentrionale del territorio comunale.

Sulla base di tale carta si evidenzia come la porzione di tracciato ferroviario oggetto del presente studio ricada per la maggior parte in un'area classificata con pericolosità idraulica 1.2\* ( $> 500$  anni), mentre la porzione più occidentale, corrispondente all'abitato di Frediano, ricade in un'area caratterizzata da pericolosità idraulica fino a 1.4 ( $< 30$  anni). In quest'ultima area infatti è presente un canale (probabilmente ad uso irriguo), e che determina un innalzamento locale della pericolosità.

Si riporta lo stralcio della Carta della pericolosità Idraulica in Figura 5-2.





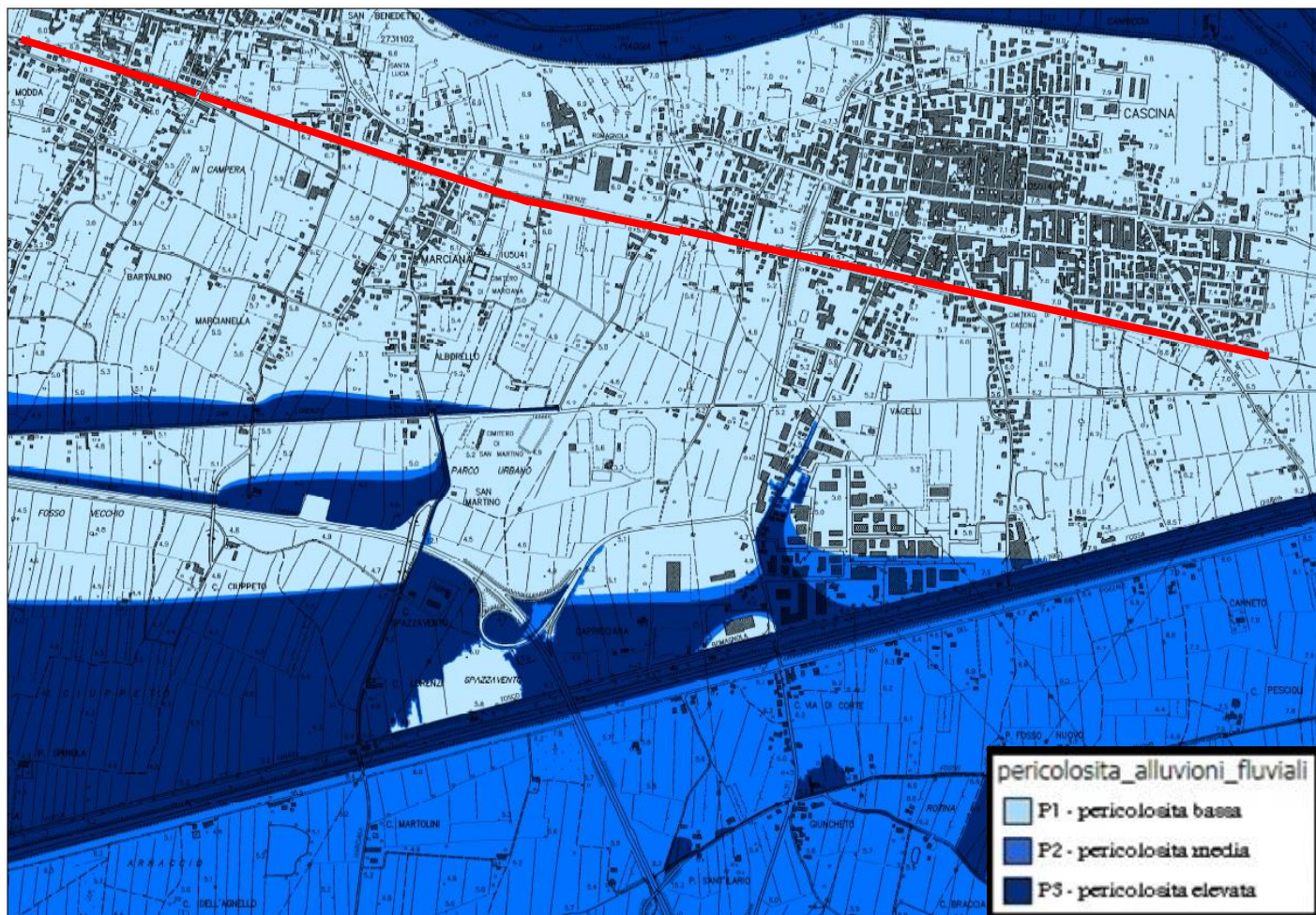
**Figura 5-2 – Stralcio della Carta della pericolosità idraulica proposta nel Piano Strutturale del Comune di Pisa (Scala 1:20000). In rosso la traccia dell'area di studio.**

Si riporta inoltre la carta della pericolosità idraulica redatta nel PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Figura 5-3). In questa carta vengono distinte tre classi di pericolosità in base ai tempi di ritorno delle piene, in particolare:

- Classe P1, Bassa; tempi di ritorno superiori a 200 anni;
- Classe P2, Media; tempi di ritorno compresi tra 30 e 200 anni;
- Classe P3, Elevata; tempi di ritorno fino a 30 anni;

L'area in esame risulta giacere interamente nella classe di pericolosità più bassa (P1).

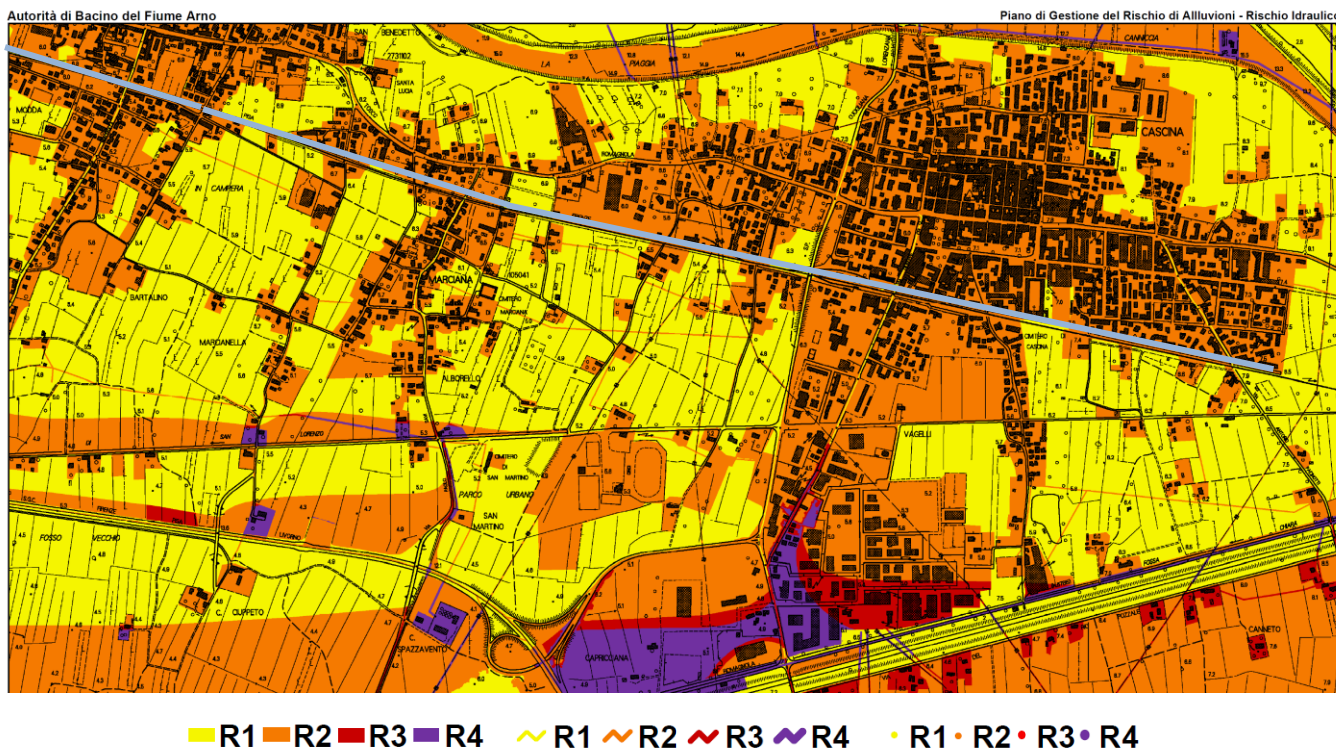




**Figura 5-3 Stralcio della carta di pericolosità da alluvioni fluviali del PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Scala 1:10000). In rosso il tracciato dell'area in esame.**

Sulla base di quest'ultima carta, nell'ambito del PRGA l'autorità di bacino del fiume Arno ha elaborato la Carta del Rischio da Alluvione; secondo la direttiva 2007/60/CE all'art. 6, comma 5 indica che "le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni nell'ambito degli scenari di cui al paragrafo 3 (classi di pericolosità – ndr) in termini di..." richiamando come elementi a rischio il numero di abitanti, il tipo di attività economiche, gli impianti IPPC ed aree protette, beni culturali, etc.. Tale carta identifica dunque n. 4 classi di Rischio (da R1, ovvero rischio basso, a R4, ovvero rischio molto elevato) sulla base di altrettante classi di Danno Potenziale (da D1, ovvero danno potenziale nullo, a D4, ovvero danno potenziale molto elevato).

Analizzando quindi tratta la ferroviaria presa in esame nel presente studio si può notare come esso costituisca spesso uno spartiacque tra aree ricadenti in classi di rischio R2 (principalmente a nord della linea ferroviaria), ovvero aree urbanizzate con maggior abbondanza di elementi esposti a danno potenziale, ed aree ricadenti in classe di rischio R1 (principalmente a sud della linea ferroviaria), ovvero aree agricole soggette ad un rischio inferiore.



**Figura 5-4 – Stralcio della carta del rischio da alluvioni del PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Scala 1:10000). In azzurro il tracciato dell'area in esame.**

### 5.1.3 Aree a pericolosità sismica locale


Nell'ambito delle analisi e dalla valutazione integrata effettuati dal PIANO STRUTTURALE di quanto emerge dall'acquisizione delle conoscenze relative agli elementi di tipo geologico, geomorfologico e dalle indagini geotecniche e geofisiche, sono evidenziati il modello geologico-tecnico dell'area e, conseguentemente, le aree ove possono verificarsi effetti locali o di sito (rappresentate nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica).

In particolare la valutazione degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico consente di rappresentare:

- litotipi che possono costituire il substrato rigido, con una stima approssimativa della profondità ed una stima del contrasto di impedenza sismica atteso;
- probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
- presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tale valutazione viene rappresentata attraverso la realizzazione di uno studio di microzonazione sismica di livello 1, secondo i criteri definiti nelle specifiche tecniche di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri



	<b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031</b>					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	<b>COMMESSA</b> D14Z	<b>LOTTO</b> 02	<b>CODIFICA</b> D69RG	<b>DOCUMENTO</b> GE0001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 24 di 48

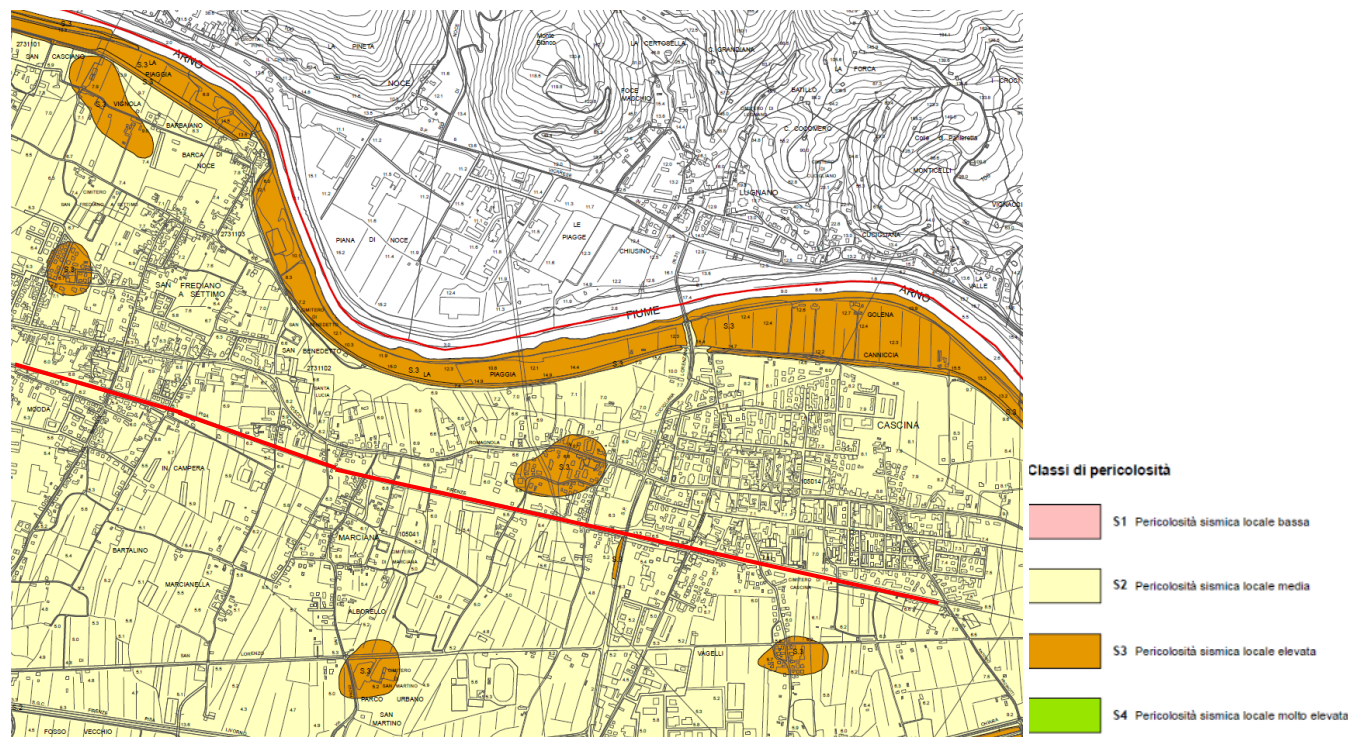
3907/2010, che scaturisce nella redazione di una serie di elaborati tecnici specifici (in particolare nella cartografia MOPS).

