

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. GEOLOGIA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

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

N F 0 Q 0 0 F 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Paolucci	sett. 2020	R. Briganti	sett. 2020	D. Gambino	sett. 2020	G. Benedetti Giugno 2023
B	Emissione esecutiva a seguito di campagna indagini Italferr (Sett.-Ott. 2020)	F. Paolucci	nov. 2020	R. Briganti	nov. 2020	D. Gambino	nov. 2020	
C	Emissione esecutiva a seguito di verifica tecnica	F. Paolucci	feb. 2021	S. Rodani	feb. 2021	D. Gambino	feb. 2021	
D	Emissione esecutiva per iter autorizzativo	F. Paolucci <i>Dott. Francesco Paolucci</i>	giu. 2023	M. Sciarra	giu. 2023	D. Gambino	giu. 2023	

File: NF0Q 00 F69 RG GE0001 001 D.docx

n. Elab.:

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	2 di 122

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	9
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	10
3.1.1	<i>Assetto strutturale</i>	13
3.1.2	<i>Assetto stratigrafico</i>	15
3.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	19
3.2.1	<i>Geomorfologia dell'area</i>	19
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	21
5	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI	23
5.1	VINCOLO IDROGEOLOGICO	23
5.2	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA	23
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	56
6.1	SONDAGGI GEOGNOSTICI	56
6.2	PROVE PENETROMETRICHE	59
6.3	INDAGINI GEOFISICHE	64
6.4	PIANIFICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA SUCCESSIVA FASE DI PROGETTAZIONE	65
7	MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO	67
7.1	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE.....	67
7.1.1	<i>Formazione delle Argille Azzurre</i>	67
7.1.2	<i>Formazione di Casa Poggio ai Lecci</i>	68
7.1.3	<i>Formazione di Vicarello</i>	68
7.1.4	<i>Depositi alluvionali</i>	68

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	3 di 122

7.1.5	<i>Depositi palustri</i>	69
7.1.6	<i>Ripporti antropici</i>	69
7.2	LIVELLI PIEZOMETRICI.....	69
7.3	OPERE DI CAPTAZIONE.....	79
7.4	CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ	80
8	SIMICITÀ DELL'AREA	85
8.1	SISMICITÀ STORICA	87
8.2	SISMICITÀ ATTUALE	91
8.3	PERICOLOSITÀ SISMICA	96
8.4	PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	98
8.4.1	<i>Categoria di sottosuolo e categoria topografica</i>	98
8.5	ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	100
8.5.1	<i>Analisi qualitative</i>	100
8.5.2	<i>Analisi semi-quantitative</i>	102
9	DESCRIZIONE DEI SETTORI DI INTERVENTO.....	107
9.1	COLLEGAMENTO GUASTICCE – LINEA PISA – VADA.....	107
9.1.1	<i>Opere km 0+000 – km 1+500</i>	108
9.1.2	<i>Opere km 1+500 – km 4+800</i>	109
9.1.3	<i>Opere km 4+800 – km 7+300</i>	109
9.1.4	<i>Opere km 7+300 – km 8+403</i>	109
9.2	COLLEGAMENTO GUASTICCE – LINEA PISA – VADA-RAMO SUD.....	110
9.2.1	<i>Opere km 0+000 – km 0+910</i>	110
9.3	AUTOPARCO IL FALDO	111
9.3.1	<i>Opere km 0+000 – km 1+254</i>	111
9.4	BYPASS DI PISA	112



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	4 di 122

9.4.1	Opere km 0+000 – km 1+050	112
9.4.2	Opere km 1+050 – km 3+800	113
9.4.3	Opere km 3+800 – km 6+555	113
10	CONCLUSIONI	114
11	BIBLIOGRAFIA	116

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	5 di 122

1 PREMESSA

La presente relazione geologica, insieme ai report descrittivi delle indagini geognostiche e alle carte e profili geologici, geomorfologici e idrogeologici, è stata redatta nell'ambito dell'esecuzione dello studio per il "Collegamento dell'interporto di Guasticce (LI) con la linea Pisa – Vada (LI) ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa " e riguarda le aree evidenziate nella Figura 1.

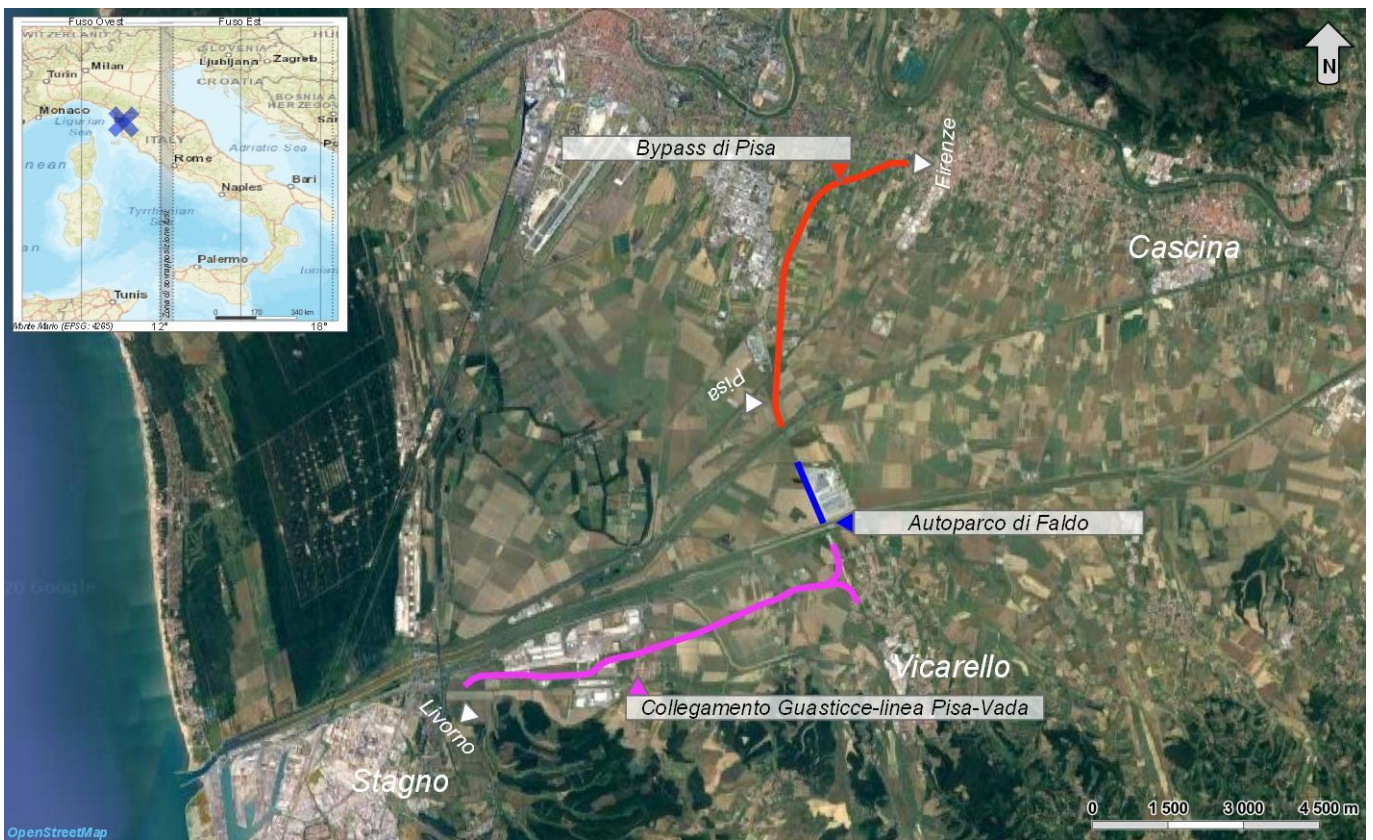


Figura 1 - Corografia in scala 1:150.000 dell'area di interesse progettuale su orto immagine Google Satellite, con individuazione delle aree di progetto.

In particolare però, in questa precisa fase autorizzativa che riguarda solo le tratte di:

- Autoparco Il Faldo nel comune di Collesalvetti (LI),
- Bypass di Pisa nel comune di Cascina (PI),

si dovranno considerare solo i seguenti elaborati con le relative precisazioni:

Codifica elaborato	Descrizione elaborato	Scala	Note
NF0Q 00 F 69 SG GE0000 001 A	Relazione esiti indagini in situ (sondaggi)	-	Realizzati nel 2020. Considerare solo i sondaggi S4bis (pag 66-78), S5 (79-90), S6 (91-103).



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	6 di 122

Codifica elaborato	Descrizione elaborato	Scala	Note
NF0Q 00 F 69 IG GE0000 001 A	Relazione indagini geofisiche	-	Realizzate nel 2020. Considerare solo MASW da 5 a 10 (pg 78-89), HVSR da 5 a 10 (pg 107-129), SCPTU da 12 a 22 (pag 221-330), ERT2 (pag 62), SRT2 (pag 67).
NF0Q 00 F 69 PR GE0000 001 A	Report prove di laboratorio	-	Realizzate nel 2020. Considerare solo le prove eseguite sui sondaggi S4bis (pag 453-560), S5 (pag 561-718), S6 (pag 719-800).
NF0Q 00 F 69 RH GE0005 001 B	Quaderno indagini pregresse	-	-
NF0Q 00 F 69 N5 GE0005 002 A	Carta ubicazioni indagini- AUTOPARCO IL FALDO	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 N5 GE0005 003 A	Carta ubicazioni indagini- BYPASS DI PISA	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0001 003 C	AUTOPARCO IL FALDO Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico dal km 0+000 al km 1+254	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0001 004 C	BYPASS DI PISA Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico dal km 0+000 al km 4+000	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0001 005 C	BYPASS DI PISA Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico dal km 4+000 al km 6+555	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0002 003 C	AUTOPARCO IL FALDO Carta idrogeologica con e profilo idrogeologico dal km 0+000 al km 1+254	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0002 004 C	BYPASS DI PISA Carta idrogeologica con e profilo idrogeologico dal km 0+000 al km 4+000	1:5.000	
NF0Q 00 F 69 L5 GE0002 005 C	BYPASS DI PISA Carta idrogeologica e profilo idrogeologico dal km 4+000 al km 6+555	1:5.000	

La presente relazione geologica, come riportato nell'incipit, considera e analizza l'intero areale di Figura 1 al fine di fornire un quadro di insieme più completo.

Il lavoro si è svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse;
- approfondimenti conoscitivi mediante studi fotointerpretativi condotti su ortofoto;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>												
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF0Q</td> <td>00</td> <td>F 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>D</td> <td>7 di 122</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	7 di 122
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	7 di 122								

- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche disponibili ed appositamente realizzate nell'area di interesse progettuale;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

L'area di studio ricade nel settore centro occidentale della regione Toscana, tra i centri abitati di Collesalveti (LI) e Cascina (PI). L'area si colloca nella Piana di Pisa, che interessa il territorio -dei comuni di Pisa, Cascina e parte di quelli di San Giuliano Terme (PI), Vecchiano (PI), Collesalveti e Livorno. La Piana è delimitata a ovest dal Mar Ligure, a nord dalla Versilia, a nord-est dai Monti Pisani, ad est dalla Valdera, a sud dalla Maremma Pisana e dalle Colline Livornesi

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno dei Fogli 104 (Pisa), 105 (Lucca), 111 (Livorno) e 112 (Volterra) in scala 1:100.000, nelle Tavole 104 II SE, 105 III SO, 111 I NE, 112 IV NO in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Toscana, negli elementi 273101, 273103, 273104, 273142, 273143, 273144, 273132, 284011, 284014 in scala 1:5000.

Dal punto di vista orografico il tracciato impegna settori di territorio di pianura posti a quote comprese tra 0 m s.l.m. e circa 6 m s.l.m. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o subpianeggianti. L'intenso grado di antropizzazione dell'area, in particolare, ha notevolmente modificato l'assetto morfologico originario a causa della messa in posto di ingenti spessori di materiali di risulta che, spesso, mascherano le reali condizioni geologiche e geomorfologiche.

I principale corso d'acqua dell'area di studio è rappresentato dal Fiume Arno, che scorre a circa 1 km a nord del settore di stretto interesse progettuale, in direzione E-O. Ad esso si aggiungono lo Scolmatore dell'Arno e il canale Emissario, che scorrono nel settore meridionale dell'area di studio. Inoltre, sono presenti numerosi fossi e canali artificiali utilizzati per l'irrigazione e la bonifica. In particolare, Fosso la Tora, Fosso Fologno, Fossa Nuova, Fosso di Cerbareto, Fosso Solaiola, Fosso Torale, Fosso Zambrigliana, Fosso Titignano e Fosso degli Stecchi intercettano direttamente le opere in progetto da sud-ovest a nord-est.

	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA</p> <p>Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>												
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF0Q</td> <td>00</td> <td>F 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>D</td> <td>8 di 122</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	8 di 122
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	8 di 122								

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Di seguito si riporta una sintesi della normativa nazionale e regionale di riferimento per il presente studio:

- UNI EN del 1997 "Eurocodice 7 ss.mm.ii. - Progettazione geotecnica".
- UNI EN del 1998 "Eurocodice 8 ss.mm.ii. - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica".
- D.P.R. 380 del 06/06/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia".
- D.M. Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area di studio sono strettamente connesse con l'assetto stratigrafico-strutturale del margine tirrenico dell'Appennino Toscano e con l'evoluzione recente della Piana di Pisa e l'alto corso del Fiume Arno. In particolare, la zona di studio è caratterizzata dalla presenza di spesse successioni marine plioceniche di natura essenzialmente pelitica, su cui poggiano depositi continentali e transizionali quaternari di natura prevalentemente alluvionale, litoraneo, dunare e fluvio-lacustre.

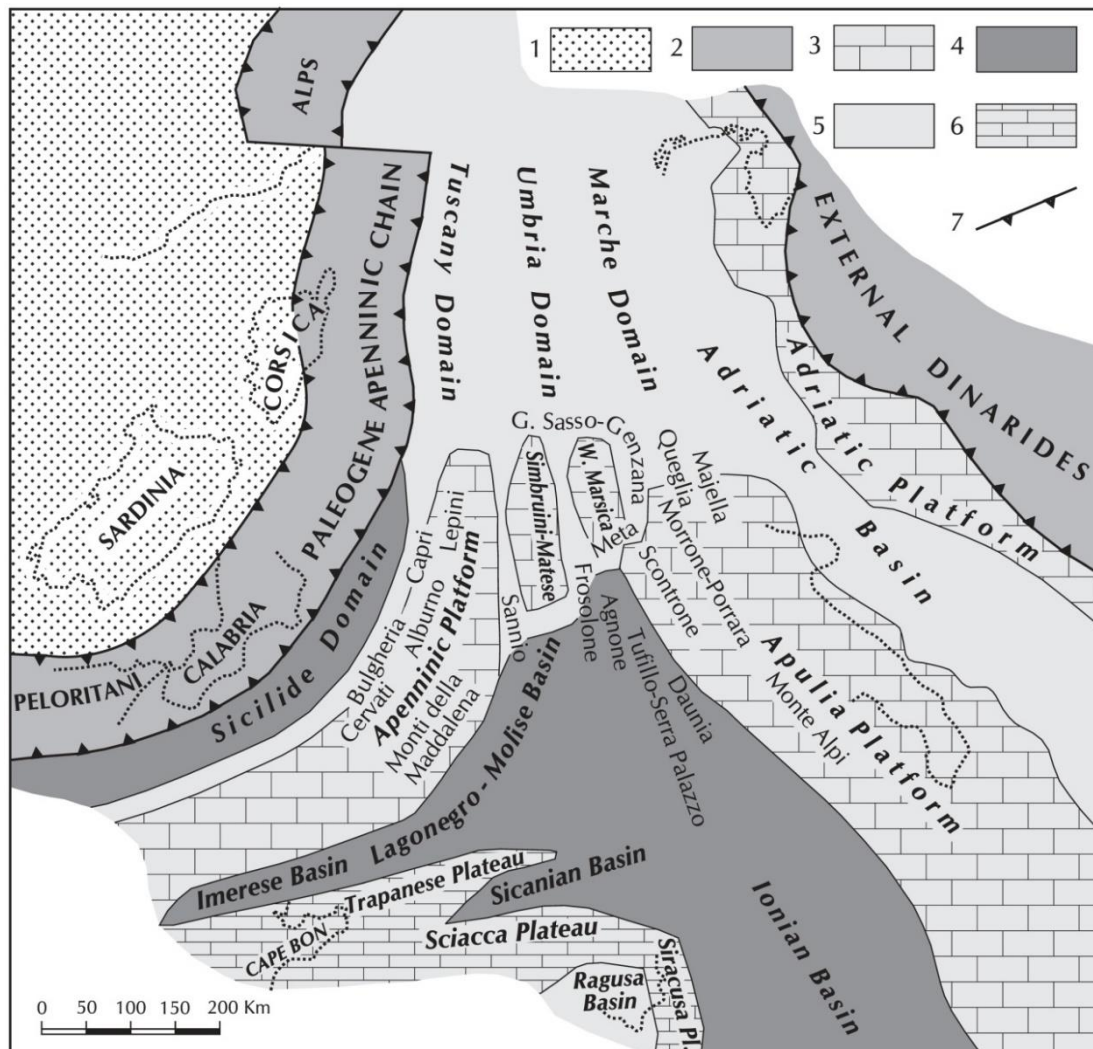


Figura 2 – Ricostruzione palinspastica dell'area centro-mediterranea nell'Oligocene superiore, mostrante la distribuzione dei domini dell'Appennino centro-meridionale prima della loro incorporazione nella Catena: 1) Avampaese europeo; 2) Catena paleogenica; 3-6) Avampaese africano: 3) carbonati di piattaforma di mare basso; 4) bacini profondi a crosta oceanica o continentale assottigliata; 5) aree bacinali con alti strutturali isolati; 6) plateaux pelagici; 7) fronte di catena (da Patacca & Scandone 2007).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	10 di 122

3.1 Inquadramento geologico

Nel suo complesso, l'Appennino rappresenta un tipico *thrust and fold belt* con vergenza orientale (Mostardini & Merlini 1986; Doglioni et al. 1991; Bigi et al. 1992; Bonardi et al. 2009), compreso tra il Bacino Tirrenico ad ovest e l'Avampaese Apulo a est (Scrocca et al. 2007; Bonardi et al. 2009). L'Appennino è quindi una catena per pieghe e sovrascorrimenti connessa all'arretramento flessurale della litosfera apulo-adriatica (Malinverno & Ryan 1986; Doglioni et al. 1991), che si struttura verso i settori di avampaese a partire dal Miocene inferiore (Bally et al. 1986; Mostardini & Merlini 1986; Patacca & Scandone 2007; Bonardi et al. 2009).