La sintesi delle informazioni derivanti dalle cartografie geologiche, geomorfologiche, delle indagini e dalla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica consente di valutare le condizioni di pericolosità sismica dei centri urbani studiati secondo le seguenti graduazioni di pericolosità.

Di seguito si riporta la descrizione delle classi di pericolosità sismica locale individuate nell'ambito del Comune di cascina:


**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):** zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

**Pericolosità sismica locale media (S.2):** zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3). Tale classificazione comprende la maggior parte del territorio comunale. In partiolcare la tratta oggetto di studio ricade interamente in area caratterizzata da tale classe.



**Figura 5-5 – Stralcio della carta della Pericolosità Sismica Locale. In rosso la tratta ferroviaria oggetto di studio.**



	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 25 di 48

## 6 VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

### 6.1 VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

In merito alla vulnerabilità degli acquiferi è possibile discriminare le aree ricadenti nel territorio comunale di Cascina in base al tipo di terreno e alla loro capacità di rallentare o meno il passaggio di agenti inquinanti. Per discriminare queste aree ci si basa principalmente sulla descrizione dei seguenti fattori:

- Soggiacenza della falda;
- Tipologia di terreno e relativi spessori;
- Permeabilità;
- Stratigrafia del sottosuolo.

La carta di vulnerabilità idrogeologica deriva dall'elaborazione della “Carta idrogeologica e delle permeabilità superficiali”. La carta della vulnerabilità idrogeologica (Figura 6-1) definisce dunque tre gradi di vulnerabilità: bassa, media ed elevata. Essa in particolare evidenzia come la maggior parte del comune di Cascina ricada nella classe di vulnerabilità media. Sono poi presenti due estese aree nei quadranti meridionali contraddistinte da vulnerabilità bassa ed alcune piccole aree contraddistinte da vulnerabilità elevata. La porzione di tracciato oggetto di studio ricade quindi interamente in un'area a classe di vulnerabilità media.

### 6.2 SUBSIDENZA

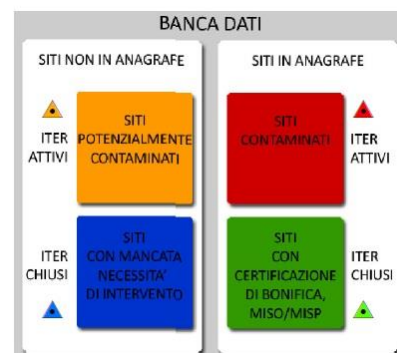
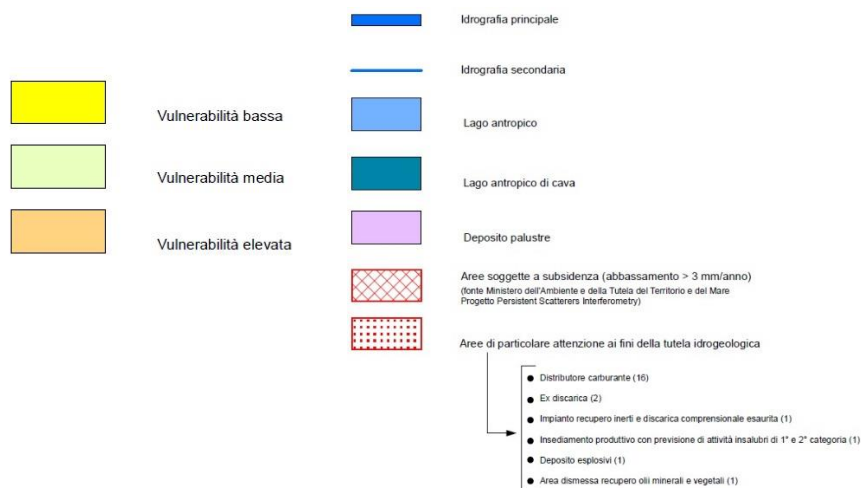
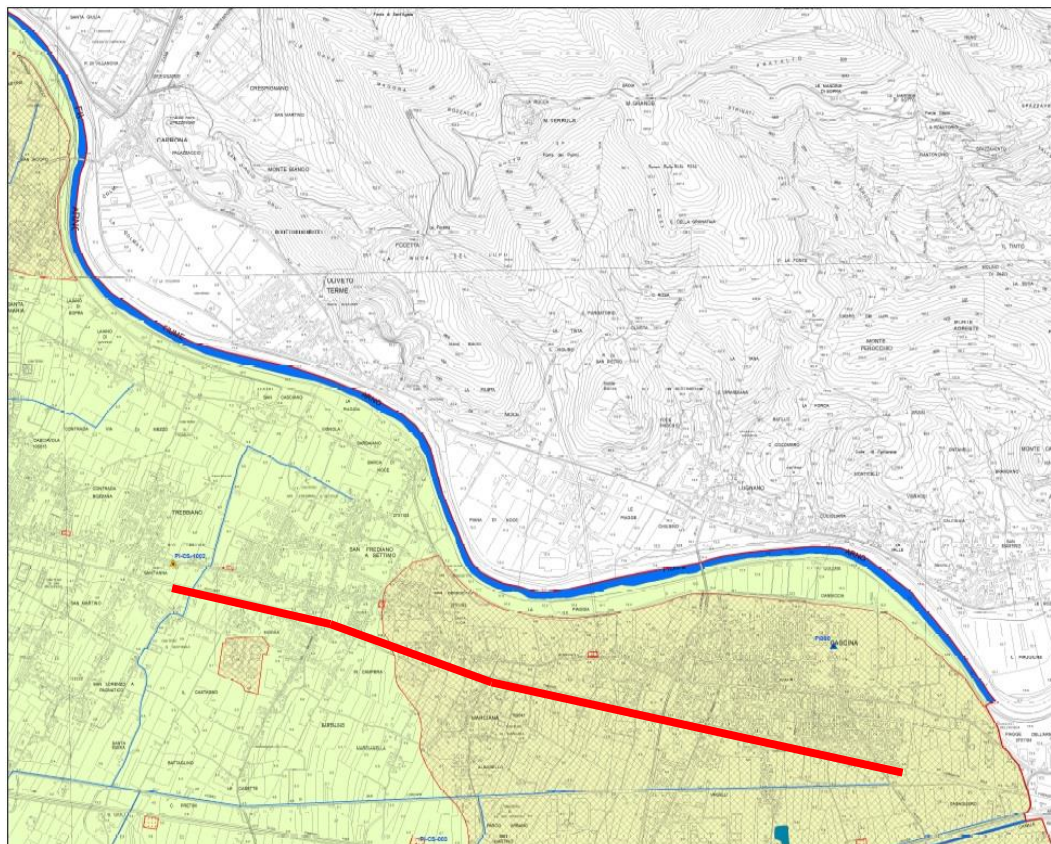
Nella stessa carta sono state aggiunte le informazioni provenienti dalla banca dati comunale per la localizzazione delle principali aree a rischio, le informazioni derivanti dalla banca dati del Ministero dell'Ambiente - geo-portale nazionale – Persistent Scatterers Interferometry (PSI), per l'individuazione delle aree in subsidenza. Sono state dunque individuate le aree soggette a subsidenza, ovvero con abbassamenti rilevati maggiori di 3 mm/anno. Si evidenzia come tale fenomeno riguardi generalmente zone intensamente urbanizzate.

Lo studio su tale fenomeno, eseguito da parte dei tecnici redattori del Piano Strutturale del comune di Cascina, in particolare deriva dalla richiesta di integrazioni dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Livorno-Lucca-Pisa (comunicazione al Comune di Cascina tramite PEC n.13073/2014 del 26/05/2014) per gli interventi ricadenti nelle aree soggette a subsidenza (abbassamento > 3 mm/anno - fonte Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Progetto Persistent Scatterers Interferometry)


È stata approntata infatti la seguente prescrizione di fattibilità al fine di mitigare il relativo rischio:

“In riferimento al rilevato fenomeno di subsidenza, in fase di indagine geologica e di valutazioni geologiche e geotecniche a supporto degli interventi ivi ricadenti oltre alle valutazioni sull'entità dei cedimenti edometrici assoluti si dovrà preventivamente valutare, attraverso la consultazione della Banca Dati Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente -prodotti interferometrici ENVISAT ed ERS descending (velocità media in mm/anno), lo stato di eventuale avanzamento della subsidenza rispetto al dato del presente studio e l'entità assoluta della subsidenza stessa con aggiornamento alla data di presentazione del titolo abilitativo all'intervento edilizio. Tale dato sito specifico dovrà essere preso in considerazione per la valutazione dello SLE e della tipologia di fondazione da eseguire da parte del geologo e del progettista strutturale.”

Dall'analisi della carta elaborata nell'ambito del Piano Strutturale dunque è possibile evidenziare come il tracciato oggetto di studio ricada per la maggior parte in area soggetta a subsidenza, ovvero caratterizzata da più di 3 mm annui di abbassamento, ad eccezione della porzione più occidentale dello stesso. Tale fenomeno andrà dunque considerato in relazione alla progettazione delle opere di risanamento acustico oggetto del presente studio.



**Figura 6-1 – Carta della Vulnerabilità Idrogeologica, delle permeabilità superficiali e delle aree soggette a subsidenza redatta nel Piano Strutturale del Comune di Cascina (Scala 1:10000). In rosso la traccia dell'area di studio.**

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	27 di 48

## 7 INDAGINI

### 7.1 PREMESSA

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze della campagna di indagini in sito costituite da prove penetrometriche e da stratigrafie relative a sondaggi reperiti tramite studi bibliografici messi a disposizione dall' Istituto Superiore per la Protezione (ISPRA) e Banca Dati Regione Toscana, integrate nel Maggio del 2018 da prospezioni geofisiche e penetrometriche con punta sismica nell'area di intervento. Le ubicazioni sono riportate nell'elaborato "Planimetria ubicazione indagini - D14Z02D69G5GE0001001A" e per i dettagli e stratigrafie si rimanda all'elaborato "Indagini Pregresse - D14Z02D69RHGE0005001A".


### 7.2 CAMPAGNA INDAGINI

#### 7.2.1 Indagini pregresse presenti in Sito (ISPRA e Banca Dati Regione Toscana)

A supporto della progettazione è stata condotta recuperando dati di indagini geognostiche nelle varie banche dati disponibili in rete, che comprende l'esecuzione di:


- n. 14 sondaggi a carotaggio continuo fino a una profondità massima di 63m;
- n. 13 prove penetrometriche.

Nella Tabella 7-1 e Tabella 7-2 è riportata la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota e le coordinate in Gauss-Boaga.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031</b>					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	28 di 48


**Tabella 7-1 Ubicazione dei sondaggi effettuati (fonti ISPRA e Banca dati Regione Toscana)**

SONDAGGI					
SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate Gauss-Boaga	
				E	N
SO6140	63	-	8	1623729.4535	4837194.2804
S19	63	1997	8	1623840.43	4837230.77
S20	60	1991	8	1624042.53	4837203.62
SA483	3.5	-	7	1624191.2683	4837215.8478
S21	52	2000	7	1624161.86	4836804.86
SA250	7	-	4	1621681.8312	4837983.6138
S17	56	2004	6	1621979.00	4837350.88
SO370	9	-	6	1622033.1	4837346.9804
S18	51	2004	6	1622191.01	4838002.81
SO6156	56	-	8	1625093.585	4836478.4582
S22	60	2003	7	1625580.23	4836430.03
SO6041	60	-	6	1625609.5305	4836440.5606
S23	46	2005	8	1625728.26	4836895.56
S24	45	2002	8	1625774.82	4836804.11

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	29 di 48

**Tabella 7-2 Ubicazione delle prove penetrometriche effettuate (fonti Banca dati Regione Toscana)**

PROVE PENETROMETRICHE					
PROVA	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate Gauss-Boaga	
				E	N
CPT6899	10	-	8	1623014.9237	4837276.6025
CPT9720	9	-	9	1623224.9013	4837252.4353
CPT5462	10	-	8	1623661.0086	4837311.1512
CPT5455	10	-	6	1621744.2902	4837868.1485
CPT8507	10	-	7	1622153.4772	4837494.4663
CPT9110	10	-	8	1624601.6232	4836984.9799
CPT5505	10	-	7	1624780.889	4836776.2054
CPT5506	10	-	7	1624816.1971	4836816.6316
CPT5504	10	-	7	1624848.1895	4836733.6756
CPT5512	10	-	8	1625219.6883	4836837.9659
CPT5508	10	-	7	1625841.1267	4836809.9552
CPT5507	12	-	7	1625852.1512	4836743.2768

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031</b>					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 30 di 48

### 7.2.2 Indagini ITALFERR 2018


Nella presente fase progettuale, visto le indagini presenti in sito e la tipologia di intervento da eseguire, sono state eseguite indagini sismiche a Maggio 2018 (D14Z02D69IGGE0001001A), di seguito vengono sintetizzate le prove:

- n. 1 tomografia sismica a rifrazione per onde P e SH;
- n. 1 tomografia elettrica 2D (ERT, Electrical Resistivity Tomography);
- n. 3 indagini M.A.S.W;
- n. 4 indagini HVSR;
- n. 2 prove S-CPTU.

Nella Tabella 7-3 sono riportate tutte le prospezioni sismiche e prove penetrometriche effettuate, la data di esecuzione, la quota e le coordinate in Gauss-Boaga

**Tabella 7-3 Ubicazione delle prove effettuate (fonti Italferr 2018)**

PROVE PENETROMETRICHE SISMICHE E PROSPEZIONI SISMICHE					
PROVA	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate Gauss-Boaga	
				E	N
SCPTu3	20	9/05/2018	7	1625816.55	4836626.46
SCPTu4	20	9/05/2018	6	1621588.39	4837684.52
MASW 4	30	2018	7	1625821.20	4836541.88
MASW 5	30	2018	6	1624046.36	4837009.82
MASW 6	30	2018	6	1621591.68	4837685.14
HVSR 4			7	1625805.36	4836595.03
HVSR 5			6	1624049.84	4837005.22
HVSR 6			4	1621581.28	4837653.95
HSVR7			6	1623138.70	4837223.70
ERT 2			6	1623070.70	4837255.45

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 31 di 48


## 8 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

### 8.1 UNITÀ STRATIGRAFICHE

Da quanto riportato dal Piano Strutturale del Comune di Cascina, è stata effettuata una ricostruzione della porzione di sottosuolo della pianura pisana interessante ai fini della progettazione edilizia, sia dal punto stratigrafico che geotecnico. In base ai criteri elencati nel documento sopracitato, dal punto di vista litotecnico, sono stati riconosciuti i seguenti terreni:

- **Unità Litologico-Tecnica C:** Rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio basso, che presentano caratteristiche intermedie fra quelle delle rocce e quelle dei terreni in senso stretto. Comprendono terreni con stato di addensamento medio costituiti da materiale prevalentemente granulare parzialmente cementato; sono prevalentemente costituiti da sabbie medio-fini, sabbie limose e limi sabbiosi.
  - **Unità C3.r7:** Sono inseriti in questa unità le Sabbie e limi di Vicarello. Sono presenti come affioramenti sparsi esclusivamente nella porzione meridionale del territorio.
- **Unità Litologico-Tecnica D:** Terreni coesivi con consistenza medio-elevata. Comprendono terreni prevalentemente coesivi mediamente consistenti, costituiti da limi e limi sabbiosi.
  - **Unità D1.s2** Sono inseriti in questa unità le Sabbie e limi di Vicarello, ove la frazione limosa è prevalente. Sono presenti come affioramenti sparsi esclusivamente nella porzione meridionale del territorio.
- **Unità Litologico-tecnica F:** Terreni coesivi a consistenza bassa, limitata o nulla. Raggruppano tutti i depositi alluvionali ed i depositi palustri.
  - **Unità F1.s3/s4.t2** Limi, limi sabbiosi prevalenti ed in subordine argille limose, moderatamente consistenti, la frazione sabbiosa è comunque presente. Sono presenti nella porzione centrale del territorio.
  - **Unità F2.s3/s4.t2** Limi argillosi e argille moderatamente consistenti con lenti ed intercalazioni sabbiose. Sono depositi alluvionali caratteristici delle zone limitrofe ai meandri dell'Arno.
  - **Unità F2.s3/s4** Limi argillosi e argille da moderatamente consistenti a poco consistenti. Sono presenti nelle porzioni sud occidentali e sud orientali del territorio.
  - **Unità F2.s5/s6.t4** Argille e limi argillosi con presenza di torba, da poco consistenti a privi di consistenza. Sono depositi palustri presenti nella parte SW del comune.
- **Terreni di riporto:** Comprende i depositi antropici suddivisi fra aree urbanizzate e terreni di riporto intesi come 'bonifica per colmata', sistemazioni idrauliche o strutture arginali.  
 Diversamente sono indicati i depositi di golena, per evidenziarli anche dal punto di vista delle caratteristiche geotecniche e della risposta sismica.  
 Sono riportati anche i terreni eterogenei al fondo di laghi artificiali e/o cave.  
 Infine sono differenziati i terreni eterogenei presenti in corrispondenza di siti interessati da procedimenti di bonifica, individuati sia dall'archivio comunale che dal sito SISBON, realizzato in attuazione delle "Linee guida e indirizzi operativi in materia di bonifica di siti inquinati" di cui alla DGRT 301/2010 e nell'ambito dell'incarico di svolgimento del "Progetto Anagrafe" affidato ad ARPAT dalla Regione Toscana.

La porzione di tracciato oggetto di studio ricade interamente in aree dominate da terreni di riporto sovrastanti terreni ascrivibili all'unità litologico tecnica F1.s3/s4.t2, ovvero depositi alluvionali con granulometria dominante limi, limi sabbiosi e argille limose, da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 32 di 48


## 8.2 LIVELLI PIEZOMETRICI

In Tabella 8-1 si riporta l'elenco dei valori della soggiacenza ricavati dall'andamento della superficie piezometrica rappresentata sulla carta idrogeologica allegata al Piano strutturale del comune di Cascina.

**Tabella 8-1 Riepilogo dei livelli di falda**

SONDAGGIO	DATA DI ESECUZIONE	SOGGIACENZA [m dal p.c.]
SO6140	-	9
S19	1997	9
S20	1991	9
SA483	-	8
S21	2000	8
SA250	-	11
S17	2004	8.75
SO370	-	9
S18	2004	8.25
SO6156	-	8
S22	2003	6.50
SO6041	-	5.5
S23	2005	7.50
S24	2002	7.50



	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 33 di 48

## 9 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO TECNICA DEI TERRENI

### 9.1 PREMESSA

A partire dall'interpretazione delle indagini in sito disponibili, è stato possibile realizzare il profilo stratigrafico della tratta in progetto, nel quale sono state differenziate le unità stratigrafiche di riferimento. Nel presente paragrafo, in seguito alla descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geologico-tecnica, saranno definiti i parametri di riferimento per ogni unità.

### 9.2 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

La caratterizzazione geologico-tecnica delle unità descritte al paragrafo precedente si basa sulle prove geotecniche in sito realizzate nella campagna di indagini di supporto alla presente fase progettuale, in sintesi:

- prove penetrometriche statiche (CPT);
- prove penetrometriche sismiche statiche (SCPTu);
- prospezioni sismiche di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves).

I criteri adottati per l'interpretazione dei dati a disposizione sono illustrati nei paragrafi seguenti secondo i metodi proposti da Robertson, (Robertson, 1990) e Lunne (Lunne, Robertson, & Powel, 1997).

### 9.3 MATERIALI A GRANA GROSSA (PREVALEMENTEMENTE SABBIE E GHIAIE)

L'interpretazione delle prove in sito sui materiali a grana grossa è basata sui lavori proposti da Garizio (Garizio, 1997) e Jamiolkowski (Jamiolkowsky et al., 1988, 2001). Nel caso in esame i risultati delle prove penetrometriche sono stati utilizzati, tenendo conto della maggiore o minore affidabilità delle correlazioni in funzione della natura del terreno, per indagare:

- Stato di addensamento ( $D_r$ );
- Resistenza in terreni incoerenti ( $\phi'$ );
- Modulo di Young ;

#### 9.3.1 Densità Relativa ( $D_r$ )


La correlazione empirica più usata è stata definita attraverso il lavoro presentato da Jamiolkowski e Baldi (Jamiolkowski, et al., 1985; Baldi, et al., 1986):

$$D_r = (1/C_2) \ln [q_c/C_0 (\sigma')^{C_1}]$$

Dove:

- $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$  sono delle costanti dei terreni;
- $\sigma'$  è lo stress verticale effettivo (kPa) o lo stress medio  $\sigma'_m$ ;
- $q_c$  è la resistenza alla punta;

Per la scelta dei valori dei coefficienti empirici ci si è basati su quanto proposto da Jamiolkowski e Baldi (Jamiolkowski et al., 1988; Baldi et al., 1986) e mostrati in tabella Tabella 9-1.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 34 di 48

**Tabella 9-1 Coefficienti empirici  $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$  (Baldi, et al., 1986) (Jamiolkowski & al., 1988)**

Sand type	$D_{50}$ (mm)	$C_0$ (-)	$C_1$ (-)	$C_2$ (-)
Fine	0.20÷0.25	110	0.59	2.95
Medium	0.40÷0.55	205	0.51	2.91
Coarse	1.00÷2.00	234	0.48	3.30

### 9.3.2 Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ )

L'angolo di resistenza al taglio è calcolato secondo le metodologie proposte da Bolton (Bolton, 1986):

$$\phi' = \phi_{cs}' + m \cdot DI$$

$$DI = Dr \cdot [Q \cdot \ln(pf'')] - 1$$

dove:

$$\phi_{cs}' = \text{Angolo di resistenza al taglio allo stato critico} \quad (^\circ)$$

$$Q = 10 \quad (-)$$

$$pf'' \approx 1.4 \cdot (\sigma_1' - \sigma_3') \quad (\text{kPa})$$

$$m = \text{coefficiente empirico dipendente dalla modalità di taglio} \quad (^\circ)$$

$$Dr = \text{densità relativa determinata mediante le procedure descritte al paragrafo precedente} \quad (-)$$

$$\sigma_1' = \text{Tensione principale massima} \quad (\text{kPa})$$


$$\sigma_3' = \text{Tensione principale minima} \quad (\text{kPa})$$

$$\sigma_2' = \text{Tensione principale intermedia} \quad (\text{kPa})$$

**Tabella 9-2 Valori del coefficiente empirico – m – secondo Bolton (Bolton, 1986)**

Metodologie di taglio	m (·)
Compressione Triassiale ( $\sigma_2' = \sigma_3'$ )	3
Trazione Triassiale ( $\sigma_2' \neq \sigma_3'$ )	5

Per questo lavoro, i parametri m e  $\phi_{cs}'$  sono uguali rispettivamente a 3 e  $31^\circ$ .