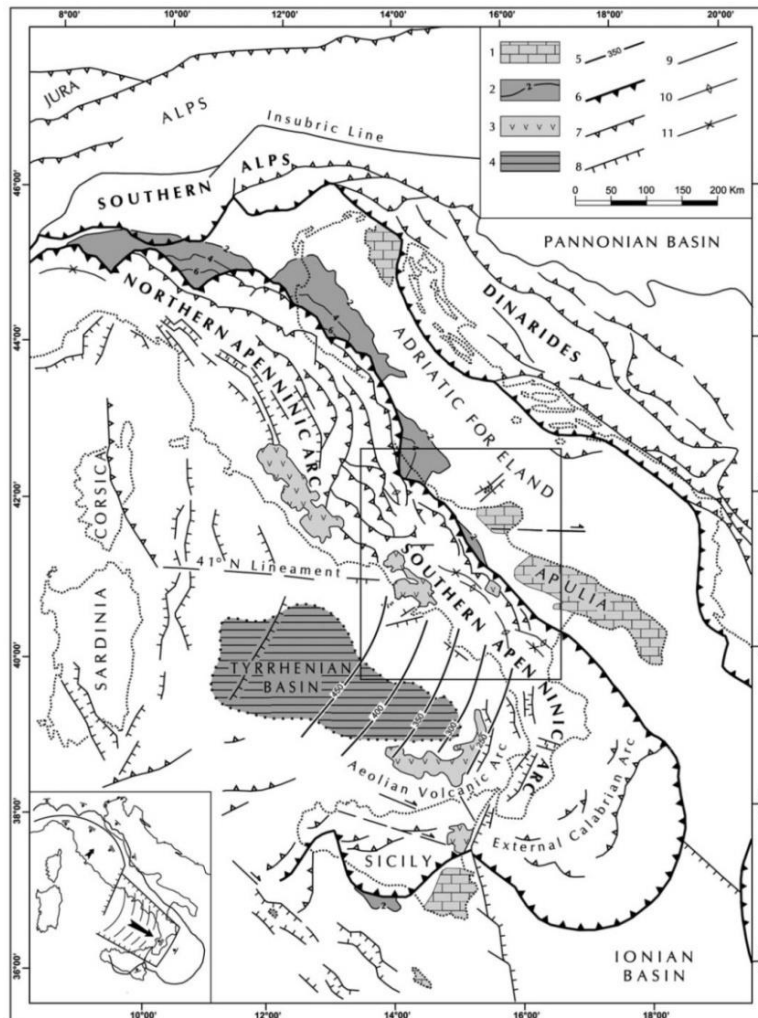


Figura 3 – Schema strutturale della penisola italiana ed aree adiacenti, mostrandone la suddivisione della Catena Appenninica in due archi principali: l'Arco Appenninico Settentrionale e l'Arco Appenninico Meridionale; nel riquadro in basso a sinistra è schematizzata la diversa struttura litosferica nei due archi: 1) carbonati meso-cenozoici delle aree di avampaese; 2) profondità (in km) della base dei depositi plio-pleistocenici nei bacini di avampaese; 3) principali edifici vulcanici quaternari; 4) aree del Mar Tirreno a crosta oceanica o continentale assottigliata; 5) zona di Wadati-Benioff nell'area tirrenica meridionale (profondità in km); 6) fronte delle Maghrebidi, dell'Appennino, delle Alpi meridionali e delle Dinaridi; 7) altri sovrascorrimenti principali; 8) faglie normali; 9) faglie ad alto angolo, soprattutto faglie trascorrenti; 10) asse di anticlinale; 11) asse di sinclinale (da Patacca & Scandone 2007).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	11 di 122

L'assetto tettonico della Catena Appenninica è schematizzabile attraverso la giustapposizione di due grandi archi: uno settentrionale, che va dal Monferrato fino al Lazio-Abruzzo, e uno meridionale, che arriva fino alla Sicilia (Patacca et al. 1992; Scrocca & Tozzi 1999). Questi due archi, la cui giunzione si realizza lungo la Linea Ortona-Roccamonfina, si differenziano per direzioni di movimento, entità dei raccorciamenti e stili deformativi (Di Bucci & Tozzi 1992). Ogni arco maggiore è formato da *thrust sheet* scollati nelle dolomie triassiche, alla base delle successioni sedimentarie meso-cenozoiche (Mostardini & Merlini 1986; Scrocca & Tozzi 1999).

Lo stile della deformazione compressiva nella porzione di catena dove si trovano successioni carbonatiche sia di bacino che di piattaforma, si esplica essenzialmente per embrici in progressione verso l'Avampaese (Patacca & Scandone 1989; Di Bucci et al. 1999). Nella porzione di catena in cui sono prevalenti i depositi bacinali a dominante pelitica, invece, lo stile della deformazione compressiva è dato da estesi *thrust sheet* che ricoprono i depositi plio-pleistocenici più recenti (Di Bucci et al. 1999; Buonanno et al. 2007). Al di sotto di tali strutture, il dominio di Avampaese sepolto si deforma in una serie di *horses* ricoperti da un complesso sistema di tipo *duplex* (Patacca & Scandone 1989; Lentini et al. 1990; Di Bucci et al. 1999; Patacca & Scandone 2007).

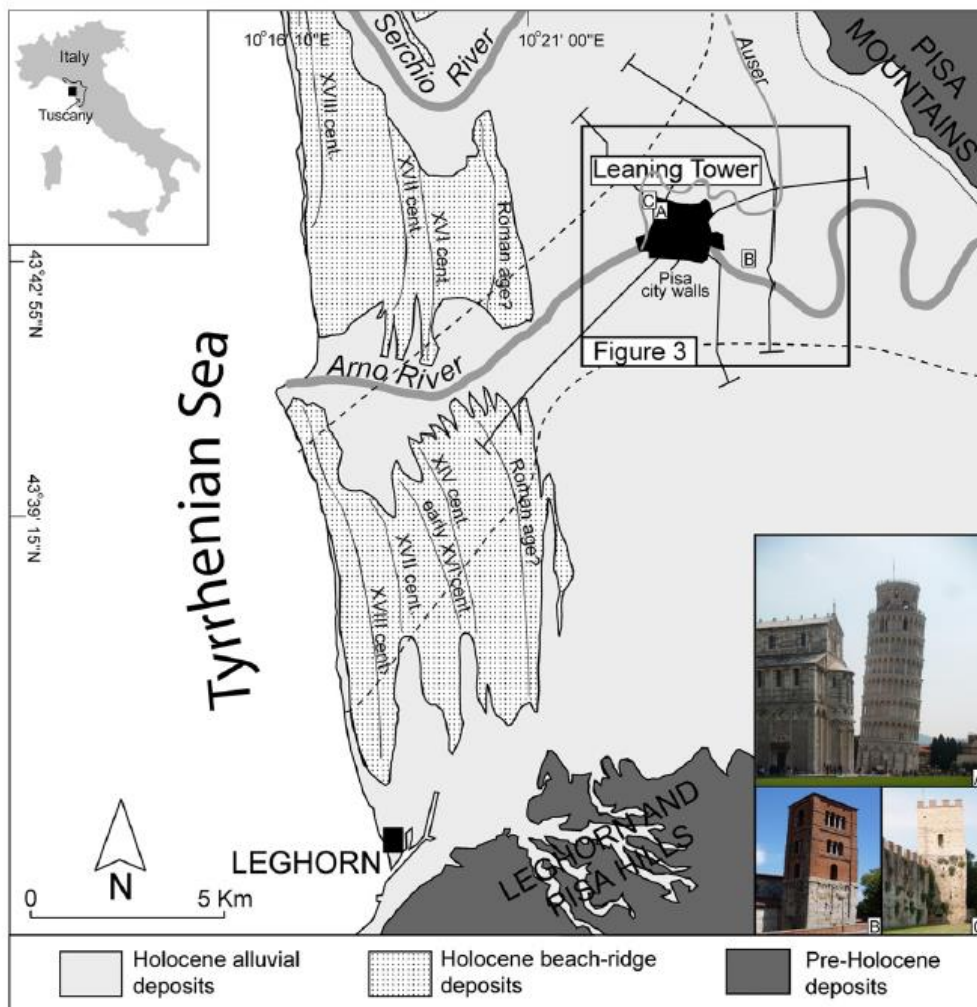


Figura 4 – Schema geologico e geomorfologico della piana costiera del Fiume Arno (da Sarti et al. 2012); le linee nere tratteggiate rappresentano i limiti ipotizzati della paleo-valle.

L'area di studio si colloca nella porzione nord-occidentale della Regione Toscana, in prossimità del margine meridionale della Piana di Pisa, una estesa depressione tettono-sedimentaria collocata lungo il margine tirrenico dell'Appennino Toscano. Questa pianura, che rappresenta il settore costiero e deltizio del Fiume Arno (Amorosi et al. 2013a; Solari et al. 2016), è bordata dai Monti Pisani a nord-est, dalla linea tettonica "Livorno-Sillaro" a sud e approssimativamente dal Lago di Massaciuccoli a nord (Martini & Sagri 1993; Cantini et al. 2001; Sarti et al. 2012). Il bordo settentrionale della piana, invece, non è ben definito a causa della complessa sovrimposizione di numerosi paleo-canali dei Fiumi Arno e Serchio (Sarti et al. 2012).

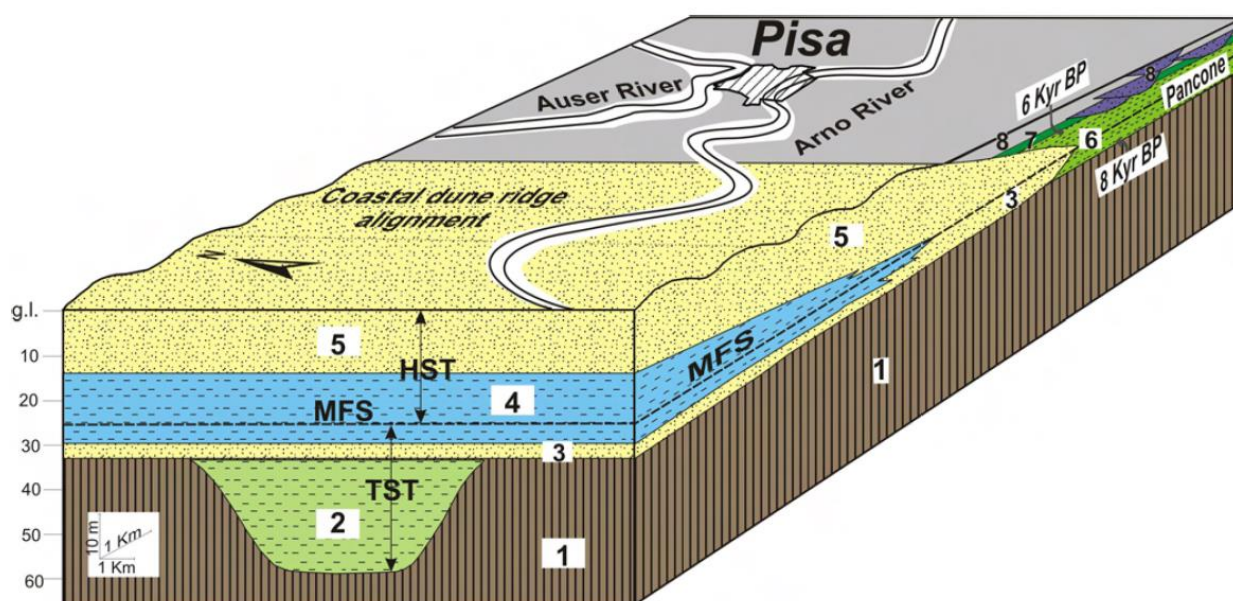


Figura 5 – Blocco diagramma mostrante l'architettura superficiale e profonda della Piana costiera di Pisa (da Sarti et al. 2010); legenda: (1) depositi del pleistocene superiore, (2) depositi di riempimento dell'incisione valliva, (3) sabbie marine trasgressive, (4) argille di pro-delta, (5) sabbie marine progradazionali, (6) argille compressibili lagunari (pancone), (7) argille di piana costiera, (8) piana alluvionale e depositi sabbiosi di canale fluviale.

La piana, con una caratteristica forma triangolare che si protende verso nord (Pascucci 2005; Amorosi et al. 2013b), ha un'estensione di circa 450 km² e rappresenta la parte meridionale del bacino subsidente di Viareggio (Sarti et al. 2012; Solari et al. 2016). L'evoluzione deposizionale della porzione più recente del bacino è connessa prevalentemente alle fluttuazioni glacio-eustatiche del livello marino nel tardo Quaternario (Aguzzi et al. 2007; Amorosi et al. 2008a, 2008b). Infatti, il livello del mare è decresciuto dopo il Last Glacial Maximum (LGM) provocando lo sviluppo di una incisione valliva larga 5-7 km e profonda 40 m, perpendicolare all'attuale linea di costa (Aguzzi et al. 2007; Amorosi et al. 2008a, 2008b; Sarti et al. 2010). Tra i 13,000 e gli 8,000 anni fa, grazie alla risalita del livello marino post LGM, questa valle è stata rapidamente colmata da depositi costieri e di delta (Amorosi et al. 2008b, 2009; Sarti et al. 2012).

Al di sopra di questa successione poggiano circa 20-25 m di depositi trasgressivi, accumulatisi durante gli ultimi 8,000 anni dopo la fase di rallentamento di risalita del livello marino (Lambeck et al. 2011; Sarti et al. 2012). Alla base di questa successione olocenica, tra i Monti di Pisa e la fascia costiera, è presente un livello continuo di argille e limi argillosi conosciuto come "pancone" (Aguzzi et al. 2007; Sarti et al. 2012). Questo orizzonte pelitico è connesso a una antica laguna presente nel periodo compreso tra gli 8,000 e i 6,000 anni fa (Rossi et al. 2011), quando il litorale è posto oltre 7 km più a est della sua posizione attuale (Solari et al. 2016). I depositi lagunari del

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 13 di 122

“pancone” sono ricoperti da una successione fluvio-deltaica spessa 10-15 m, composta da argille e limi con locali corpi sabbiosi e limoso-sabbiosi, che riflettono le ripetute fasi di progradazione costiera e conseguente sviluppo del delta del Fiume Arno (Lambeck et al. 2011; Amorosi et al. 2013b).

Durante l’epoca Romana e Pre-Romana, tra 6,000 e 1,600 anni fa, uno degli antichi rami del Fiume Serchio, chiamato “Auser”, era connesso con il Paleo-Arno (Bruni & Cosci 2003; Sarti et al. 2012). Nonostante le numerose opere ingegneristiche realizzate per proteggere la città da piene e inondazioni, questo rete ha persistito durante tutto il Medio Evo (Sarti et al. 2010; Rossi et al. 2012). Il corso del “Auser” fu deviato fuori dalle mura della città tra il XI e il XII secolo, lasciando solo un canale a defluire all’interno della città, corrispondente all’attuale Fiume Arno (Bruni & Cosci 2003). La stratigrafia e l’architettura della successione olocenica, caratterizzata da livelli di elevata compressibilità come il “pancone”, rappresenta un elemento di criticità geotecnica di particolare rilevanza per la subsidenza dell’area urbana di Pisa (Sarti et al. 2012; Solari et al. 2016).