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 35 di 48

### 9.3.3 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei materiali a grana grossa sono state valutate in termini del valore del modulo elastico al 25% del carico di rottura  $E_{25}$  secondo (Jamiolkowski et al., 1988):

$$E'_{25} = (3 - D_r) \cdot q_t$$

dove:

$D_r$	Densità relativa
$q_t = q_c + u_2 \cdot (1 - \alpha)$	Resistenza totale alla punta
$q_c$	Resistenza alla punta
$\alpha = 0.75$ (presunto)	rapporto di area
$u_2$	pressione dei pori

## 9.4 MATERIALI A GRANA FINE (PREVALEMENTEMENTE LIMI E ARGILLE)

Nel caso in esame i risultati delle prove penetrometriche CPT 2÷8 e SCPTu 2 e 3 sono stati utilizzati, tenendo conto della maggiore o minore affidabilità delle correlazioni in funzione della natura del terreno, per indagare:

- Angolo di resistenza al taglio;
- Resistenza al taglio non drenata;
- Modulo di deformazione a piccole intensità;
- Caratteristiche di deformazione;

### 9.4.1 Peso di volume ( $\gamma$ )

Il valore del peso di volume  $\gamma$  è stato definito in riferimento ai dati disponibili in letteratura per le argille.

### 9.4.2 Resistenza al taglio non drenata ( $c_u$ )

La resistenza al taglio non drenata  $C_u$  dei terreni limoso-argillosi saturi è stata valutata facendo riferimento all'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT, ed è stata determinata a partire dalla formula proposta per le prove in assenza dei valori di  $U$  utilizzando dei fattori correttivi, secondo la seguente formula:


$$C_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N$$

Dove:

$q_c$  = resistenza misurata alla punta

$\sigma_{v0}$  = Stress verticale totale

$N = 15$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 36 di 48

#### 9.4.3 Modulo di deformazione a piccole intensità $G_0$

Nei materiali a grana fine, il modulo di deformazione iniziale (a piccola intensità) è stato valutato sulla base di quanto proposto da Baldi (Baldi et al., 1989):

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

$V_s$  rappresenta la velocità delle onde di taglio e sono state ottenute mediante la formula

$$V_s = C q_t^{0.13} \sigma_v'^{0.27}$$

Dove:

$C =$  costante empirica = 277;

$q_t = q_c + u_2 \cdot (1 - \alpha)$  resistenza totale della punta

$q_c$  resistenza alla punta

$\alpha = 0.75$  (presunto) area netta della punta

$u_2$  pressione dei pori

$\sigma_v'$  tensione totale verticale

Per quanto riguarda la trattazione teorica della determinazione dell'angolo di resistenza al taglio e delle caratteristiche di deformazione, queste non vengono mostrate in quanto il procedimento seguito è il medesimo di quello presentato nei paragrafi 9.3.2 e 9.3.3.

#### 9.5 PARAMETRI GEOLOGICO-TECNICI DI RIFERIMENTO

Nella Tabella Tabella 9-3 sono dunque riportati i parametri di riferimento ottenuti dalle interpretazioni dei risultati delle prove CPT. Dall'interpretazione dei dati si è deciso di dividere il terreno sottostante in tre unità (depositi argillosi) in base al valore della resistenza al taglio non drenata ( $C_u$ ):

- Dal piano campagna a 4.5 m di profondità;
- Da 4.5 m fino a 10 m;
- Da 10 m a 13 m.

**Tabella 9-3 - Parametri geotecnici di riferimento**

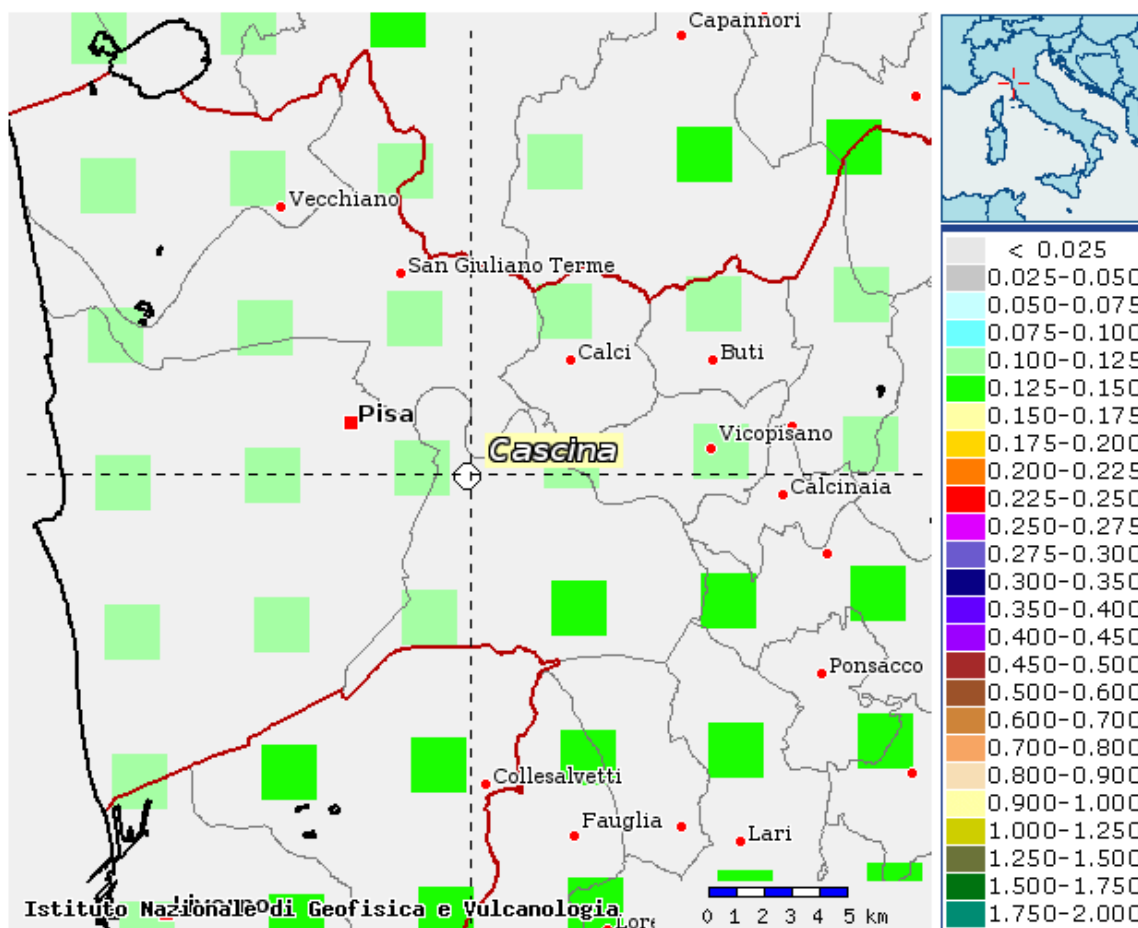
Prove CPT								
Unità geotecnica	Descrizione unità geotecnica	Profondità [m dal p.c.]	$Q_c$ [MPa]	$D_r$ [%]	$\phi'$ [°]	$C_u$ [Kpa]	$G_0$ [Mpa]	$E'_{25}$ [Mpa]
1	Deposito Argilloso	da 0 a 4.5	1÷2	-	-	70÷90	10÷35	-
2	Deposito Argilloso	da 4.5 a 10	0.5÷2	-	-	25÷50	35÷60	-
3	Deposito Argilloso	da 10 a 13	1÷2	-	-	50÷75	60÷70	-

## 10 SISMICITÀ DELL'AREA

Data la limitata estensione dell'area interessata dal tracciato sede delle opere in progetto, l'azione sismica risulta sostanzialmente di intensità costante. Ciò ha permesso di definire una azione sismica di progetto uniforme per tutte le opere.


Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, si fa qui riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni<sup>1</sup> (nel seguito NTC2008) in termini di definizione del periodo di ritorno del terremoto di progetto e relativi valori di pericolosità sismica, come descritto ai paragrafi successivi.

Ai sensi delle NTC2008, e come confermato anche dall'edizione 2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1), facendo riferimento alle tabelle in allegato al testo di Norma; tali tabelle elencano i valori di accelerazione massima al suolo e i parametri spettrali in corrispondenza dei punti di una griglia di apertura 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area del Comune di Cascina in Figura 10-1). Sulla base dei parametri indicati dalla Norma, si definiscono le opportune forme dello spettro di progetto per una definita probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento dell'azione sismica (come descritto nei paragrafi seguenti).



**Figura 10-1 Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area di progetto da elaborazioni DPC-INGV S1 per il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R = 475$  anni (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)**

<sup>1</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 38 di 48

## 10.1 STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE

La struttura dell'Appennino Settentrionale e Centrale è dominata dalla sovrapposizione di varie unità tettoniche, deformate e scollate, parzialmente o totalmente, dal proprio basamento. L'impilamento e la traslazione delle scaglie tettoniche, provenienti dalla deformazione di domini paleogeografici molto diversi, è avvenuto attraverso un lungo processo cominciato nell'Oligocene. La configurazione attuale dell'Appennino settentrionale è il risultato di una sequenza di intense fasi tettoniche, cominciata nel Miocene superiore in concomitanza con l'apertura del bacino tirrenico, e importanti deformazioni della porzione orientale delle Alpi meridionali. L'Appennino settentrionale comprende una fascia assiale della catena, centrata sullo spartiacque Adriatico-Tirreno, dove l'attività sismica principale è di tipo estensionale (asse di allungamento circa NE-SO). Netamente differente è la deformazione attiva della fascia appenninica esterna (zona padano-adriatica), dove prevale il raccorciamento con direzione variabile (NE-SO ma anche NNO-SSE). Nella fascia interna (tirrenica), comprendente una parte cospicua della Toscana, la sismicità è assai meno intensa rispetto alla parte assiale della catena ed il corrispondente regime di deformazione è quindi meno definibile (ISPRA, 2010).

Sulla base dell'inquadramento di cui sopra, in termini strettamente sismici, la Figura 10-2 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida, 2011) relativo al Centro-Nord Italia. Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 corrisponda sia alla distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, sia alla distribuzione degli epicentri dei terremoti e delle magnitudo. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica sia dettate dalla sismicità storica.

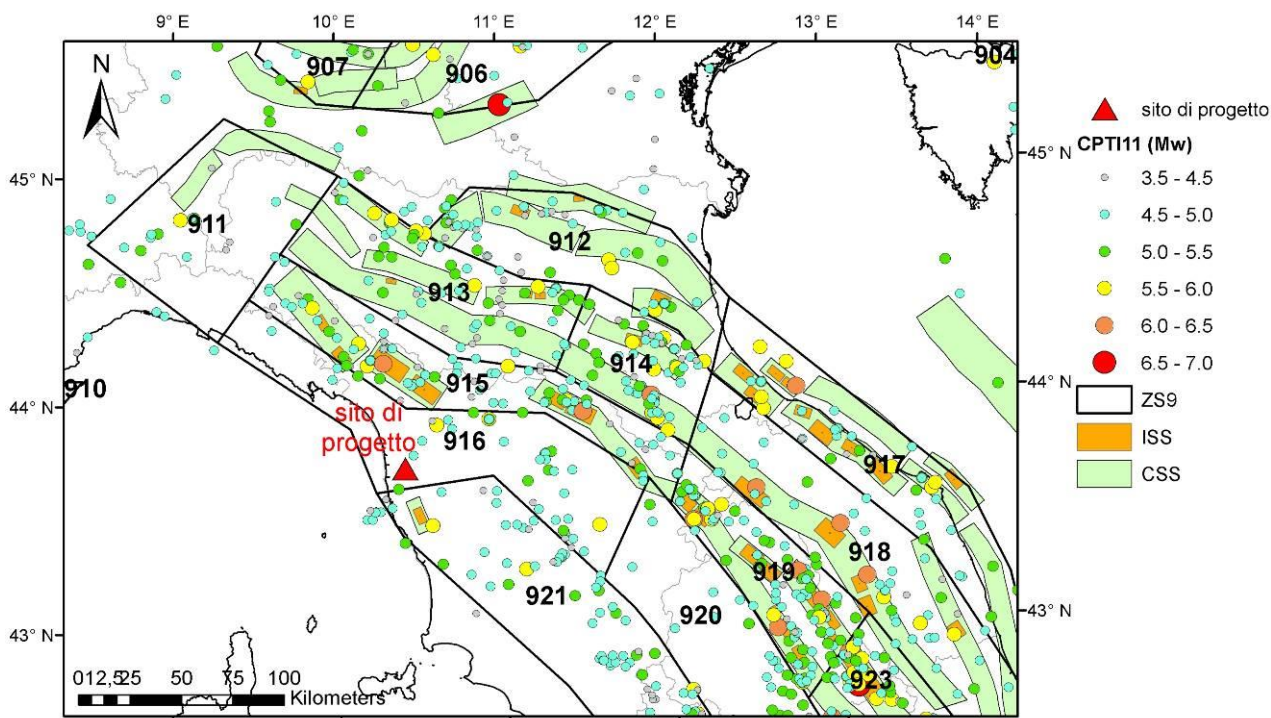
La fascia a maggior rilascio di energia dell'Appennino centrosettentrionale, corrisponde al settore più interno della catena appenninica generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche. Nel modello sismo-tettonico ZS9, questa lunga fascia è stata suddivisa in tre zone (ZS915, ZS919 e ZS923) ad includere le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale. Risulta importante, all'interno di questa fascia, la zona 915, più prossima al sito ( $d=15\text{km}$ ), contenente eventi di magnitudo superiori a 6, fra i quali il terremoto della Garfagnana del 1920 (Guidoboni et al., 2007).