3.1.1 *Assetto strutturale*

L’assetto strutturale dei settori tirrenici della Toscana è dominato dalle deformazioni connesse con la tettonica distensiva post-collisionale che, tra il Neogene e il Quaternario, ha portato al collasso e allo smembramento di questo settore dell’Appennino settentrionale (Mazzanti 2016). L’inizio degli eventi deformativi in regime distensivo è posto alla fine del Miocene inferiore (Carmignani et al. 1994; Elter & Sandrelli 1995). A partire da questo momento, il settore costiero della Toscana è stato interessato da due diversi eventi distensivi (Bertini et al. 1991): un primo evento tra il Miocene inferiore e il Tortoniano superiore che ha portato alla delaminazione della crosta superiore (Decandia et al. 1993) e un secondo evento tra il Tortoniano superiore e il Pleistocene medio che ha portato allo sviluppo di un sistema di fosse tettoniche (Costantini et al. 1995; Cantini et al. 2001).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	14 di 122

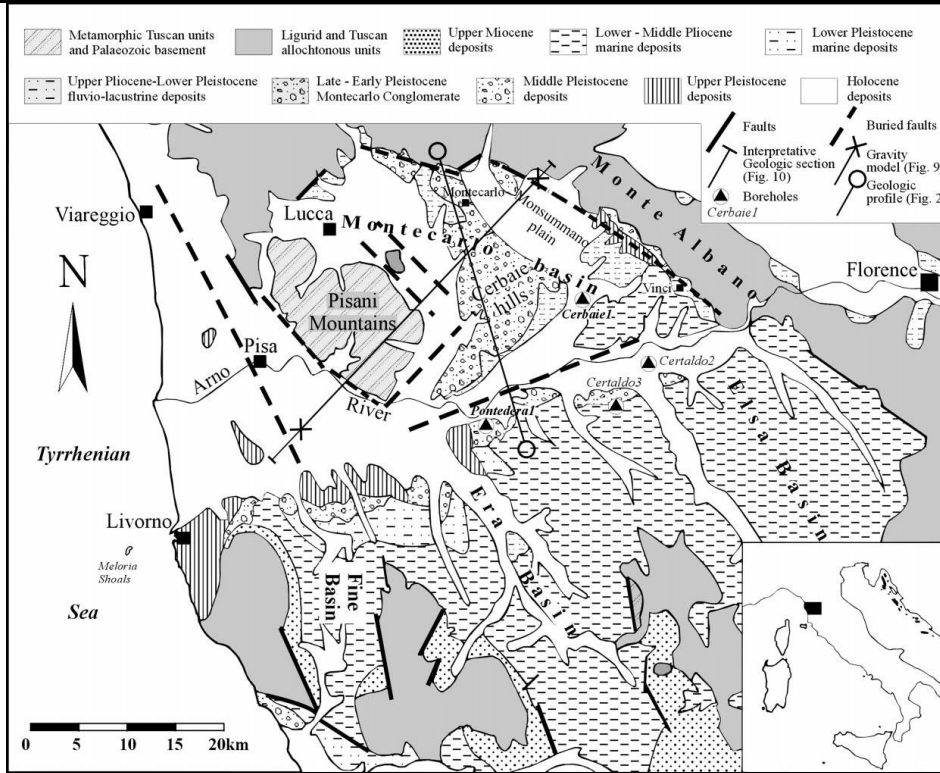


Figura 6 – Schema geologico del Valdarno inferiore e dei settori tirrenici della Toscana (da Cantini et al. 2001).

I bacini tettonici sono separati da una serie di alti strutturali, costituiti da unità alloctone mesozoiche e paleogeniche del Dominio Liguride e Toscano (Cantini et al. 2001). Sia gli alti strutturali che le fosse tettoniche sono bordati da faglie dirette ad alto angolo a prevalente geometria listrica, con orientazione appenninica e anti-appenninica (Cantini et al. 2001; Mazzanti 2016). L'apertura delle fosse tettonica non si è verificata contemporaneamente, ma è proceduta con gradualità da occidente ad oriente, dal settore tirrenico fino all'Appennino Toscano (Costantini et al. 1995; Mazzanti 2016).

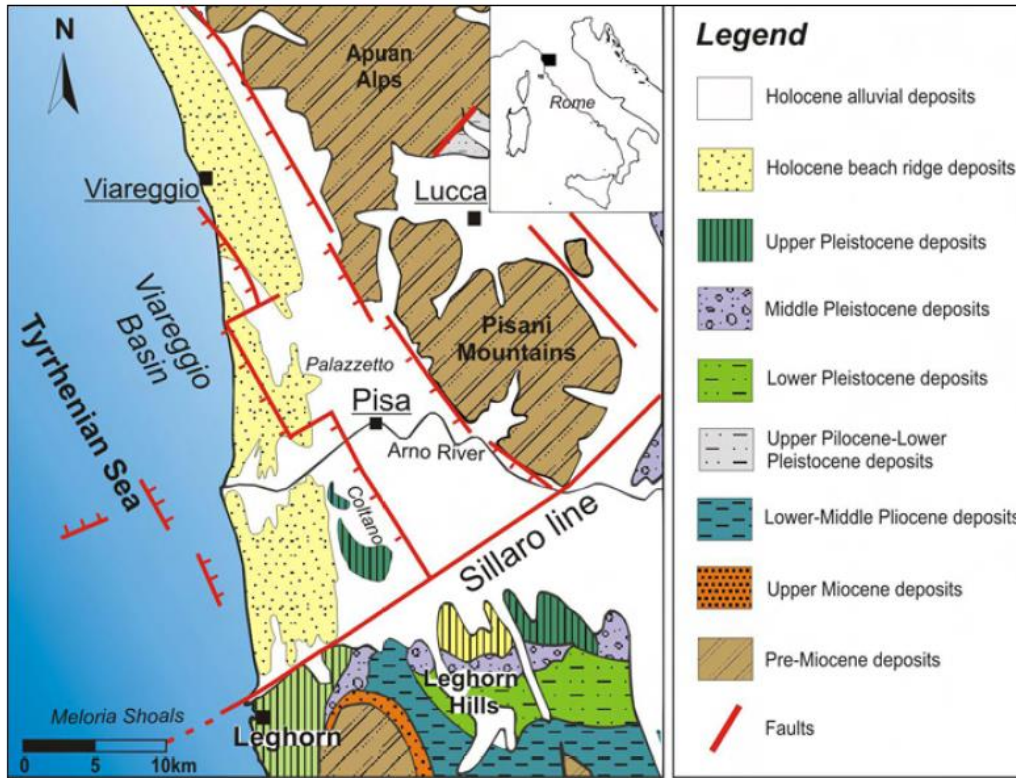


Figura 7 – Schema geologico della Piana costiera di Pisa e dei settori tirrenici della Toscana (da Sarti et al. 2010).

In particolare, la Piana di Pisa risulta bordata da due estese faglie dirette orientate NNO-SSE e OSO-ENE (Sarti et al. 2010), che formano un bacino tetto-sedimentario con forma triangolare protesa verso nord (Pascucci 2005; Amorosi et al. 2013b). Nei settori di piana, i lineamenti tettonici risultano generalmente ricoperta dai depositi recenti che colmano la depressione strutturale e, pertanto, non sono rilevabili direttamente in superficie (Cantini et al. 2001; Sarti et al. 2010). Locali emergenze dei piani di faglia sono visibili solo lungo i rilievi montuosi che bordano la piana, tra le Alpi Apuane e i Monti di Pisa (Cantini et al. 2001; Sarti et al. 2010).

3.1.2 Assetto stratigrafico

Di seguito vengono descritte, dal basso verso l'alto, le unità litostratigrafiche individuate nell'area oggetto di studio, con diretto riferimento alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 284 "Rosignano Marittimo" (ISPRA 2016) e Foglio 273 "Pisa" (ISPRA 2010).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	16 di 122

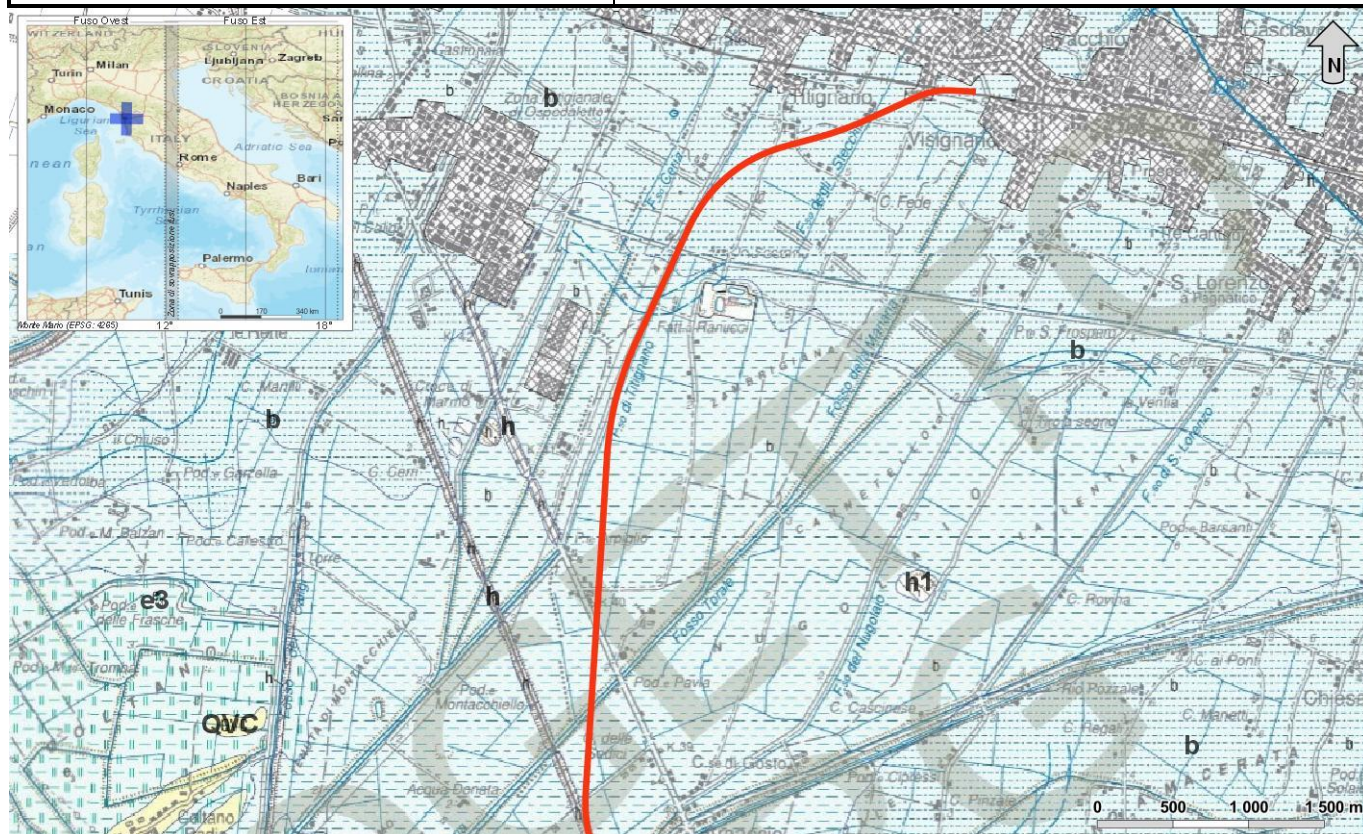


Figura 8 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 273 "Pisa" (ISPRA 2010), con individuazione dell'opera in progetto (Bypass Pisa: rosso): QVC) Formazione di Vicarello; b) Deposito alluvionale; e3) Deposito lacustre; h1) Discarica h) Deposito antropico.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	17 di 122

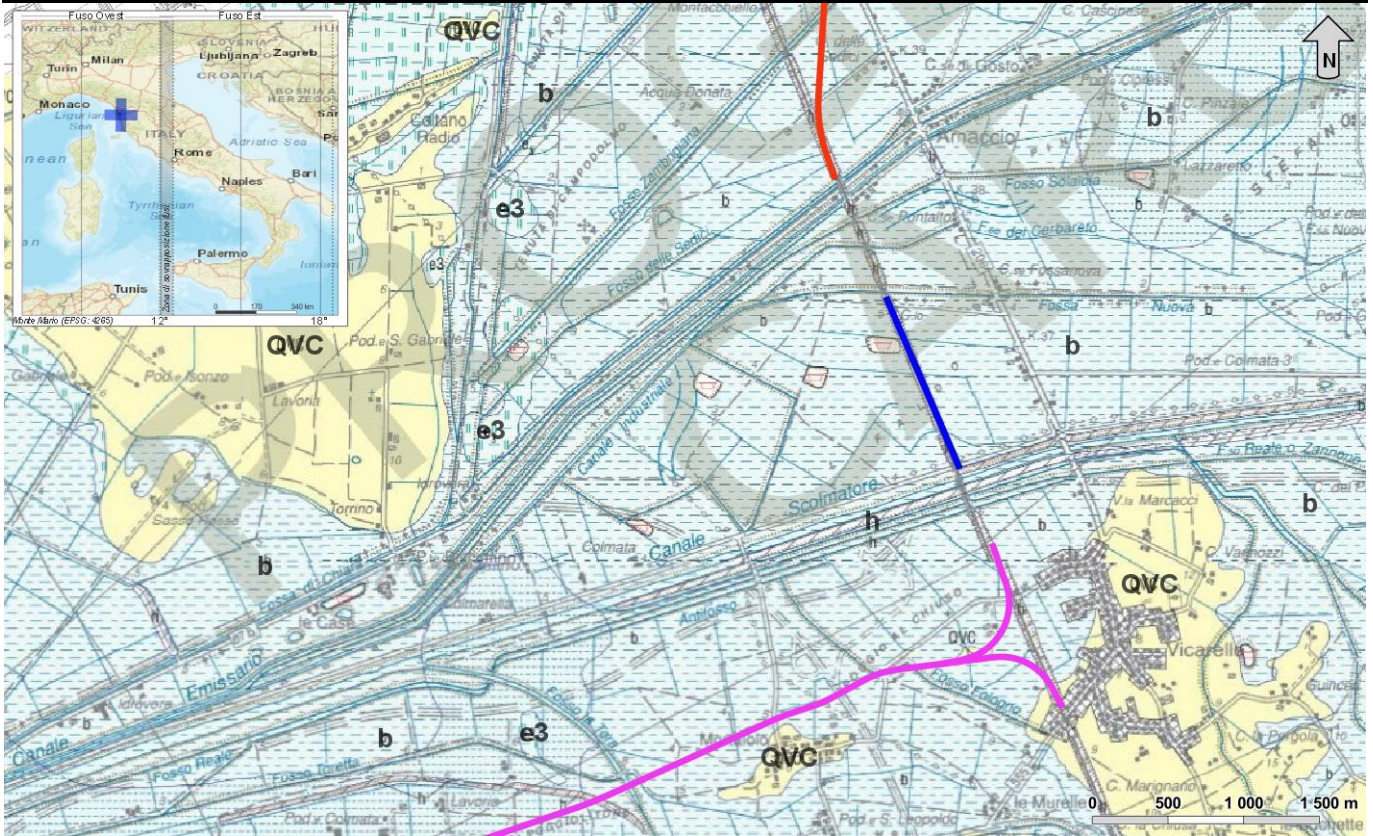


Figura 9 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 273 "Pisa" (ISPRA 2010), con individuazione dell'opera in progetto (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso): QVC) Formazione di Vicarello; b) Deposito alluvionale; e3) Deposito lacustre; h) Deposito antropico.

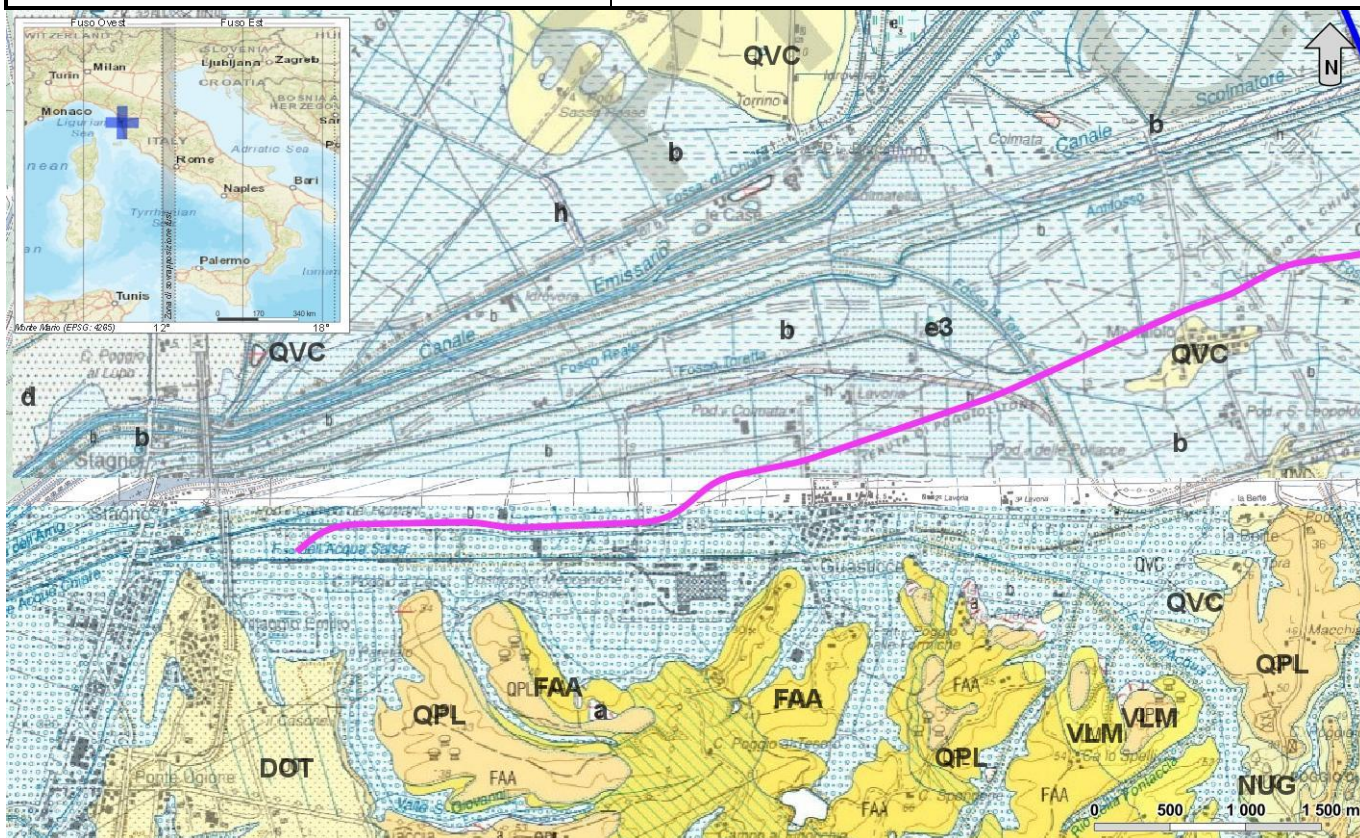


Figura 10 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 273 "Pisa" (ISPRA 2010) e della Carta Geologica d'Italia Foglio 284 "Rosignano Marittimo" (ISPRA 2016), con individuazione dell'opera in progetto (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu); FAA) Argille azzurre; NUG) Sabbie di Nugola Vecchia; QPL) Formazione di Casa Poggio ai Lecci; DOT) Sabbie di Donoratico; QVC) Formazione di Vicarello; b) Deposito alluvionale; e3) Deposito lacustre; h) Deposito antropico.

- **Argille azzurre (FAA):** Argille e argille limose, talvolta marnose, di colore grigio-azzurro, mal stratificate, localmente fossilifere (in prevalenza molluschi). L'ambiente di sedimentazione è marino, da neritico a batiale superiore. I microfossili, molto abbondanti, sono riferibili alla *Zona a Sphaeroidinellopsis seminulina s.l. – Zona a Globorotalia aemiliana (pars); Zona a Discoaster variabilis s.l. – Zona a Discoaster tamalis* (parte superiore). Lo spessore raggiunge i 900 m. (*Zanclleano – Piacenziano*).
- **Sabbie di Nugola Vecchia (NUG):** Sabbie molto fini di colore oca-arancio, in banchi omogenei di 5-10 m di spessore. Subordinatamente si trovano strati arenacei e calcareo-arenacei, talora con piccole lenti di conglomerati minuti a laminazione incrociata. I macrofossili più comuni (ostreidi e pectinidi), indicano un ambiente marino litoraneo da infralitorale e parte del circolitorale. La formazione presenta la parte superiore erosa e si sono conservati spessori di circa 100 m. (*Emiliano p.p.*).
- **Formazione di Casa Poggio ai Lecci (QPL):** Limi argillosi, limi e sabbie limose di colore bruno, con locali intercalazioni di ghiaie sabbiose, sopraelevati rispetto agli alvei attuali. Lo spessore massimo è di circa 10 m (*Pleistocene medio*).
- **Sabbie di Donoratico (DOT):** Sabbie molto fini di colore arancio. La stratificazione e le strutture sedimentarie sono rare. Costituiscono un deposito omogeneo eolico di spiaggia e retrospiaggia. I fossili sono limitati a molluschi terrestri. La loro attribuzione cronologica, non più recente del Wurm II, è legata al ritrovamento di industrie del Musteriano. Lo spessore è di circa 5 m. (*Pleistocene superiore p.p.*)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 19 di 122

- **Formazione di Vicarello (QVC):** Sabbie fini e limi di origine eolica. Si rilevano al loro interno industrie del Musteriano riferibili all'interstadiale Wurm I – Wurm II. Lo spessore è di pochi metri. (Pleistocene superiore p.p.)
- **Deposito alluvionale (b):** Sabbie e ghiaie a varia composizione, talora con lenti di limi. Sono molto diffusi al fondo delle valli, in corrispondenza delle zone collinari e sporadici nelle zone montane. (*Olocene*)
- **Deposito lacustre (e3):** Argille e limi argillosi grigio nocciola con sporadici livelli centimetrici di limi sabbiosi. (*Olocene*)
- **Discarica (h1):** discariche per inerti solidi urbani (*Olocene*)
- **Deposito antropico (h):** Deposito di riporto a granulometria variabile. (*Olocene*)

3.2 Inquadramento geomorfologico

L'area di studio ricade lungo il margine meridionale della Piana di Pisa, una estesa depressione tettono-sedimentaria che rappresenta il settore costiero e deltizio del Fiume Arno (Amorosi et al. 2013a; Solari et al. 2016). La piana costituisce la parte meridionale del Bacino di Viareggio (Sarti et al. 2012; Solari et al. 2016), un esteso graben compreso tra le Alpi Apuane e il Monte Pisano ed Est, i Monti Livornesi e quelli di Casciana a sud e la dorsale della Meloria-Maestra, sommersa dal mare, ad ovest (Della Rocca et al. 1987). Il Bacino di Viareggio ha avuto il massimo sviluppo del Pliocene inferiore-medio, mentre è entrato a far parte di una estesa regione emersa nel Pliocene superiore (Della Rocca et al. 1987; Sarti et al. 2012).

La Piana di Pisa ha avuto una importante evoluzione recente a causa delle fluttuazioni glacioeustatiche del livello marino nel tardo Quaternario, quando è stata colmata da depositi costieri e di delta (Amorosi et al. 2008b, 2009; Sarti et al. 2012). L'inizio di una intensa attività fluviale, riferibile contemporaneamente al Fiume Arno e al ramo orientale del Serchio, risale tardo Pleistocene medio (Della Rocca et al. 1987). Dopo questa fase, in relazione alle variazioni eustatiche e al succedersi di periodi glaciali e interglaciali, la piana è stata caratterizzata dalla deposizione di depositi lagunari, costieri e di delta (Amorosi et al. 2008b, 2009; Sarti et al. 2012). I depositi alluvionali del Fiume Arno rappresentano il tetto della successione sedimentaria quaternaria (Lambeck et al. 2011; Amorosi et al. 2013b).

Il reticolo idrografico attuale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Arno, un esteso corso d'acqua perenne che si sviluppa in direzione E-W con andamento marcatamente meandriforme (Amorosi et al. 2013b; Mazzanti 2016). La restante parte della rete idrografica risulta attualmente regimata da una serie di opere antropiche, quali argini e canali (Mazzanti 2016). Anche uno degli antichi rami del Fiume Serchio connesso con il Paleo-Arno, noto in letteratura come "Auser" (Bruni & Cosci 2003; Sarti et al. 2012), è stato deviato fuori dalle mura della città di Pisa tra il XI e XII, lasciando solo un canale a defluire all'interno della città, corrispondente all'attuale Fiume Arno (Bruni & Cosci 2003).

3.2.1 Geomorfologia dell'area

Dal punto di vista morfologico, i settori di intervento si collocano nella porzione nord-occidentale della Regione Toscana, in prossimità del margine meridionale della Piana di Pisa. Questa pianura rappresenta il settore costiero e deltizio del Fiume Arno ed è caratterizzata da una estesa superficie sub-pianeggiante e blandamente immergente verso il Mar Tirreno. Nei settori più interni, la piana è incisa da numerosi canali e aste fluviali, come quella del Fiume Arno e Serchio, mentre in prossimità della costa sono presenti una serie di cordoni costieri grossomodo paralleli alla linea di riva. Lungo i margini della piana, o talvolta al suo interno, sono presenti terrazzi alluvionali poco estesi e parzialmente smantellati, elevati di pochi sul fondovalle attuale.



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	20 di 122

Gran parte dei corsi d'acqua e dei canali presenti nell'area sono protetti da argini artificiali, realizzati prevalentemente con strutture in terra. Localmente, sono presenti cave e attività estrattive per l'approvvigionamento di inerti, mentre sono sporadici gli specchi d'acqua antropici. In corrispondenza delle aree urbanizzate e delle principali infrastrutture lineari sono infine presenti diffusi terreni di riporto, con spessori variabili da qualche decimetro ad alcuni metri.

In relazione alle caratteristiche morfologiche dei settori di piana, la zona di studio è priva di elementi geomorfologici di particolare rilevanza e/o di possibile criticità per le opere in progetto. Infatti, i fenomeni erosivi e i movimenti gravitativi risultano del tutto assenti, in quanto inibiti dalle basse pendenze e dalle ridotte energie di rilievo che caratterizzano questo settore.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	21 di 122

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico della Pianura di Pisa è caratterizzato dal Complesso acquifero della Pianura Pisana, dove ha sede un acquifero multistrato confinato. Il Complesso è costituito da un orizzonte superficiale prevalentemente limo-argilloso (fino a profondità di 20-50 metri dal p.c.), che funziona da copertura impermeabile dell'acquifero sottostante. L'acquifero è così composto da un orizzonte acquifero prevalentemente sabbioso, di origine marina, fluviale ed eolica, più superficiale rispetto ad un secondo orizzonte acquifero ghiaioso-ciottoloso di origine fluviale. La notevole complessità della struttura, con corpi acquiferi stratiformi più frequenti nella parte centrale e con spessori maggiori ai margini, unita a un'elevata variabilità laterale dei corpi stessi, comporta una marcata anisotropia idraulica verticale ed orizzontale (Baldacci et al. 1994).

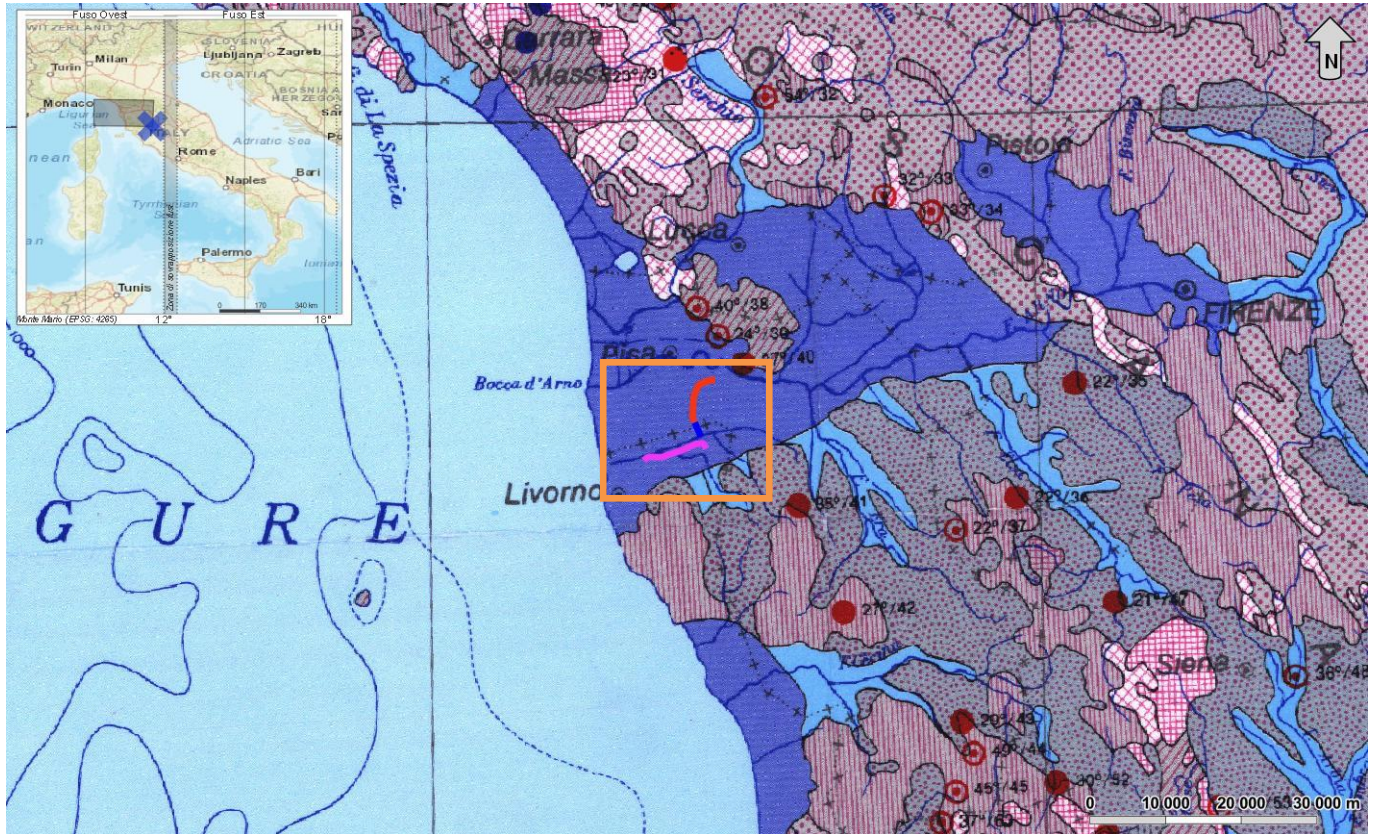


Figura 11 – Stralcio della Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia - Foglio nord, scala 1:1.000.000 (da Boni et al. 1982), con indicazione del tracciato di progetto nel riquadro (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso).

Le falde dell'acquifero multistrato confinato vengono alimentate, sia dalle strutture idrogeologiche "incassanti" relative ai rilievi montuosi confinanti (ricarica laterale e profonda), sia attraverso il Complesso acquifero della Pianura di Pisa. Notevole è l'apporto ricevuto dalla circolazione profonda, alimentata da strutture idrogeologiche carbonatiche situate sulla prosecuzione sud-orientale delle Apuane; che sbocca nei campi idrotermali di San Giuliano e Uliveto Terme (Baldacci & Raggi 1982).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	22 di 122

L'Arno e il Serchio, nella parte centrale della pianura, dove la copertura limo-argillosa raggiunge spessori fino a circa 50 metri, sono idraulicamente ben separati dalle falde confinate; si possono quindi ammettere soltanto limitati fenomeni di drenanza discendente originati dai due fiumi. Condizioni alquanto diverse si verificano nei tratti pedemontani e costieri dei suddetti corsi d'acqua, dove invece la copertura permeabile e semipermeabile dell'acquifero multistrato confinato ha spessori più limitati, e ciò potrebbe determinare più accentuati fenomeni di drenanza, verso le sottostanti falde "artesiane" (Baldacci et al. 1994).

Il bacino idrografico della Pianura Pisana è infine delimitato dalla linea di costa, attraverso la quale dovrebbero scaricarsi, in condizioni naturali, le falde "artesiane" dell'acquifero multistrato confinato. Le attuali condizioni piezometriche, indicano invece che la discarica è essenzialmente artificiale, attraverso i numerosi pozzi che attingono, nella pianura di Pisa, alle falde stesse.

Nello specifico, l'area urbana di Pisa, presenta un livello piezometrico con un massimo nell'area di Ospedaletto (circa 1.5 m s.l.m.) e un minimo lungo il margine meridionale dell'Aeroporto Internazionale Galileo Galilei (circa -2.0 m s.l.m.), mentre nella porzione settentrionale della città non mostra significative variazioni di quota (Comune di Pisa 2015; Solari et al. 2016).

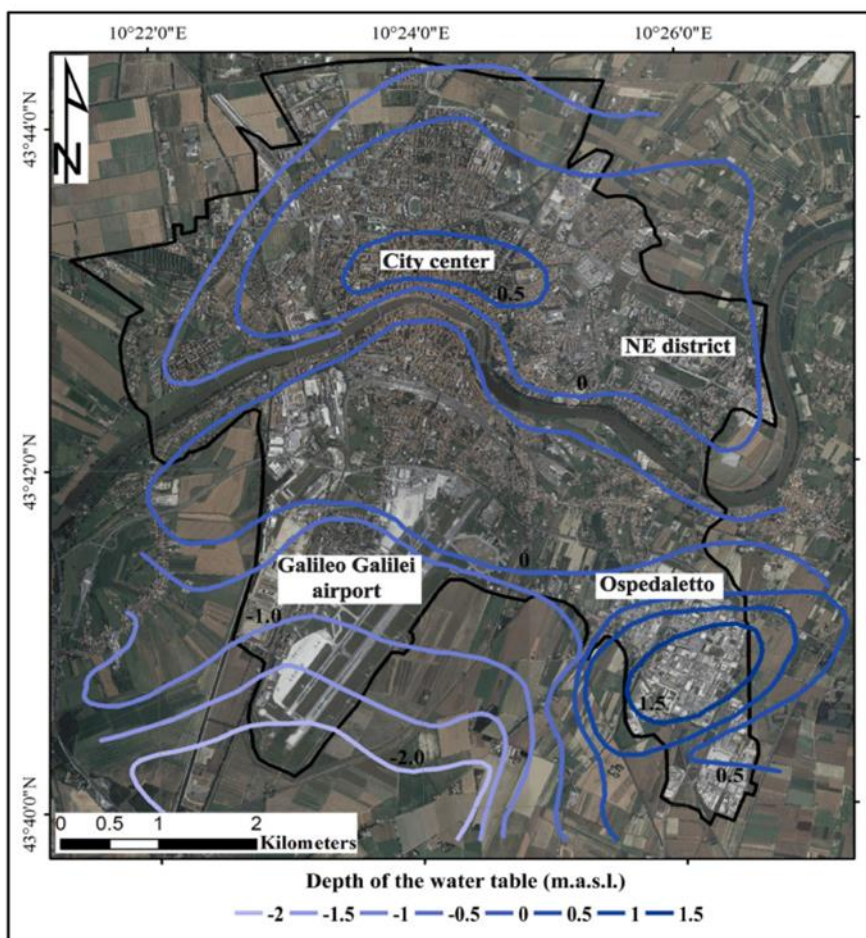


Figura 12 - Andamento della superficie freatica nell'area urbana di Pisa (da Comune di Pisa 2015), su ortofoto a colori 2013.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 23 di 122

5 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI

Di seguito vengono descritti i vincoli di tipo geologico che interessano l'area di studio, in riferimento alle normative nazionali.