La ZS916, dove è localizzata la tratta investigata, è caratterizzata da una sismicità di bassa energia, con solo tre eventi di  $M_w=5.6\sim5.8$  (cerchiate in giallo nella 916 in Figura 10-2). Questa zona rappresenta una transizione alla distensione peritirrenica.

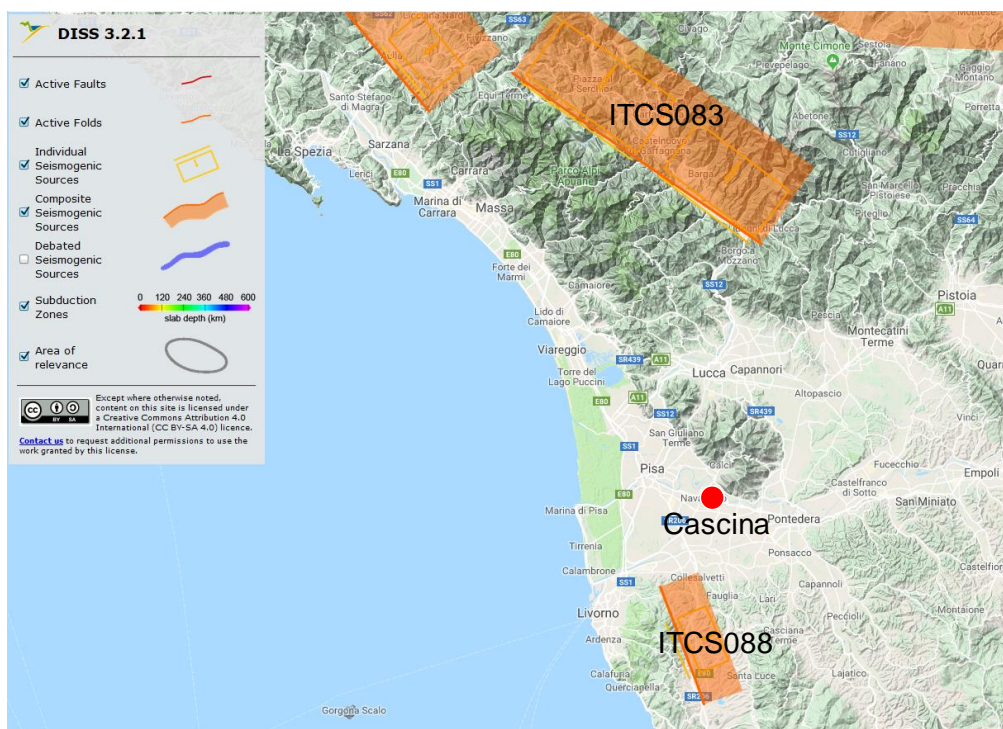
Procedendo verso S, la zona ZS921 è caratterizzabile da una sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata.

Più lontano dal sito di interesse, troviamo le zone 913, 914 e 918. Estese da Parma fino all'Abruzzo, esse ricadono in una fascia di transizione a carattere misto, ovvero in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE). In questa fascia se verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo, con profondità ipocentrali mediamente elevate.


I lineamenti di faglia più vicini al tracciato ferroviario oggetto dello studio (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 10-3) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno delle quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). La faglia più prossima è la ITC088 (Livorno Hills) dove è stato localizzato l'epicentro del terremoto della 1846 Toscana settentrionale ( $M_w$  5.9). Questa area è caratterizzata da eventi di modesta magnitudo e, al suo interno, è evidenziabile la sorgente individuale ITIS066 generatrice dell'evento del 1846. Altra faglia prossima è la ITCS083 (Garfagnana) per la quale il catalogo storico include diversi eventi tra i quali il terremoto del 1837 Alpi Apuane ( $M_w$  5.6) ed il distruttivo evento del 1920 in Garfagnana ( $M_w$  6.5).



**Figura 10-2 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell’intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchietti colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI11). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.**



**Figura 10-3. Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2) rilevanti per l’area in oggetto (triangolo nero).**

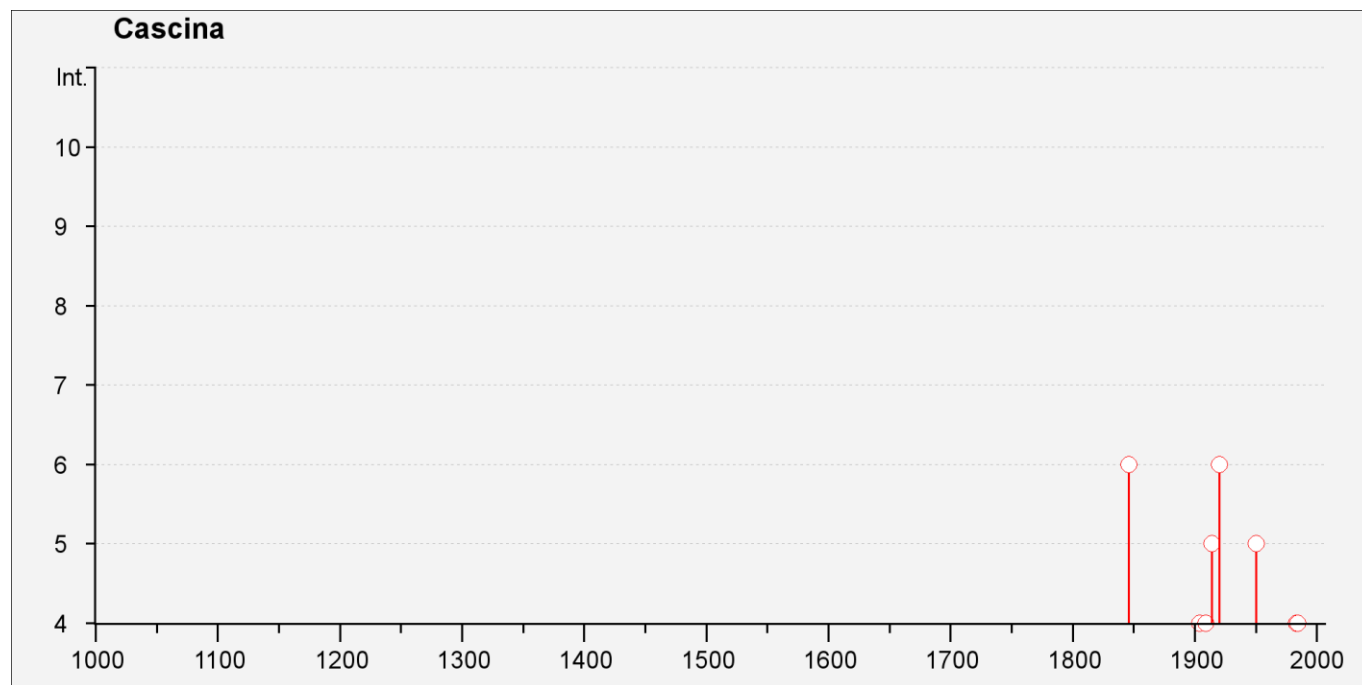
	<b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031</b>					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 40 di 48

Per avere un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI11 (Locati et al., 2011), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2004.

In particolare, la Figura 10-4 mostra la storia sismica associata al comune di Cascina, con osservazioni macrosismiche concentrate negli ultimi 200 anni, sostanzialmente per una limitazione legata alla documentazione disponibile relativa ai danni co-sismici. Per avere un quadro più completo, si farà riferimento alla Figura 10-5, la quale mostra la storia sismica associata al comune di Pisa, sempre in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia significativa, e che le intensità sismiche massime avvertite siano dell'ordine 7-8. L'evento più significativo in termini di intensità percepita nell'area del Comune di Pisa è costituito dal terremoto del 1117 della Toscana Settentrionale. Fra gli altri eventi storici più significativi ( $I \geq 6$ ) si ricordano:

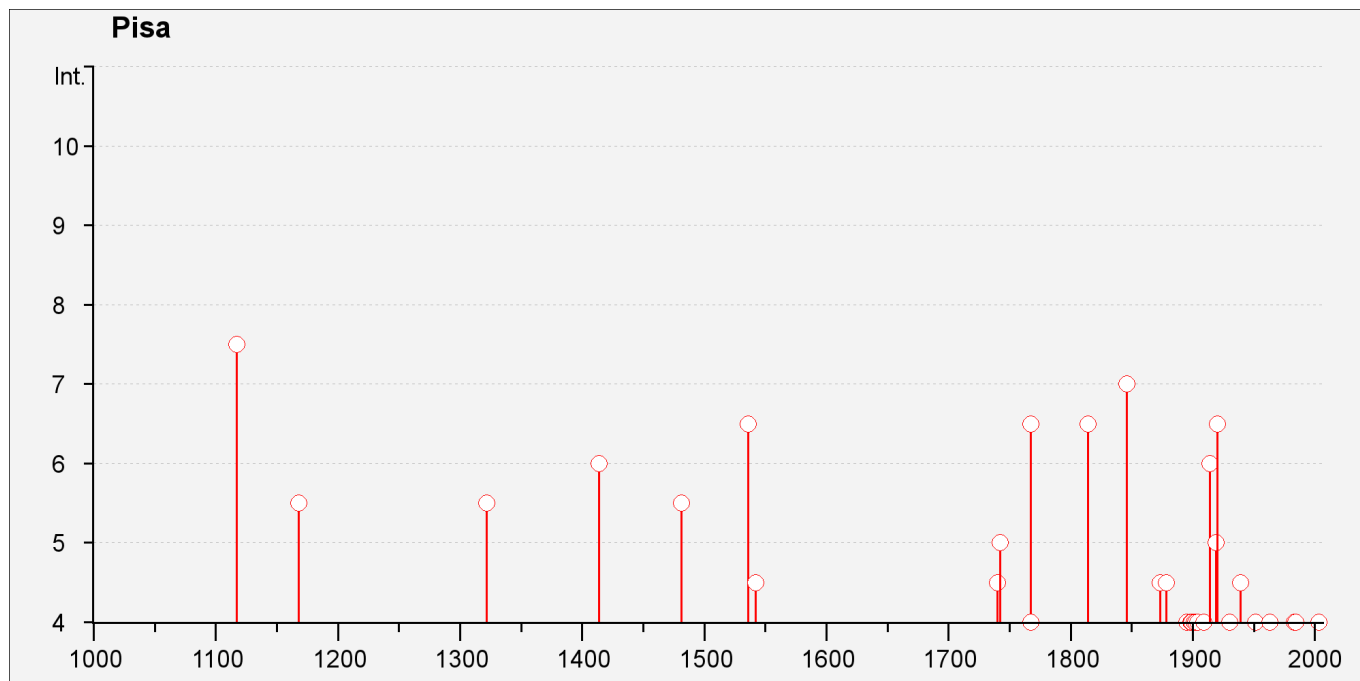
- 1536 Appennino tosco-emiliano,  $M_w = 5.29$
- 1767 Fivizzano,  $M_w = 5.35$
- 1814 Livorno,  $M_w = 5.15$
- 1846 Toscana settentrionale,  $M_w = 5.91$
- 1920 Garfagnana,  $M_w = 6.48$

Da quanto sopra si evince come sia associabile alla tratta di progetto, situata nel comune di Cascina, una sismicità media.



**Figura 10-4 – Storia sismica del comune di Cascina (dal catalogo DBMI 2011, Locati et al., 2011).**





**Figura 10-5 – Storia sismica del comune di Pisa, limitrofo a Cascina (dal catalogo DBMI 2011, Locati et al., 2011).**


## 10.2 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO DA NTC2008

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC 2008 (come detto in linea anche alla nuova edizione delle NTC). In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

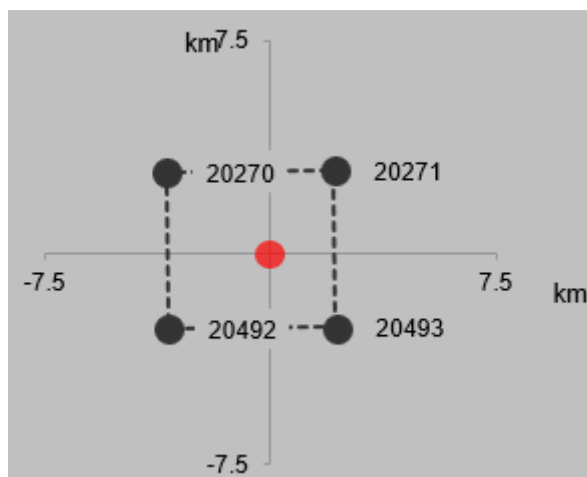
In allegato alle NTC 2008 i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori di punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire i valori della pericolosità sismica di base sono inizialmente scelti 3 punti di riferimento lungo il tracciato sede delle opere (iniziale, medio e finale). Il confronto fra i valori del parametro  $a_g$  per questi punti di riferimento per diversi stati limite (Tabella 10-1) mostra come la variabilità dell'input sismico lungo la tratta sede delle opere sia molto ridotta. Pertanto, si è assunto quale riferimento per la definizione della pericolosità sismica di progetto il punto di inizio tracciato.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 42 di 48

**Tabella 10-1. Valori del parametro  $a_g$  per gli stati limite di riferimento per punti diversi nel tracciato di interesse (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per  $V_R = 50$  anni.**

SL	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]		
		Inizio tracciato	Punto medio	Fine tracciato
SLO	30	0.041	0.040	0.040
SLD	50	0.052	0.051	0.050
SLV	475	0.123	0.121	0.120
SLC	975	0.158	0.156	0.155

In Figura 10-6 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica di riferimento, inizio tracciato (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).



**Figura 10-6 Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno del sito di progetto (inizio tracciato). Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009**


La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2008:

- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame (opera ordinaria), ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2008 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame l'opera (barriere anti-rumore), da ritenersi parte della linea ferroviaria, appartiene ragionevolmente alla Classe d'Uso II, ossia:

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 43 di 48

*“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti”.*

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2008, alla Classe d’Uso II corrisponde un coefficiente d’uso  $C_U$  pari a:

$$C_U = 1.$$

L’azione sismica di verifica delle opere viene quindi definita in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  ottenuto, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d’uso  $C_U$ . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$


L’azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ . Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2008 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
  - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
  - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
  - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell’evento sismico.
  - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell’opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno  $T_R$  dell’azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento  $V_R$  ed alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

I valori di periodo di ritorno dell’azione sismica, per i diversi Stati Limite, sono indicati in Tabella 10-2.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 44 di 48

**Tabella 10-2. Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ , coefficienti di sito  $S$  ( $S_T=1$ ) e accelerazione di progetto  $a_{max}$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per  $V_R = 50$  anni. I valori  $S$  e  $a_{max}$  sono determinati in accordo a quanto riportato ai paragrafi seguenti.**

SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)	$S$ (-)	$a_{max}$ (g)
SLO	30	0.041	2.565	0.232	1.8	0.074
SLD	50	0.052	2.536	0.249	1.8	0.094
SLV	475	0.123	2.502	0.279	1.8	0.221
SLC	975	0.158	2.473	0.284	1.8	0.284

### Accelerazione di riferimento su suolo rigido $a_g$

I valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per le coordinate del sito ed i periodi di riferimento di interesse sono riportati in Tabella 10-2 insieme all'accelerazione massima al sito  $a_{max}$ , che tiene conto della risposta sismica locale.

### Risposta sismica locale

Le NTC2008 definiscono il fattore di sito  $S$  come funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica ( $S_T$ ):

$$S = S_s \cdot S_T$$

Sulla base di quanto riportato nel documento D14Z02D69IGGE0005001A che illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche. Le indagini geofisiche hanno compreso tomografie sismiche a rifrazione per onde P e SH, tomografie elettriche 2D, MASW, HVSr e prove SCPTu. Rimandando alla relazione di indagine D14Z02D69IGGE0005001A per ogni dettagli, ci si limita qui a riferire che le indagini di tipo sismico eseguite (in particolare le MASW, in quanto le SCPTu non hanno raggiunto una profondità sufficiente) restituiscono un valore di  $V_{s,30}$  (media delle velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m) compreso nell'intervallo 157-211 m/s. In via cautelativa, si assume una categoria di suolo D per tutte le opere in progetto (Tabella 10-3).

Il coefficiente  $S_s$  per la categoria di sottosuolo D si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC2008):


$$S_s = 0.90 \leq 2.40 \cdot 1.5 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il sito di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , in accordo alla Tabella 3.2.IV al par.3.2.2. delle NTC2008). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito  $S$  e dell'azione sismica di progetto  $a_{max} = S \cdot a_g$  per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 10-2.

Si rimanda al testo delle NTC2008 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 45 di 48

**Tabella 10-3. Classificazione suolo secondo la vigente normativa sismica (Tabella 3.2.II-III delle NTC 2008)**

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
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 Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT <sub>30</sub> > 50 nei terreni a grana grossa e cu <sub>30</sub> > 250 kPa nei terreni a grana fina).	360÷800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT <sub>30</sub> < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu <sub>30</sub> < 250 kPa nei terreni a grana fina).	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT <sub>30</sub> < 15 nei terreni a grana grossa e cu <sub>30</sub> < 70 kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	-
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu <sub>30</sub> < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

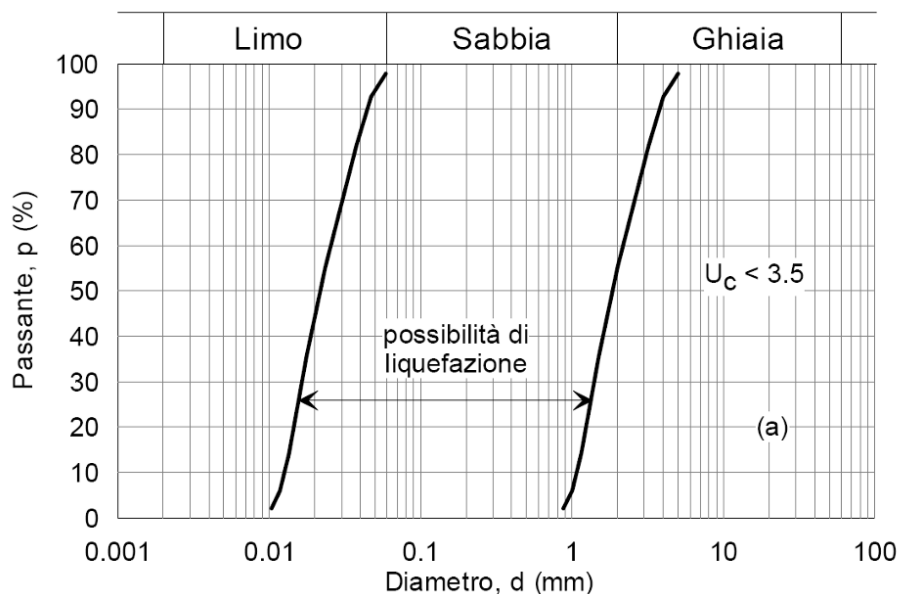
### 10.3 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC08 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

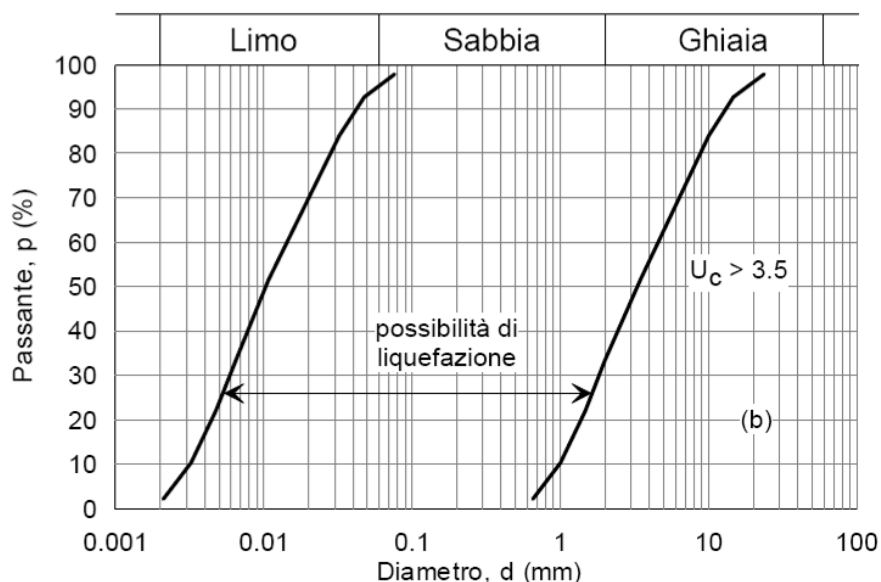
1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{IN} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{IN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 10-7 (coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$ ) e Figura 10-8 (coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ ).

Oltre al quadro sismo-tettonico esposto ai paragrafi precedenti, al fine di determinare il valore di magnitudo necessario per la valutazione della pericolosità a liquefazione, è stata considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2008, fornita quale

elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1 (vedi Figura 10-9). Il risultato dell'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica svolta per il punto di griglia più prossimo al tracciato, ossia N. 20493, mostra come siano dominanti terremoti con valori di magnitudo relativamente bassi (compresi tra 4.5 e 5.0) ed epicentro a distanza relativamente ridotta (0-20 km). Il valore medio di magnitudo da analisi di disaggregazione di Figura 10-9 sono magnitudo 4.77 e distanza 8.5 km. Tale magnitudo è inferiore a 5 e, pertanto, in accordo alle NTC2008 non è necessaria la verifica rispetto al fenomeno della liquefazione.



**Figura 10-7: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ( $U_c < 3.5$ ).**



**Figura 10-8: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ( $U_c > 3.5$ ).**



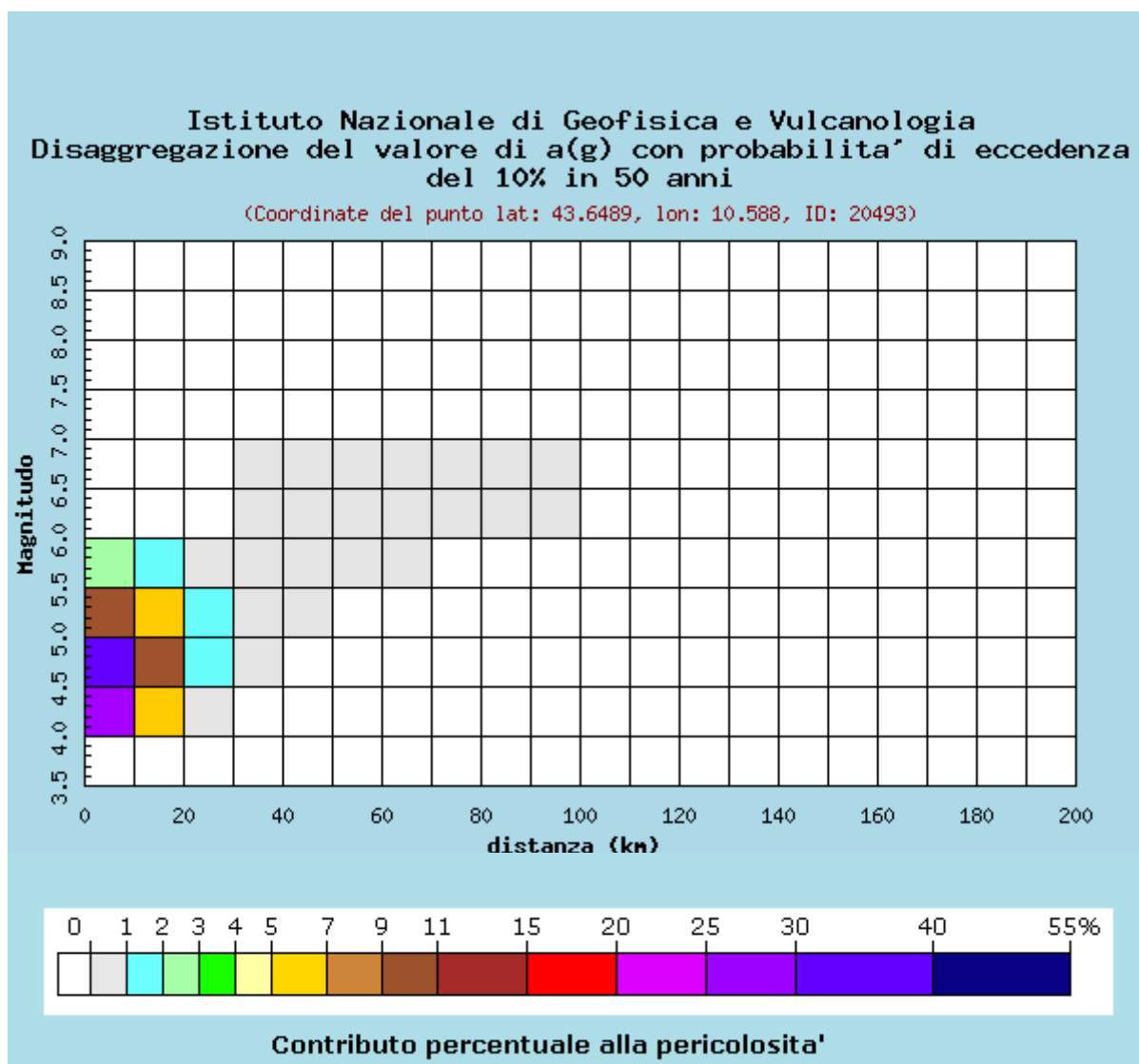



Figura 10-9: Analisi di disaggregazione del dato di pericolosit  al sito di progetto, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>). Punto di griglia N. 20493.