5.1 Vincolo idrogeologico

Per quanto concerne il Vincolo Idrogeologico (R.D.L. 3267/1923 e R.D. 1126/1926), sono stati consultati gli studi contenuti nelle cartografie digitali del Vincolo idrogeologico della Regione Toscana. Secondo tali cartografie, le opere in progetto non ricadono in terreni assoggettati a vincolo idrogeologico (Figura 13).

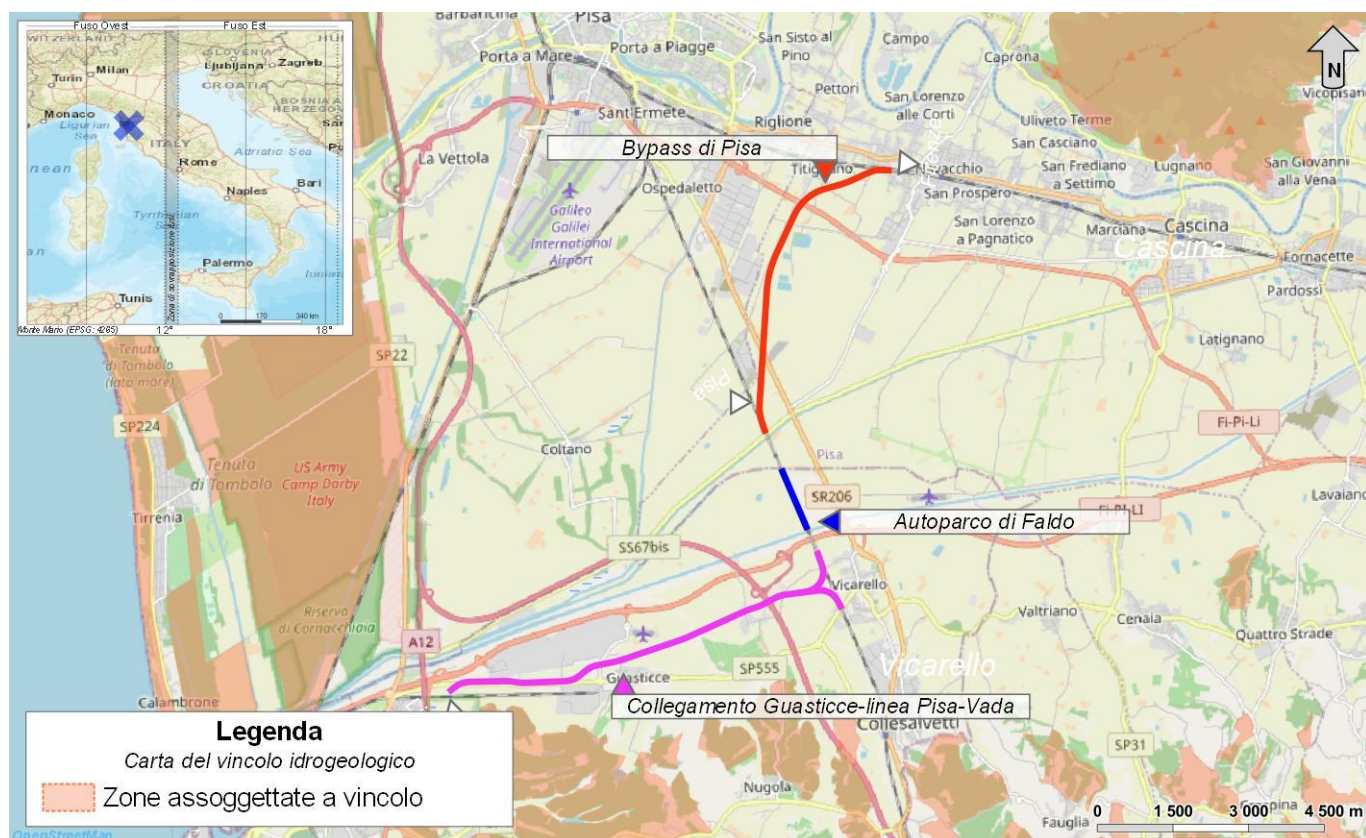


Figura 13 - Stralcio della carta del vincolo idrogeologico Regione Toscana, con indicazione delle opere in progetto (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso).

5.2 Pericolosità geomorfologica ed idrogeologica

Relativamente alla pericolosità geologica e idrogeologica, sono state consultate le cartografie tematiche del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno dell'Autorità di bacino Arno distretto dell'Appennino Settentrionale. Nel bacino del fiume Arno e negli ex bacini regionali toscani il PAI vigente si applica per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica mentre la parte relativa alla pericolosità idraulica del PAI è abolita e sostituita integralmente dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA). In

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	24 di 122

corrispondenza delle opere in progetto non sono presenti areali di pericolosità geomorfologica, in quanto privi di movimenti franosi e dissesti di potenziale criticità (Figura 14 - Figura 29).