	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. A	FOGLIO 48 di 48

## 11 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:


- Dal punto di vista geologico, il territorio comunale di Cascina è posto nel Valdarno Inferiore all'interno della pianura pisana. Si tratta di una porzione del sistema di bacini distensivi Neogenici colmati con depositi pre-Quaternari e Quaternari. In particolare, ci troviamo all'interno del bacino sedimentario di Pisa-Viareggio originatosi dal riempimento del sistema di semi-graben. Questa depressione è limitata ad est dalla struttura positiva dei Monti Pisani ed a ovest dalla dorsale di Viareggio. La presenza di una faglia diretta sepolta, non attiva, è attribuibile al sistema di faglie distensive in direzione SE-NW chiamato Meloria-Bientina. Tale faglia fiancheggia il settore sud-orientale dei Monti Pisani causando la depressione tettonica compresa tra i monti stessi ed il rilievo delle Cerbaie.
- Dal punto di vista stratigrafico, nell'area d'intervento affiorano materiali ascrivibili a deposito alluvionale di età recente (pleistocene sup.-olocene) costituiti da limi e argille, con presenza di lenti di sabbia. Le unità litologiche presenti nell'area di studio sono: depositi alluvionali costituiti da sabbie e limi; depositi alluvionali caratterizzati da limi e argille prevalenti e depositi palustri (limi e argille laminate di ambiente lagunare) per quanto riguarda i depositi olocenici. I depositi pleistocenici sono rappresentati da sabbie e limi di Vicarello caratterizzati da sabbie medio-fini che localmente presentano ciottoli sparsi. L'ambiente deposizionale di questa formazione è essenzialmente eolico-palustre e di piana di esondazione e si rinviene in sporadici affioramenti nella parte SE del comune di Cascina.
- Dal punto di vista geomorfologico il territorio di Cascina si colloca in zona di fondovalle all'interno della pianura alluvionale del Fiume Arno ed è pressoché pianeggiante dominata da depositi quaternari. La piatta superficie raggiunge quote massime appena intorno ai 15 m s.l.m., le deboli pendenze favoriscono vasti ristagni d'acqua e la tendenza alla formazione di nuove aree paludose. In quest'area l'Arno assume un andamento a meandri, la cui evoluzione contempla un'azione concomitante di erosione sulla sponda esterna (riva concava) e deposizione su quella interna (convessa). All'assetto geomorfologico del territorio comunale un contributo fondamentale è fornito dai forti interventi antropici che hanno condotto allo sviluppo di una fitta rete di canali artificiali per favorire il difficile drenaggio superficiale dell'area. Sempre ad indicare la forte urbanizzazione dell'area sono state rilevate che si mostrano linearmente piuttosto estese. Anche l'attuale corso del fiume Arno è delimitato da scarpate antropiche fluviali, da estese aree golenali e da rilievi arginali.
- Dal punto di vista idrogeologico nel territorio comunale di Cascina sono state distinte tre classi di permeabilità primaria per porosità (permeabilità da bassa a molto bassa, permeabilità medio-bassa e permeabilità medio-alta). La porzione di tracciato oggetto del presente studio ricade interamente su depositi a permeabilità medio-bassa ( $k=10^{-6} \div 10^{-4}$  m/s). Il sistema acquifero della pianura può essere suddiviso in due sottoinsiemi: quello superficiale, di tipo freatico, localizzato entro i primi metri di profondità dal piano campagna, alimentato dalle precipitazioni e dagli scambi idrici con la rete idraulica minore generalmente povero, specialmente in presenza dei terreni limo-argillosi, e quello profondo, formato da più livelli acquiferi contenuti in terreni ghiaiosi e sabbiosi. la carta idrogeologica redatta per il Piano Strutturale, nell'area di studio, individua un valore minimo della superficie piezometrica di -4.00 m s.l.m. ed un valore massimo di 0.5 m s.l.m..
- Analizzando la cartografia del rischio redatta sia nell'ambito del Piano Strutturale, sia nell'ambito del PGRA dall'Autorità di bacino del Fiume Arno si evidenzia come:
  - o La tratta in esame ricade in parte (area occidentale) in classe di rischio geologico bassa ed in parte in classe di rischio elevata (area orientale);

- La tratta in esame ricada per la maggior parte in un'area classificata con pericolosità idraulica 1.2\* (>500 anni), mentre la porzione più occidentale, corrispondente all'abitato di Frediano, ricada in un'area caratterizzata da pericolosità idraulica fino a 1.4 (<30 anni)
- Secondo la carta della pericolosità redatta nell'ambito del PGRA dell'autorità di bacino del fiume Arno la tratta in esame ricada nella classe di pericolosità più bassa (P1), mentre secondo la carta del Rischio da alluvione essa risulti ricadere in classi di rischio R2 (aree con maggior abbondanza di elementi esposti al rischio alluvione) e R1 (aree soggette ad un rischio inferiore).
- Per quanto concerne la vulnerabilità idrogeologica, analizzando la carta redatta nell'ambito del Piano Strutturale di Cascina, essa risulta essere media. Nella stessa carta sono state individuate le aree soggette a subsidenza, ovvero con abbassamenti rilevati maggiori di 3 mm/anno. Si evidenzia come tale fenomeno riguardi generalmente zone intensamente urbanizzate lungo la tratta oggetto di studio; esso andrà quindi tenuto in conto in fase di progettazione degli interventi di risanamento acustico da realizzare lungo la tratta.
- Dal punto di vista geotecnico, dai risultati a nostra disposizione delle prove, elencate nel paragrafo 7.2.1, si distingue un unico tipo di terreno, argille, suddiviso in tre *layer* caratterizzati da differenti valori di resistenza al taglio non drenata. I risultati ottenuti dall'interpretazione delle indagini in sito vengono mostrate nella Tabella 9-3.
- Dal punto di vista sismico, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche condotte, il sito di progetto è classificato nella categoria di suolo D, e risulta stabile rispetto al fenomeno di liquefazione (verifica omessa in accordo alle indicazioni di NTC2008).

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	50 di 48


## 12 BIBLIOGRAFIA

- [1] Aguzzi M., Amorosi A. & Sarti G. (2005). Stratigraphic Architecture of late Quaternary Deposits in the Lower Arno Plain (Tuscany, Italy). *Geologica Romana* 38, 1-10.
- [2] Baldacci F., Bellini L. & Raggi G. (1994). Risorse idriche sotterranee della Pianura di Pisa. *Atti della società toscana di scienze naturali residenti in Pisa. Memorie. Serie A*, 242-322. Haller K.M. and Basili R.; 2011: Developing seismogenic source models based on geologic fault data. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- [3] Baldi G., Bellotti R., Ghionna V. M. J. & Pasqualini E. (1986). Drained Penetration of Sand;. *Proc. IV Int'l Geot. Seminar*; Singapore.
- [4] Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D., Manfredini G. & Rix G. (1989). Italian experience in assessing shear wave velocity from CPT and SPT. *XII ICSMFE* (p. 213-238). Rio De Janeiro: Taylor& Francis Group.
- [5] Bolton. (1986). The strenght and dilatancy of sands. *Geotechnique*, 36(1).
- [6] Ceccarelli Lemut M. L., Morelli P. & Mazzanti R. (1994). Il contributo delel fonti sotriche alla conoscenza della geomorfologia. In R. Mazzanti, *La pianura di Pisa ed i rilievi contermini*. Pisa.
- [7] Della Rocca B., Mazzanti R. & Pranzini E. (1987). Studio geomorfologico della Pianura di Pisa. *Geogr. Fis. Dinam.Quat.* 10 (1987), 56-84,10 ff., 1 tt.
- [8] Fancelli R., Grifoni R., Mazzanti R., Menchelli S., Nencini C., Pasquinucci M. & Tozzi C. (1986). Evoluzione della pinaura di Pisa. In *Terre e Paduli. Reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano* (p. 23-29). Pontedera (Pi): Bandecchi e Vivaldi.
- [9] Garizio G. (1997). Determinazione dei parametri geotecnici e in particolare di K0 da prove penetrometriche. *Politecnico di Torino: M.S.c. Department of Structural Engineering*.
- [10] Ghelardoni R., Giannini E. & Nardi R. (1968). Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari della bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e rilievi sismici. *Mem. Soc. Geol. It.*, 7, 91-106.
- [11] Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. & Valensise G. (2007). CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- [12] Haller K.M. & Basili R. (2011). Developing seismogenic source models based on geologic fault data. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- [13] ISPRA (2010). Carta Geologica d'Italia, Foglio 273 "Pisa", scala 1:50000 e relative note illustrative. Servizio Geologico d'Italia.
- [14] Jamiolkowski M. (1988). New correlations of penetration tests for design practice. *Proc., Penetration Testing* (p. 263-296). Orlando, Florida: De Ruiter ed.
- [15] Jamiolkowski M., Ladd C., Germaine J., & Lancellotta R. (1985). *New developments in Field and Laboratory Testing of Soils*. San Francisco, USA.
- [16] Jamiolkowski M., Lo Presti D. & Monassero M. (2001). Evaluation of Realtive Density and Shear Strenght of Sands from CPT and DMT. *Invited Lecture Ladd Symposium*, (p. 201-238).
- [17] Locati M., Camassi R. & Stucchi M. (2011). DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/ctfi4med>.

	<b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D69RG	GE0001	A	51 di 48

- [18] Lunne T., Robertson P. & Powel, J. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. New York: Blackie Academic/Routledge Publishing.
- [19] Mariani M. & Prato R. (1988). I bacini neogenici costieri del margine tirrenico. Memorie della Società Geologica Italiana, 41, 519-531.
- [20] Martini I. & Sagri M. (1993). Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. Elsevier B.V.
- [21] Mazzanti R. (2000). Geomorfologia del bacino Versiliese- Pisano con particolare riferimento alla “Gronda dei Lupi”, scarpata fossile che separa le Colline Livornesi, con i loro terrazzi eustatici, dalla pianura alluvionale pisana. Atti Soc.Tosc. Sci. Nat., Mem., A, 165-189.
- [22] Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G. & Boschi E (2008). A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. Tectonophysics, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- [23] Menchelli S. (1984). Contributo allo studio del territorio pisano: Coltano e l'ex Padule di Stagno. Studi classici orientali, 255-270.
- [24] Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.
- [25] Pascucci V., Fontanesi G., Merlini S. & Martini I.P. (2001). Neogene Tuscany shelf-western Tuscany extension of the early post-compressional deposits (Tyrrhenian Sea - Northern Appennines, Italy). Ofioliti, 26/2a, 187-196.
- [26] Piano Governo del Territorio (2015). Componenti geologica, idrogeologico e sismico, Relazione illustrativa e norme geologiche, approvato con Delibera n.10 del 15/03/2015, Comune di Cascina.
- [27] Robertson P. (1990). Soil Classification using the Cone Penetration Test. Canadian Geotechnical Journal(1).
- [28] Rovida A., Camassi R., Gasperini P. & Stucchi M. (2011). CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- [29] Thevanayagam S. (1998). Effects of fines and confining stress on steady state strenght of silty sands. J. Geotech. and Geoenv. Eng. Div., 124(6).