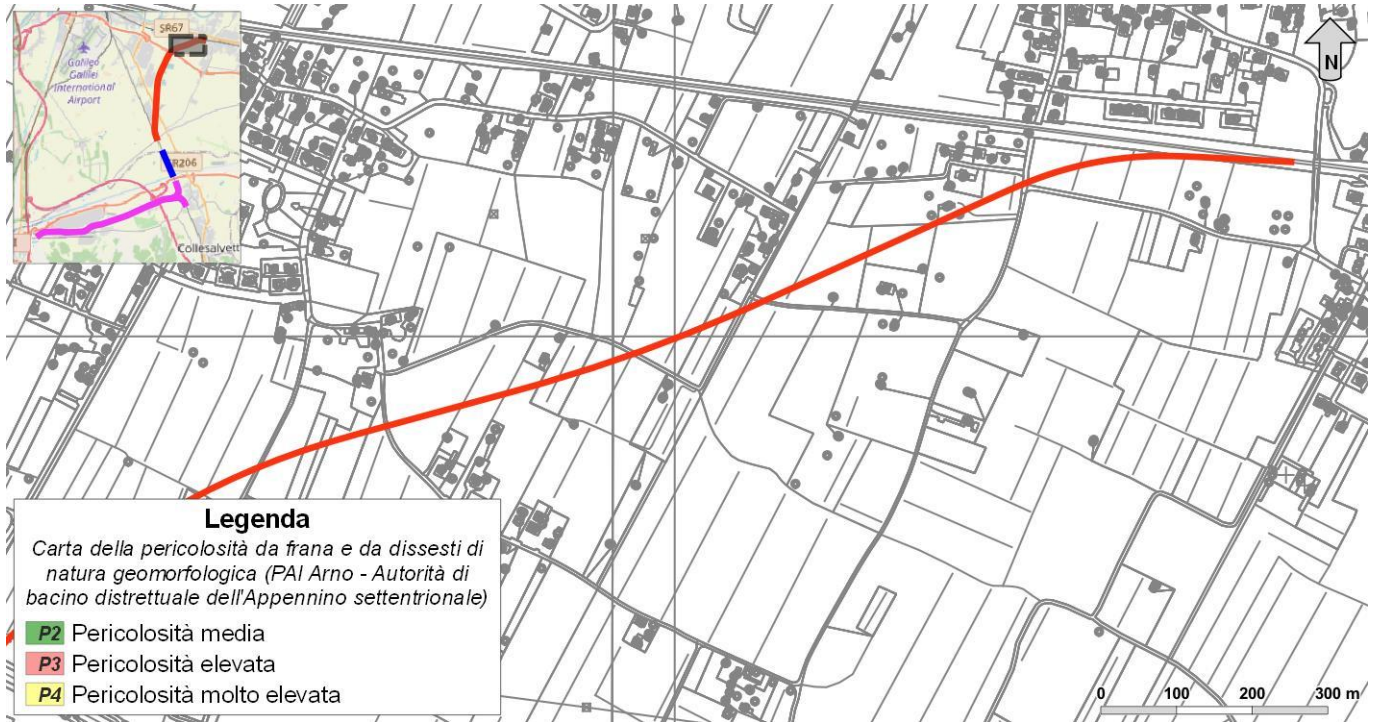


Figura 14 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	25 di 122

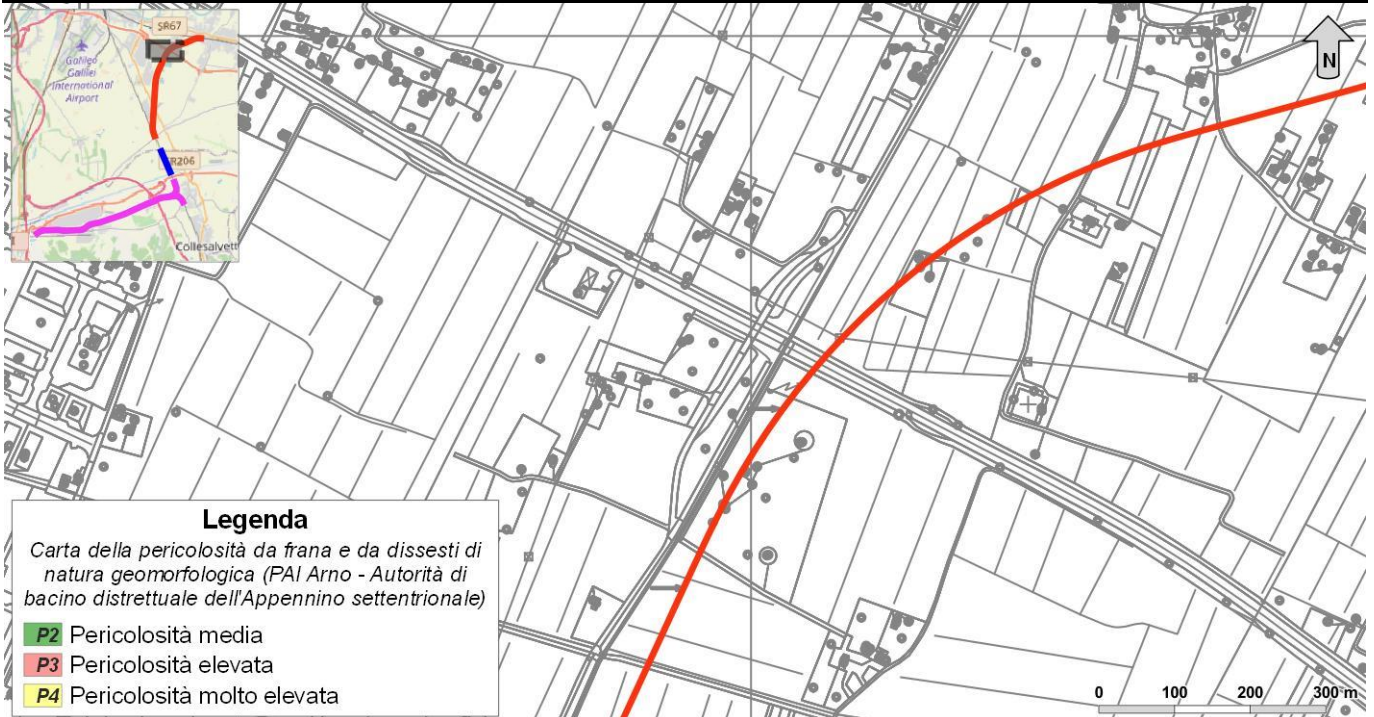


Figura 15 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	26 di 122



Figura 16 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	27 di 122



Figura 17 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	28 di 122

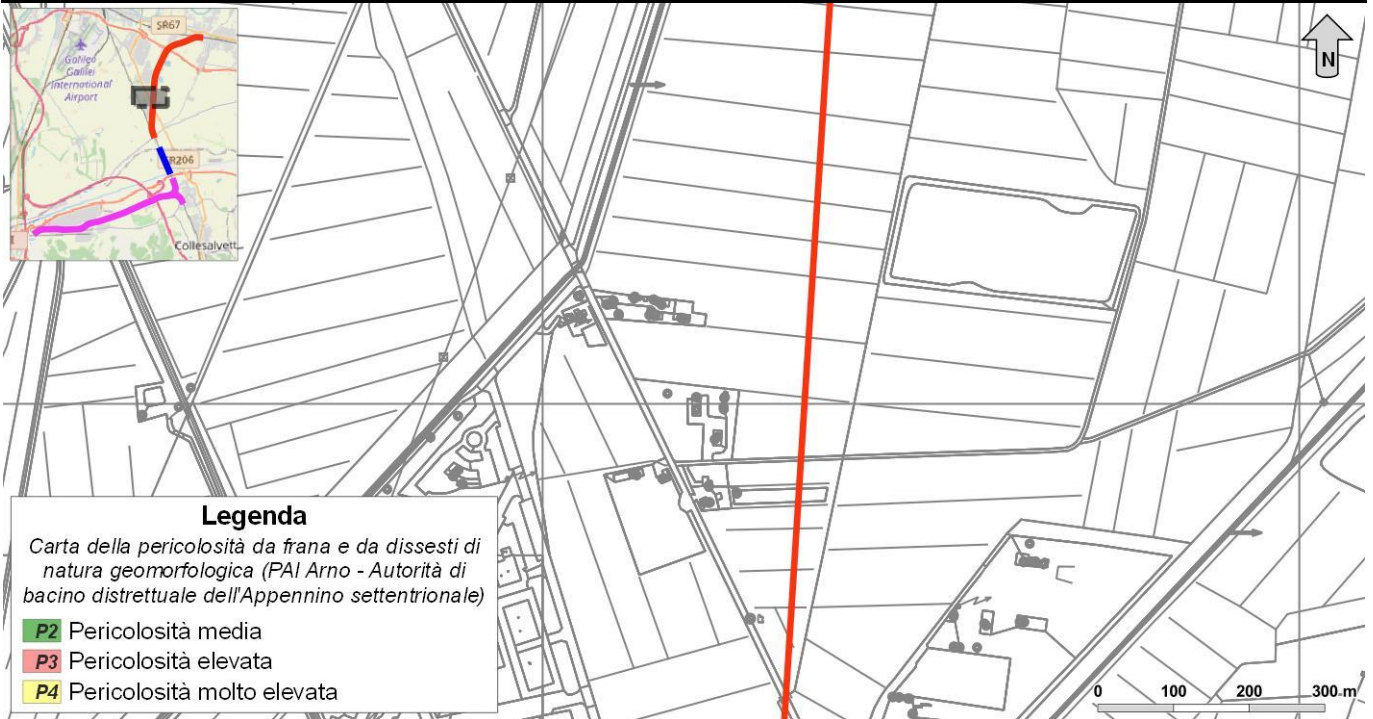


Figura 18 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	29 di 122

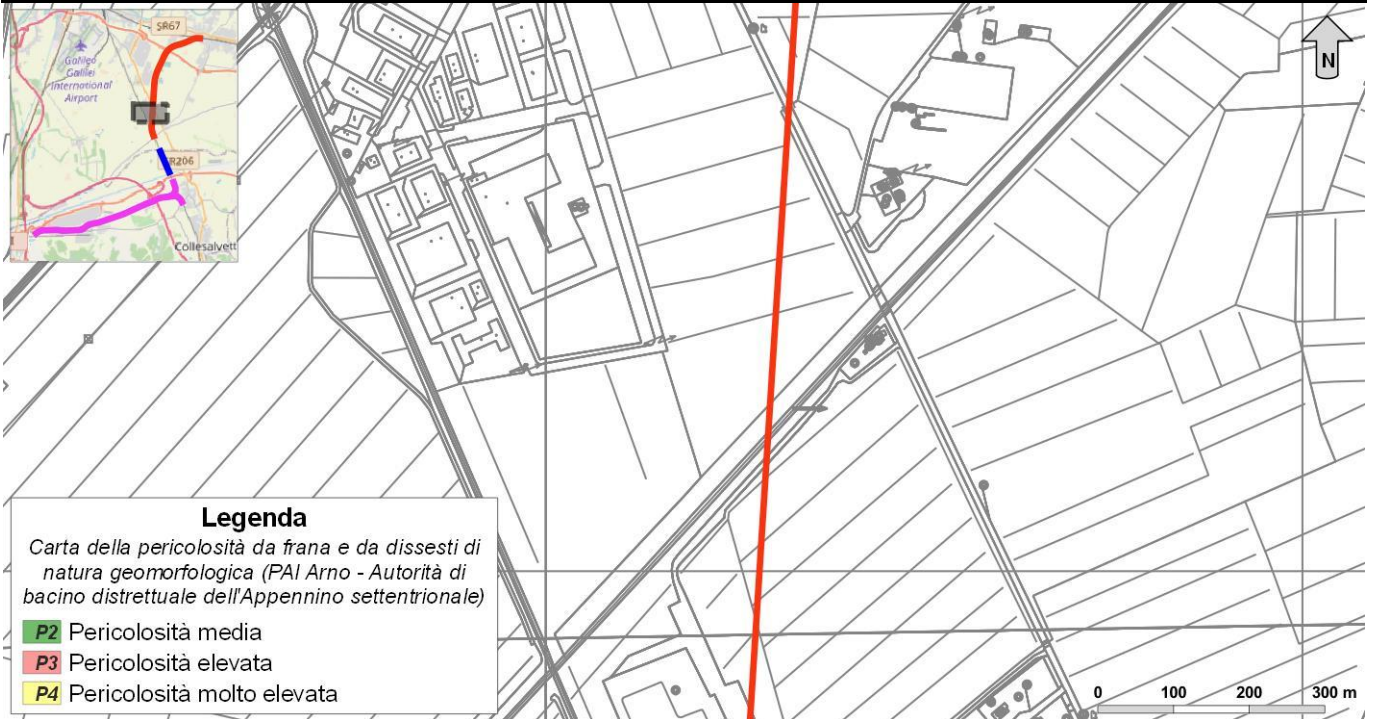


Figura 19 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	30 di 122

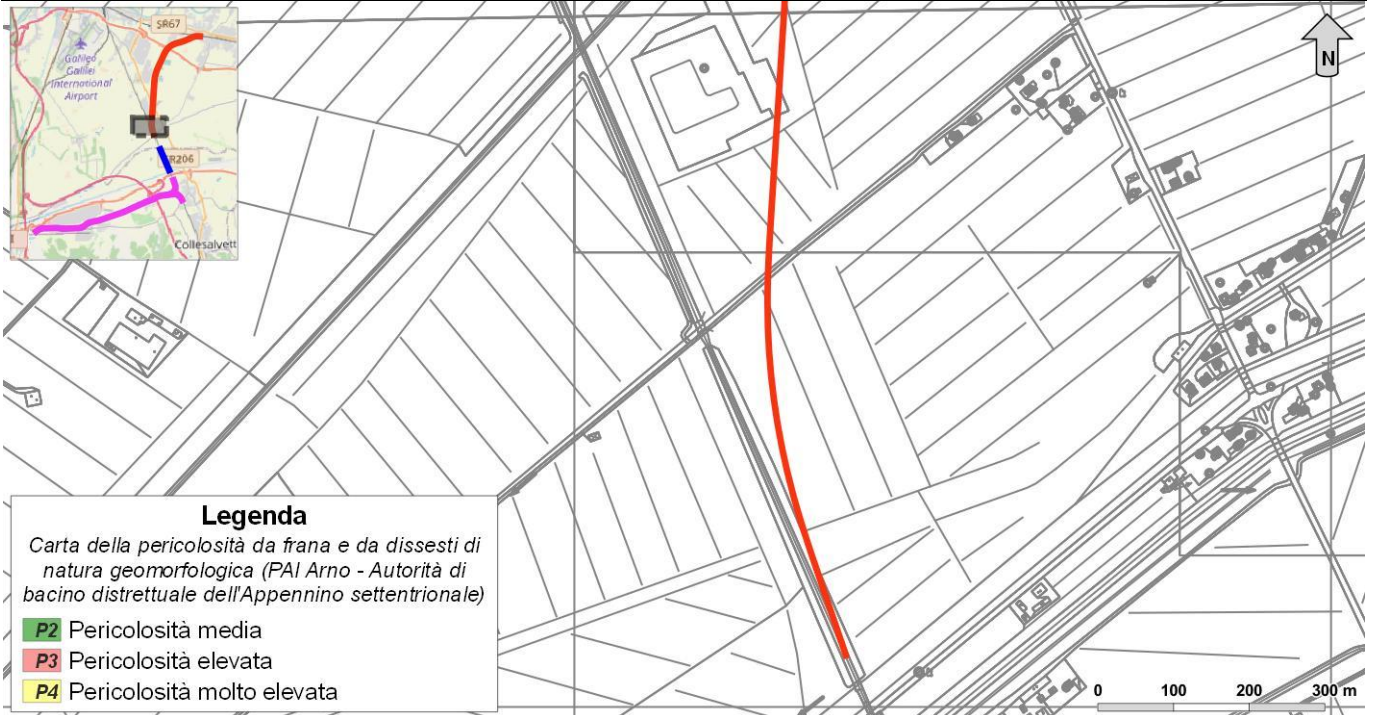


Figura 20 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	31 di 122

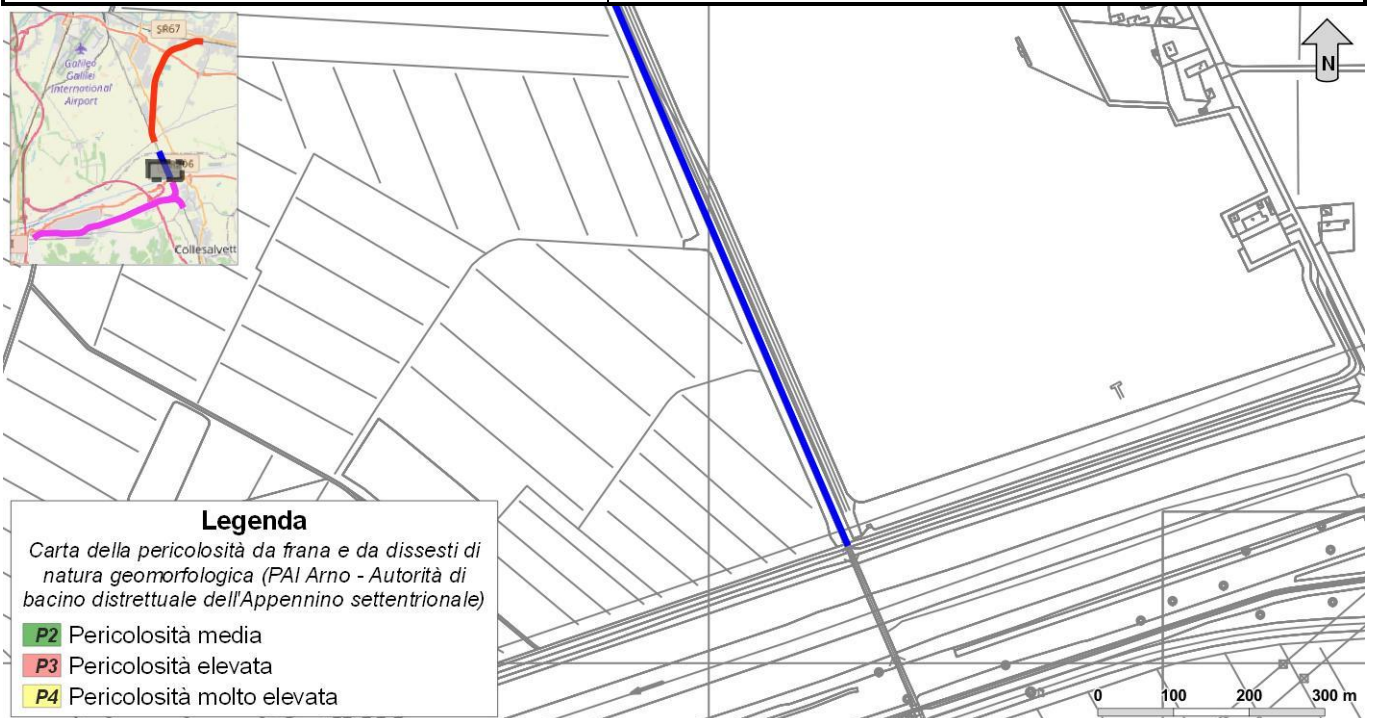


Figura 21 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	32 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

- P2 Pericolosità media
- P3 Pericolosità elevata
- P4 Pericolosità molto elevata