	<b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 – 050008016 – 050008024 - 050008031</b>					
Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	<b>COMMESSA</b> D14Z	<b>LOTTO</b> 02	<b>CODIFICA</b> D69RG	<b>DOCUMENTO</b> GE0001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 52 di 48

# APPENDICE 1 – Grafici relativi ai parametri geotecnici ricavati da prove CPT

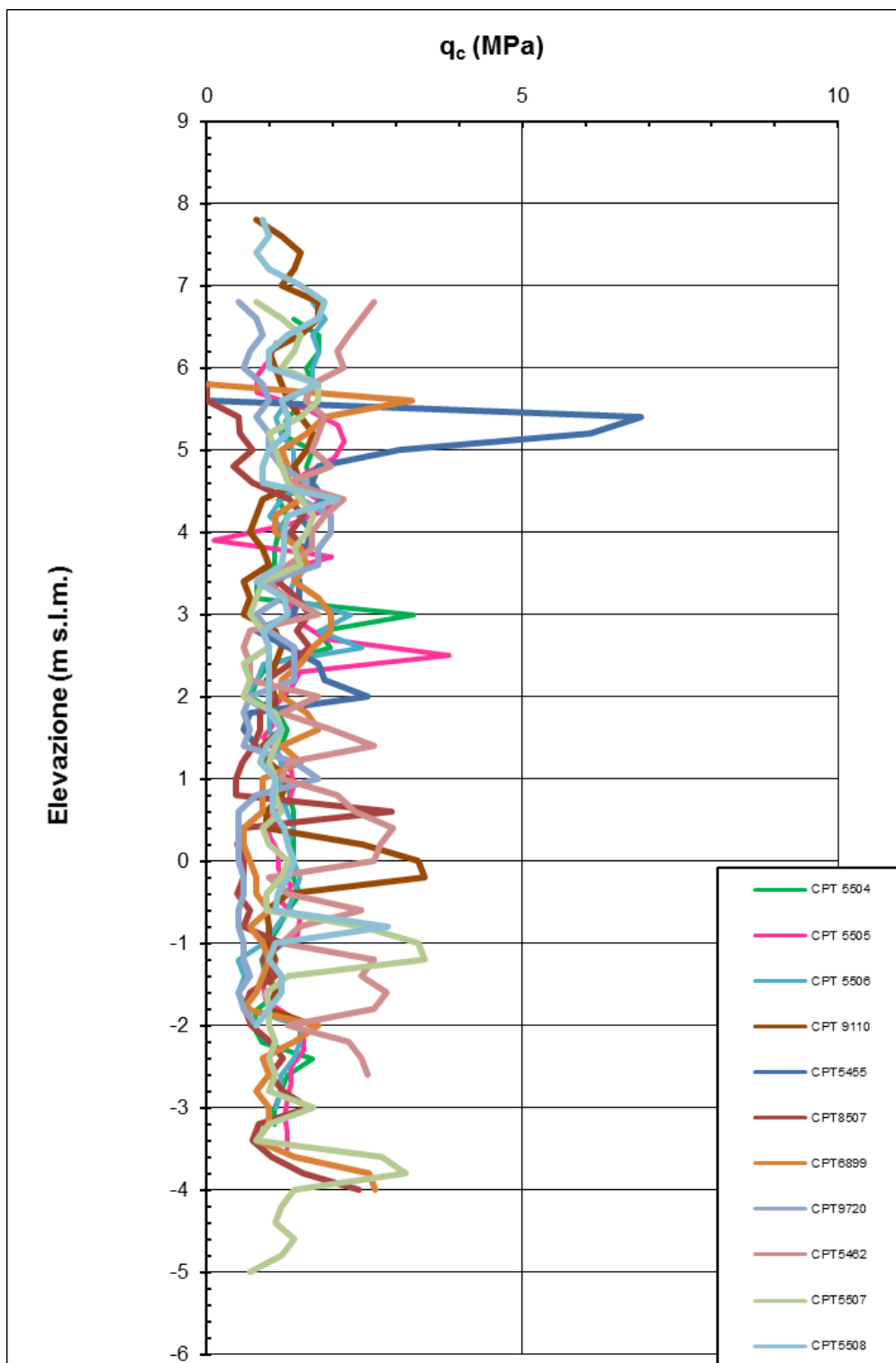
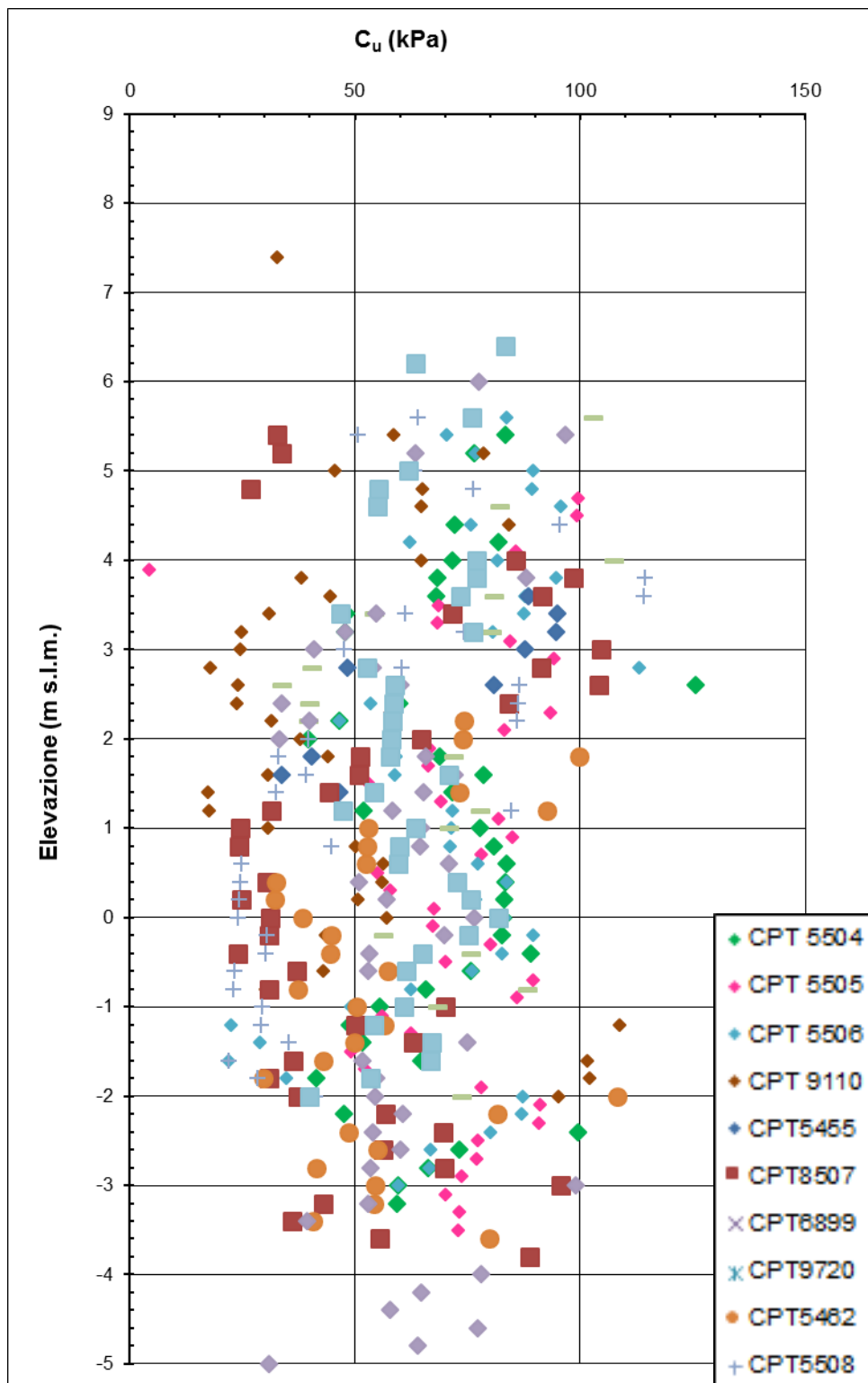
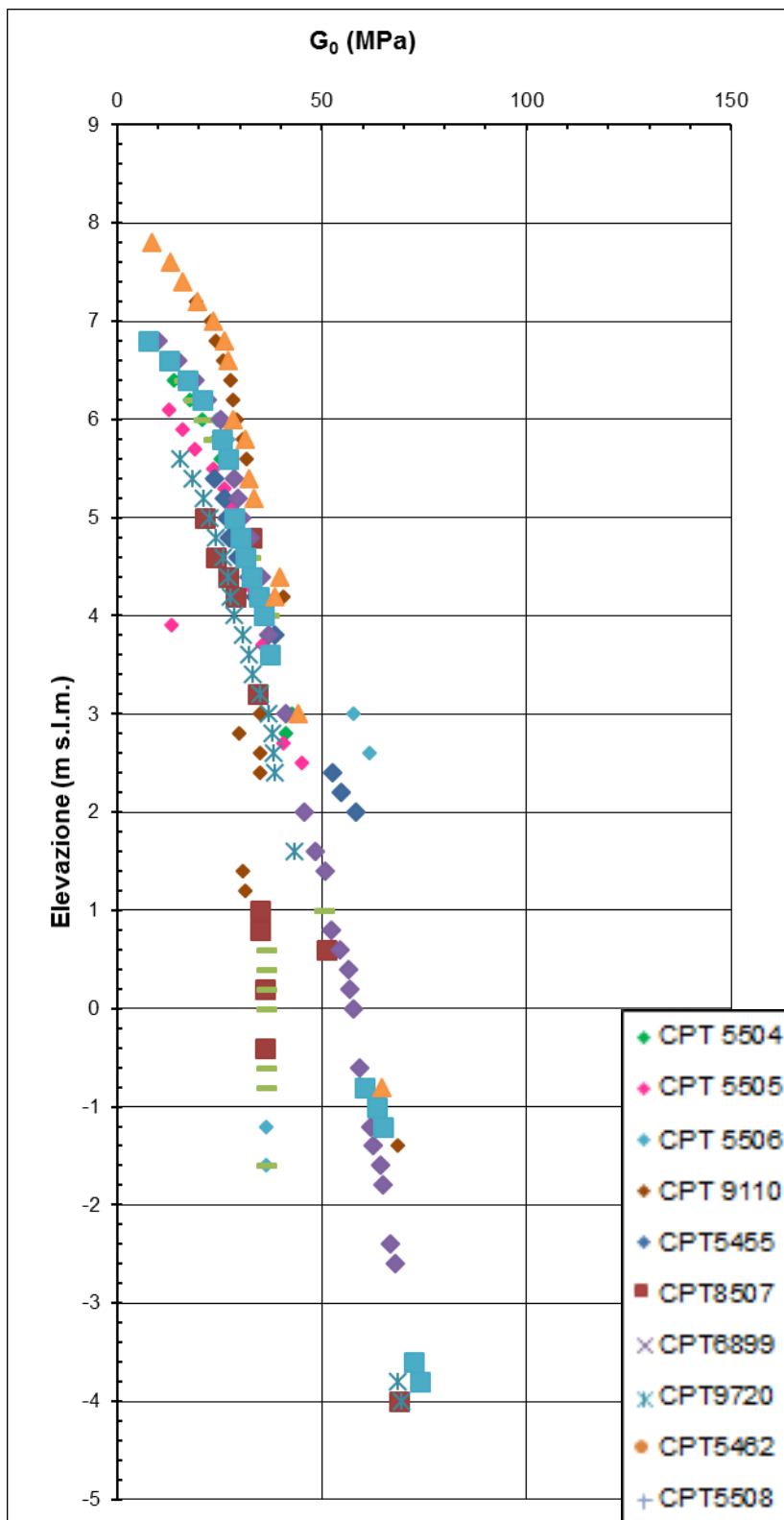


Figura 12-1 – Valori di resistenza alla punta  $Q_c$  (MPa) vs elevazione (m s.l.m.)



**Figura 12-2 – Valori di  $C_u$  (kPa) vs elevazione (m s.l.m.)**



**Figura 12-3 – Valori di G<sub>0</sub> (MPa) vs elevazione (m s.l.m.)**