Figura 22 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	33 di 122

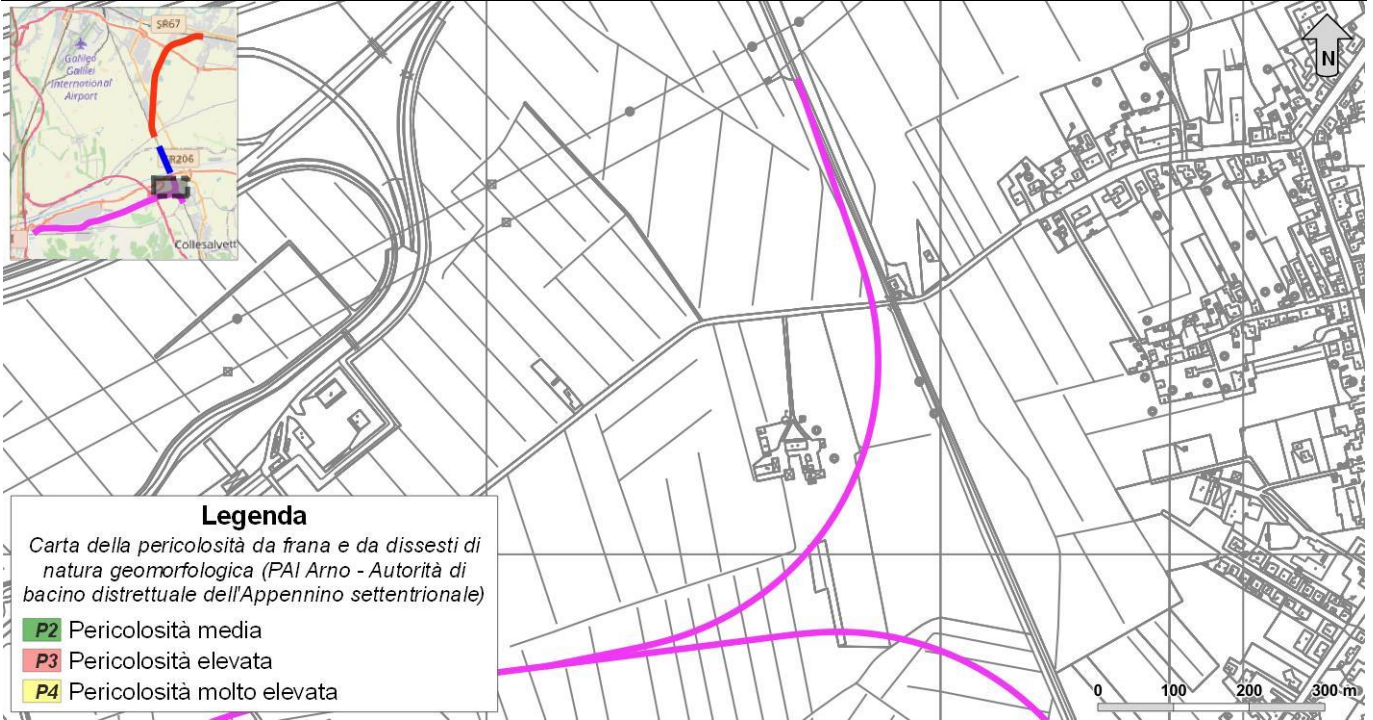


Figura 23 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	34 di 122

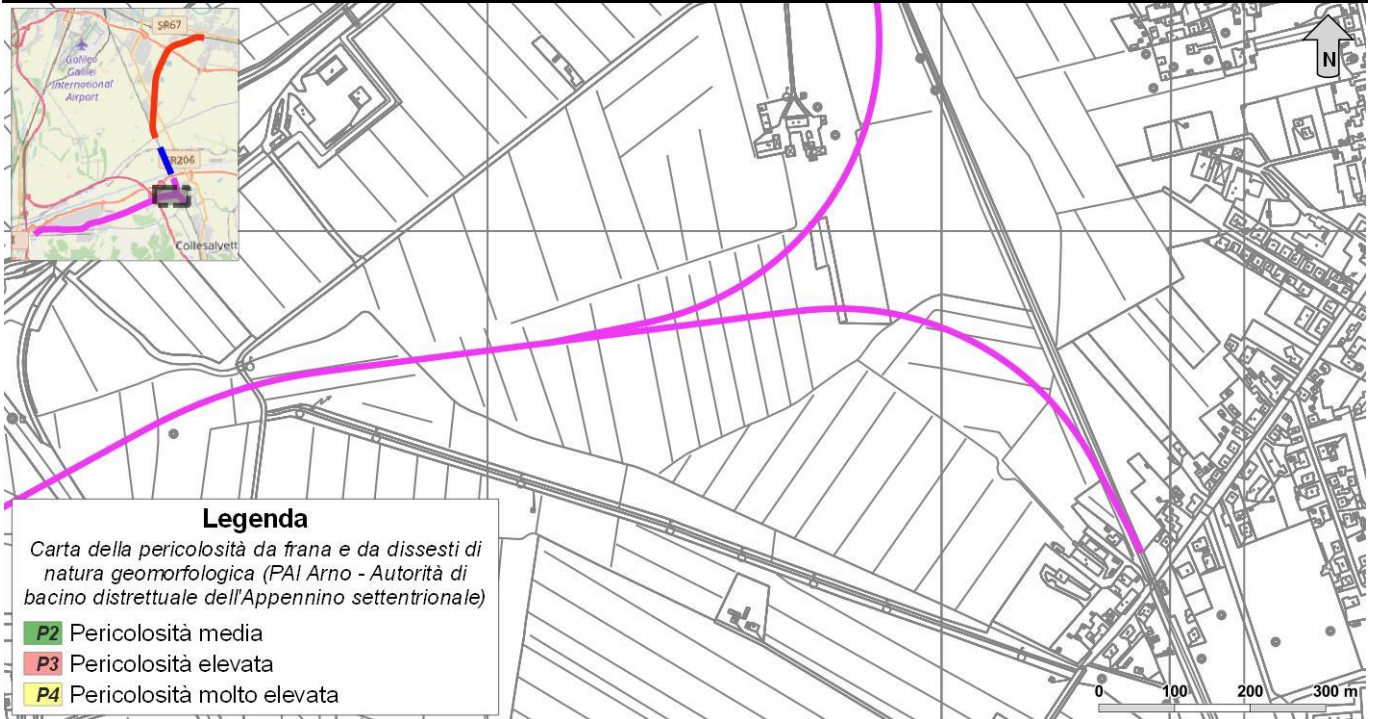


Figura 24 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	35 di 122

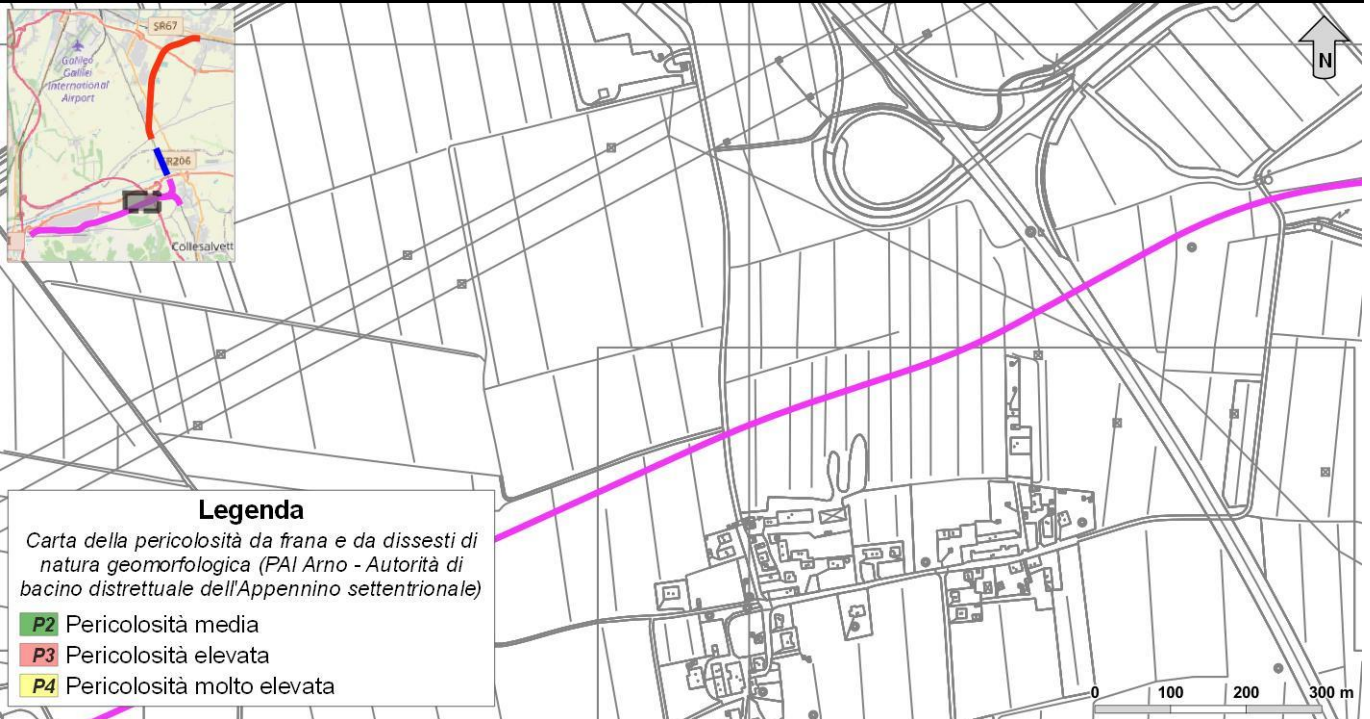


Figura 25 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	36 di 122

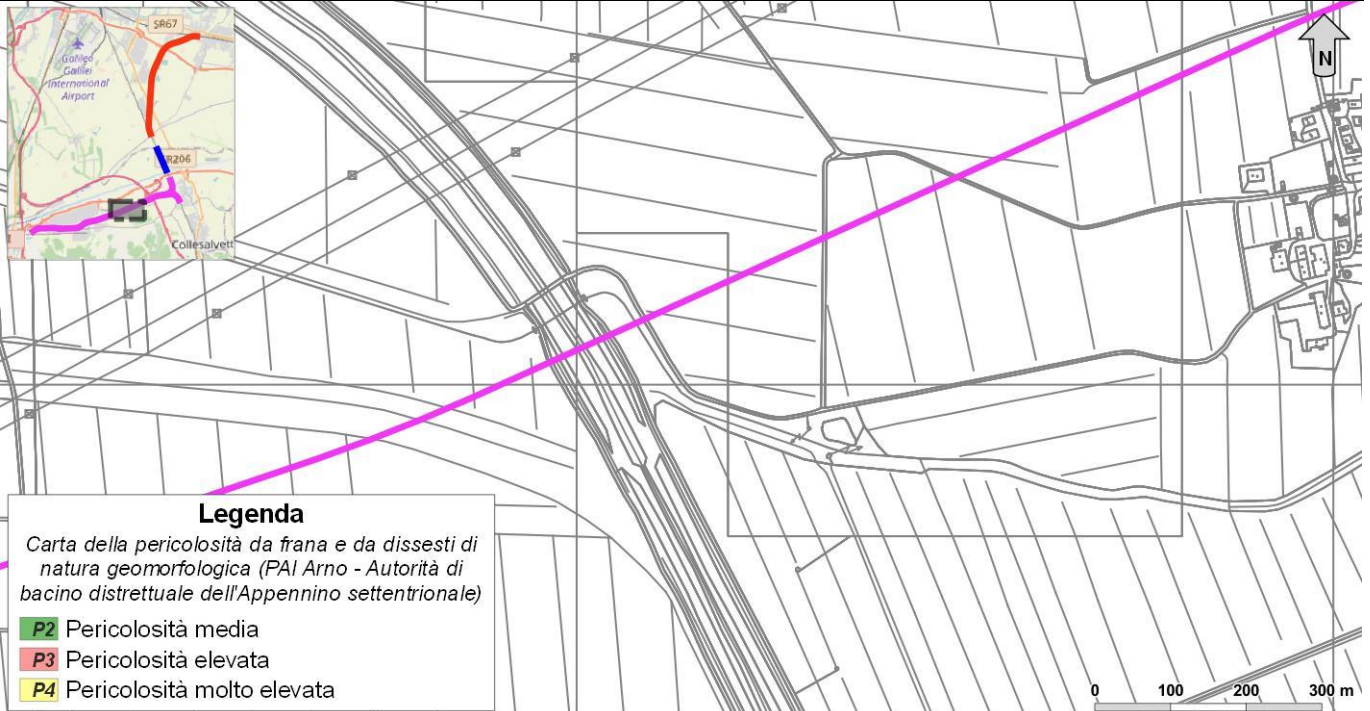


Figura 26 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	37 di 122

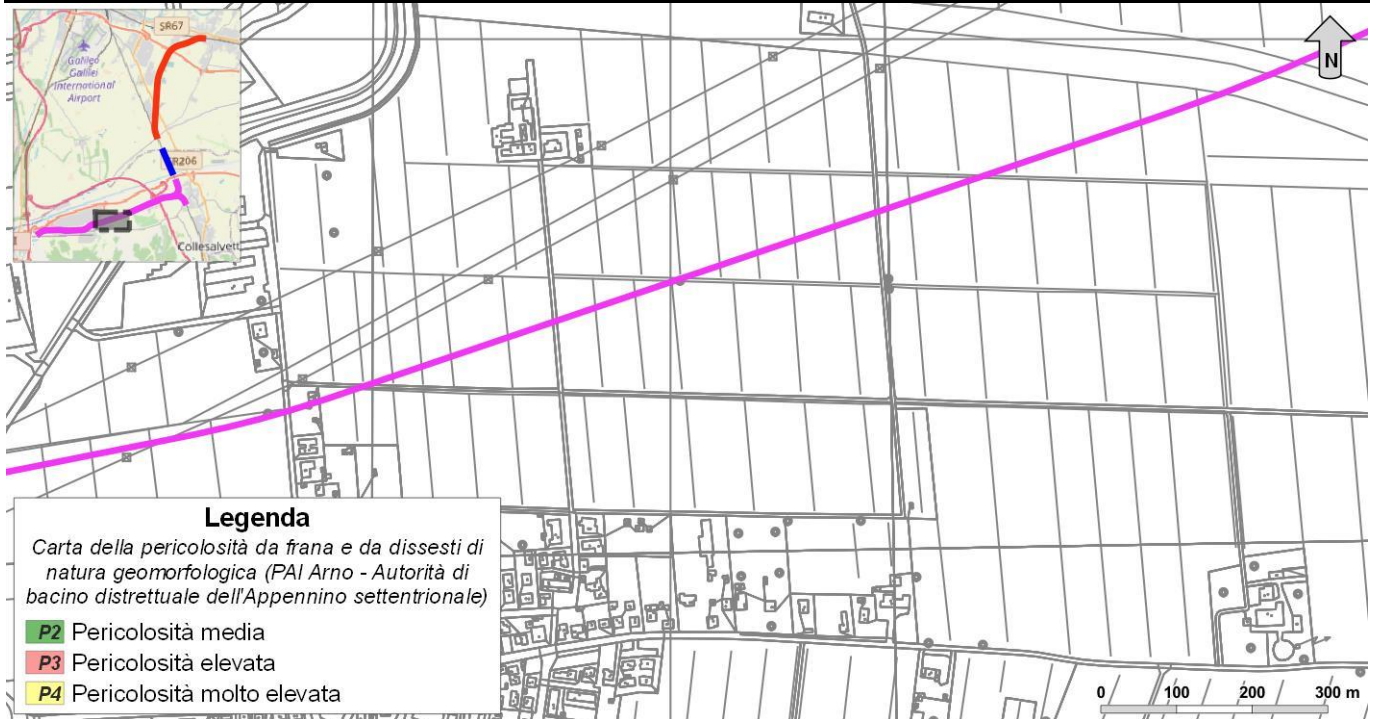


Figura 27 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	38 di 122

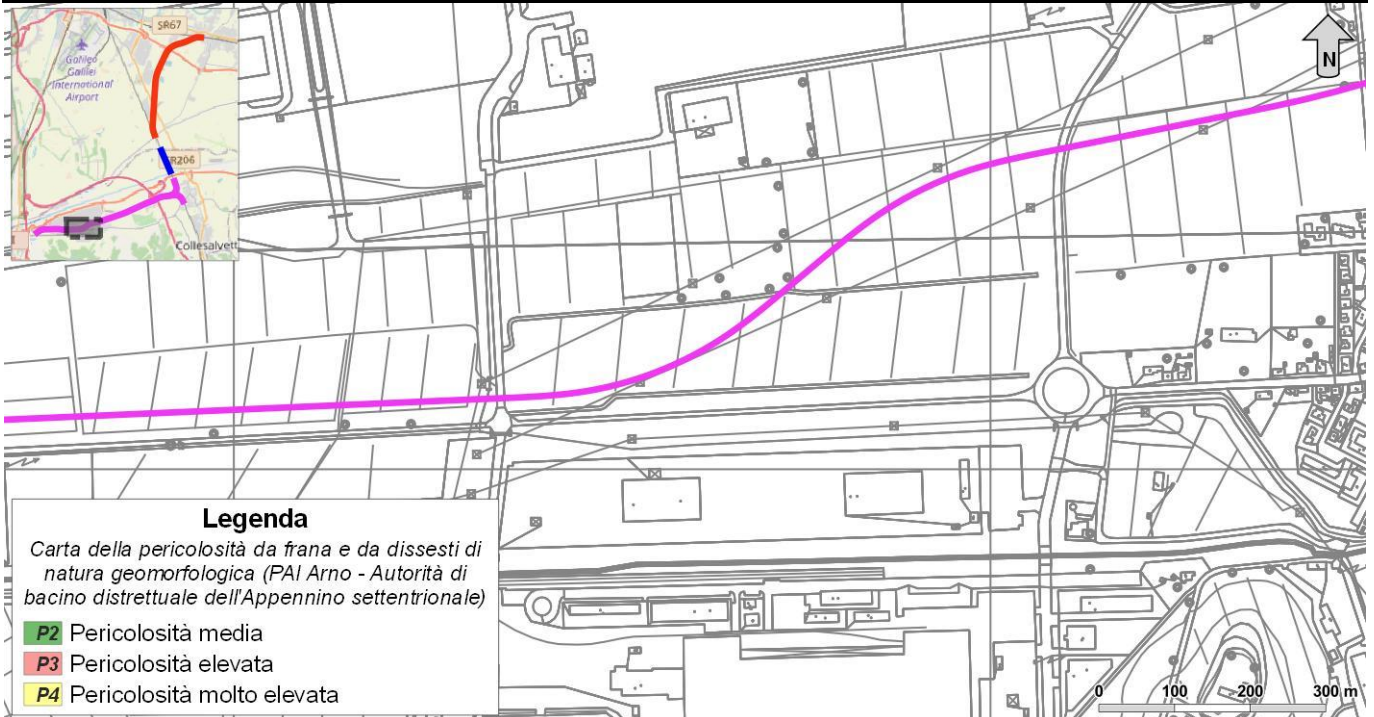


Figura 28 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	39 di 122

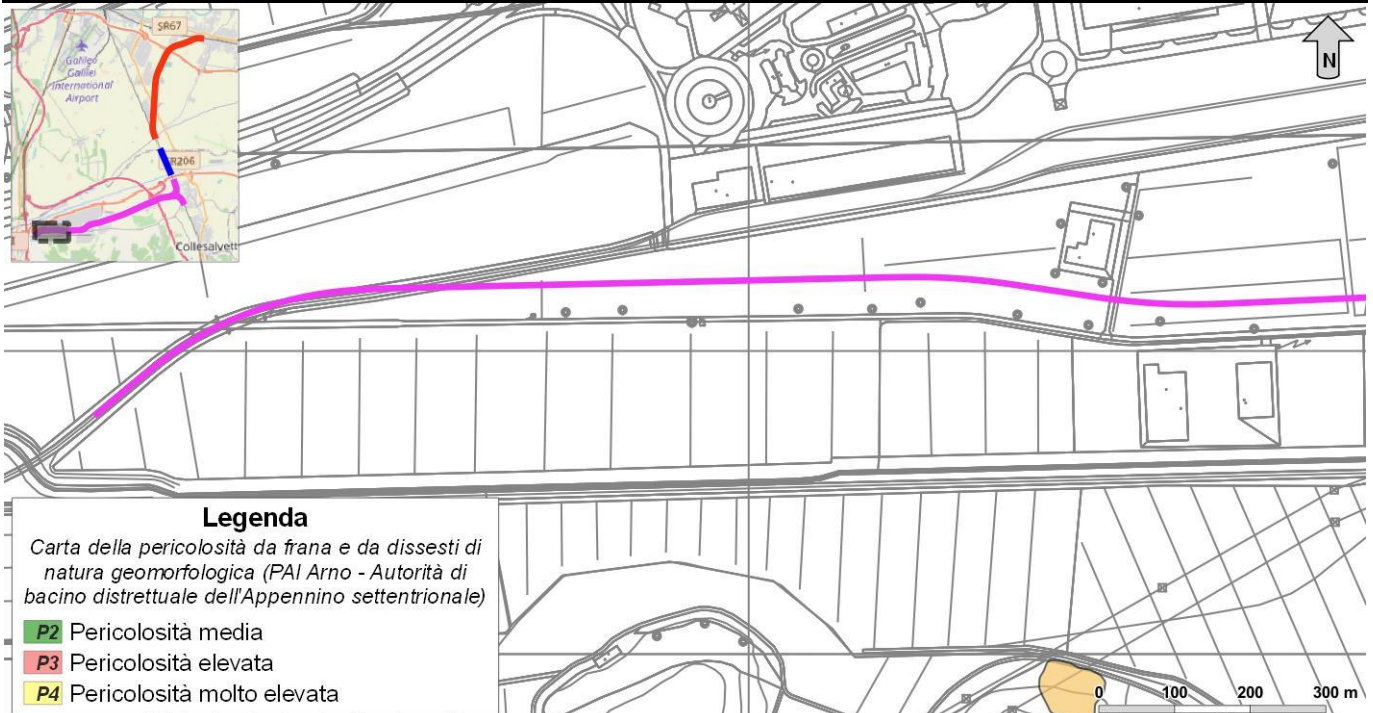


Figura 29 - Stralcio della carta della pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2020, con individuazione delle opere in progetto.

Dal punto di vista idraulico, le cartografie dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno distretto dell'Appennino Settentrionale riportano la presenza di aree di pericolosità da alluvione variabile tra media e molto elevata (Figura 30 - Figura 45).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	40 di 122



Figura 30 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	41 di 122

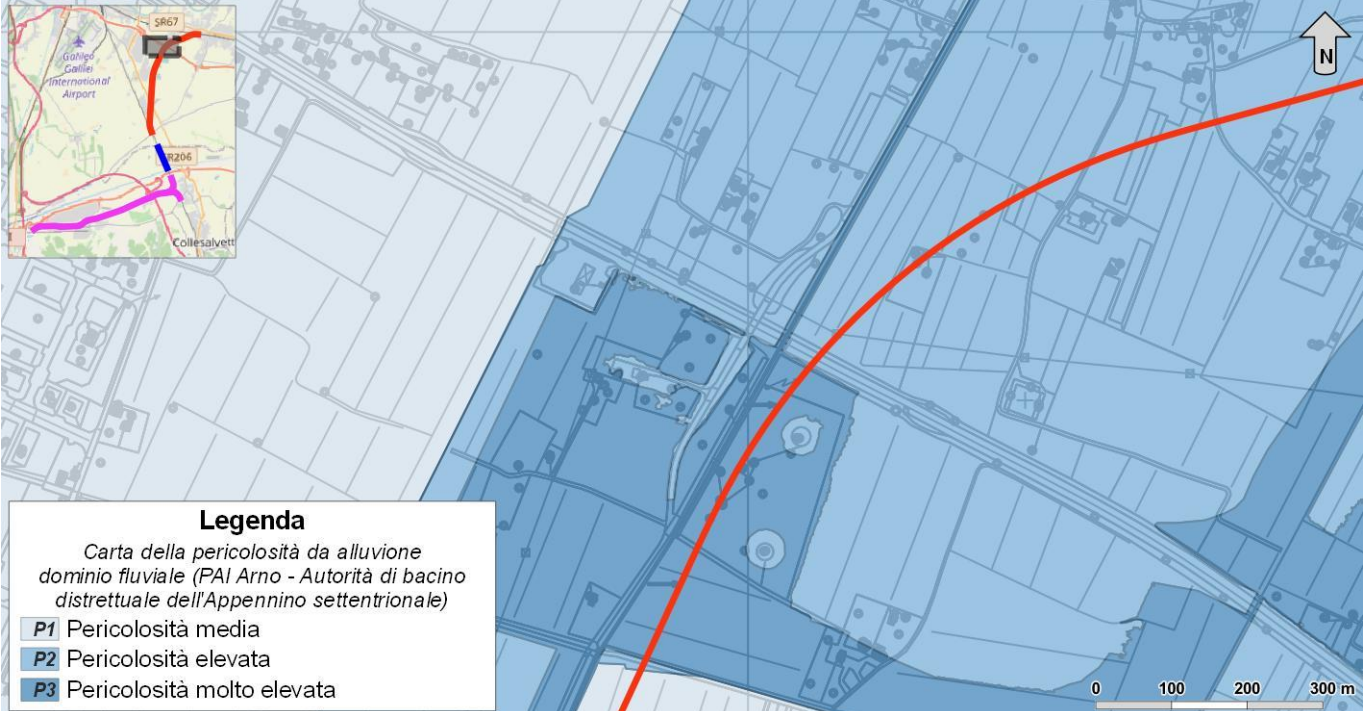


Figura 31 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	42 di 122



Figura 32 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	43 di 122



Figura 33 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	44 di 122

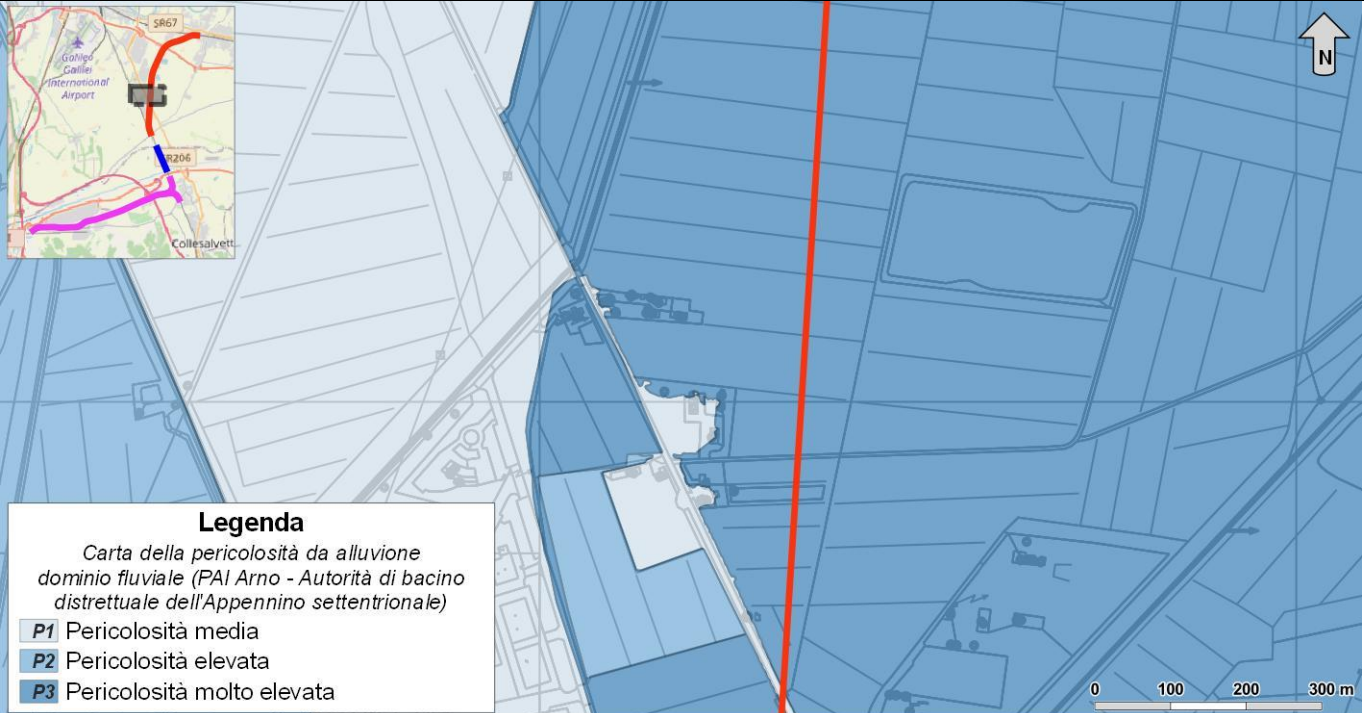


Figura 34 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	45 di 122



Figura 35 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	46 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

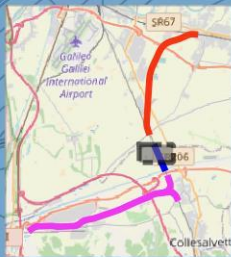
- P1 Pericolosità media
- P2 Pericolosità elevata
- P3 Pericolosità molto elevata

Figura 36 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	47 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

- P1** Pericolosità media
- P2** Pericolosità elevata
- P3** Pericolosità molto elevata

Figura 37 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	48 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

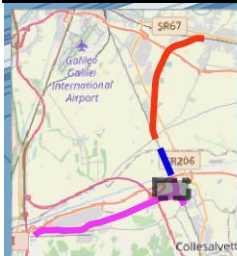
- P1** Pericolosità media
- P2** Pericolosità elevata
- P3** Pericolosità molto elevata

Figura 38 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	49 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

- P1** Pericolosità media
- P2** Pericolosità elevata
- P3** Pericolosità molto elevata

Figura 39 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	50 di 122

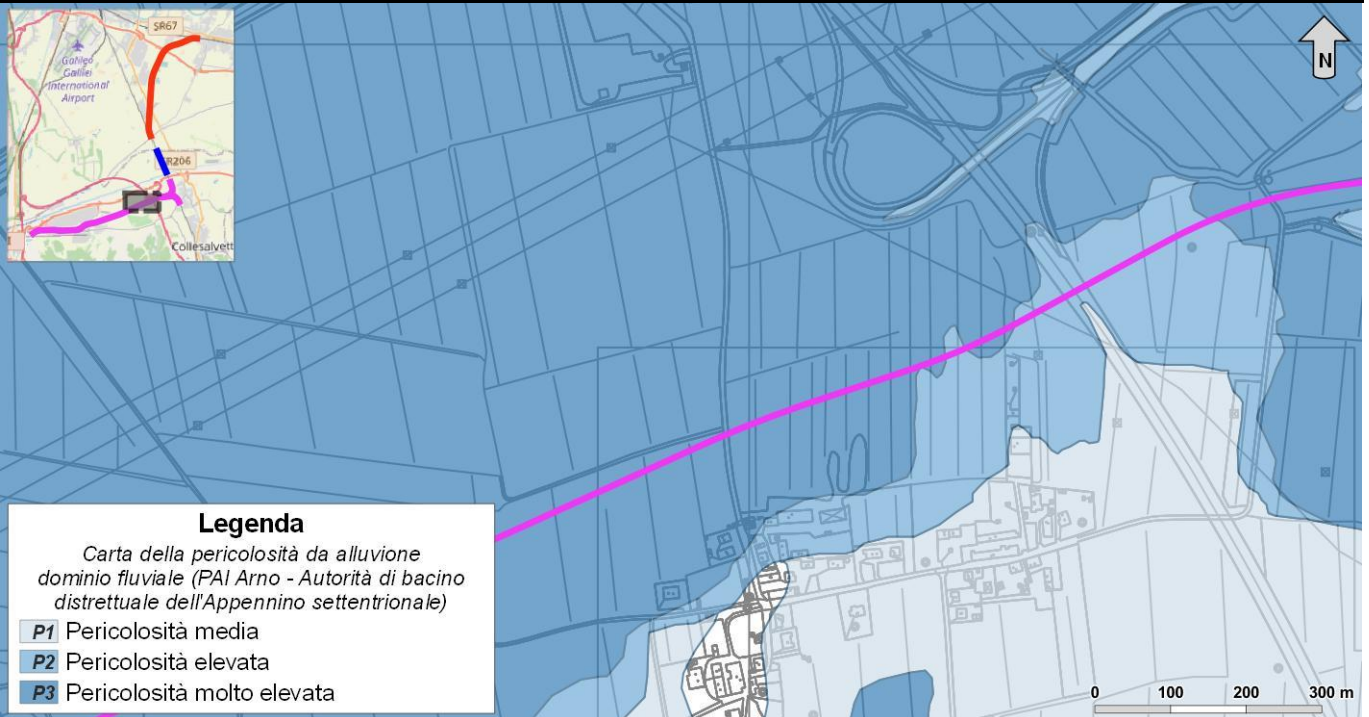
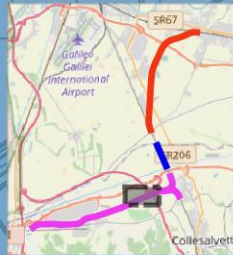


Figura 40 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	51 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione
dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino
distrettuale dell'Appennino settentrionale)

- P1** Pericolosità media
- P2** Pericolosità elevata
- P3** Pericolosità molto elevata

Figura 41 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	52 di 122

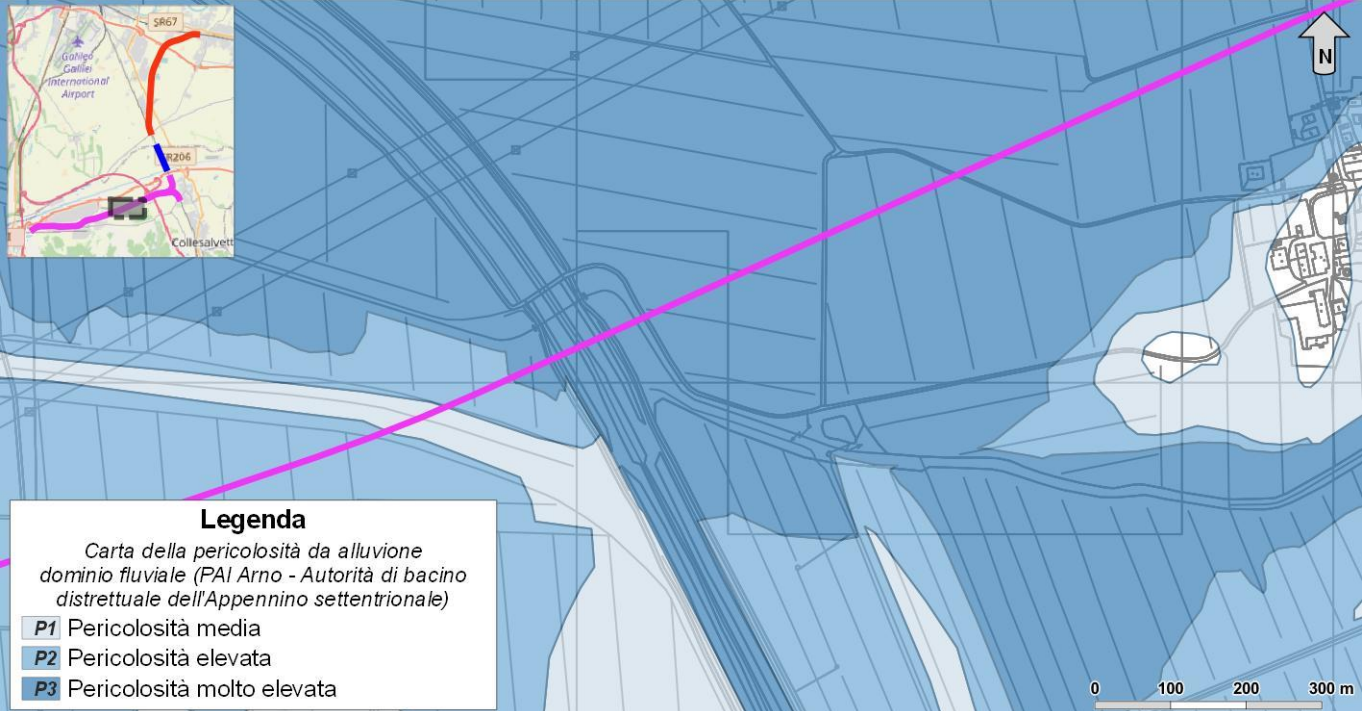


Figura 42 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	53 di 122

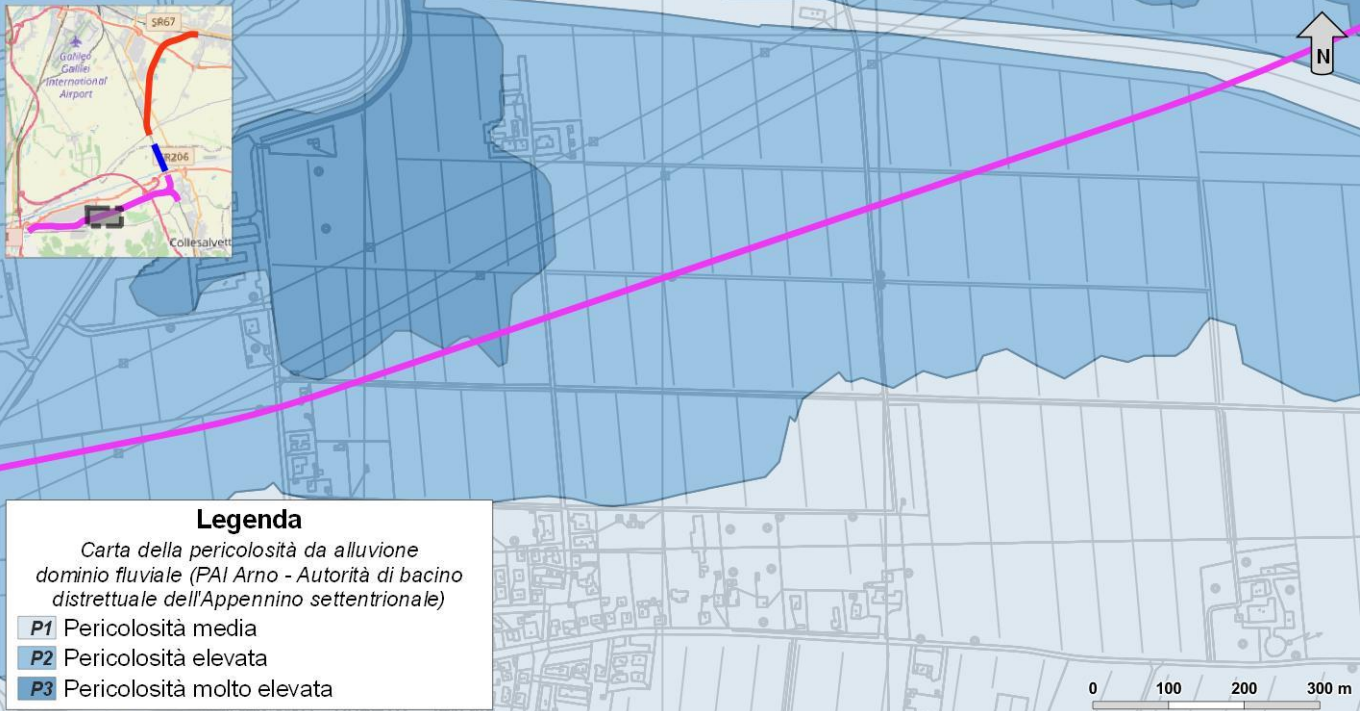


Figura 43 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	54 di 122



Legenda

Carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (PAI Arno - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale)

- P1** Pericolosità media
- P2** Pericolosità elevata
- P3** Pericolosità molto elevata

Figura 44 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	55 di 122

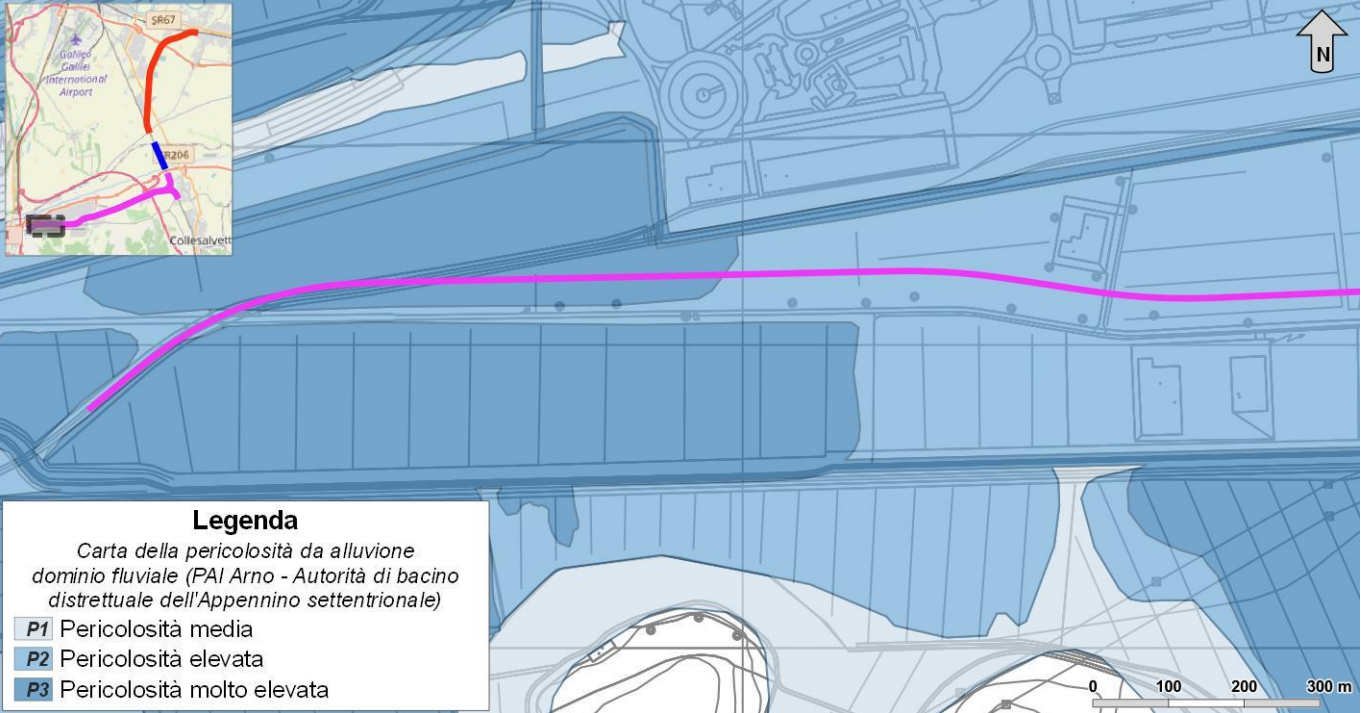


Figura 45 - Stralcio della carta della pericolosità da alluvione dominio fluviale (Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale) revisione 2019, con individuazione delle opere in progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel corso dello studio sono state consultate e analizzate tutte le indagini geognostiche reperite per il settore di territorio interessato dagli interventi in progetto. L'intero *set* di dati derivanti dalle indagini di sito ha permesso di configurare un quadro di conoscenze soddisfacente, in relazione alla specifica fase di approfondimento progettuale, circa l'assetto litostratigrafico e geologico-strutturale dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

In particolare, sono state consultate ed analizzate le indagini geognostiche derivanti dalla presente campagna indagini Italferr 2020.

Inoltre, sono stati reperiti i dati di indagini geognostiche precedentemente realizzate nei settori di intervento per differenti studi (Cascina Piano strutturale, Guasticce, Interporto, ISPRA WebGis Regione Toscana). Complessivamente, le indagini sono composte da:

- n. 38 sondaggi geognostici a rotazione, di cui 23 non attrezzati, 11 attrezzati con piezometro e 4 attrezzati per sismica in foro;
- n. 1 sondaggio geognostico a distruzione non attrezzato;
- n. 21 pozzi con stratigrafia;
- n. 154 prove penetrometriche di cui 104 statiche (CPT), 24 statiche con piezocono e cono sismico e 26 dinamiche (DP);
- n. 2 pozzetti esplorativi;
- n. 2 tomografie elettriche;
- n. 2 sismica tomografica a rifrazione per onde P e S;
- n. 10 prospezioni sismiche di superficie (MASW);
- n. 10 misure di microtremori (HVSr).

Nei paragrafi seguenti è riportata una sintesi delle indagini geognostiche relative ai settori di studio.

6.1 Sondaggi geognostici

Di seguito vengono elencati tutti i sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito di differenti lavori nei settori di studio, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003), quota, strumentazione, profondità (Prof), campioni (indisturbati I, rimaneggiati R, litoidi L e SPT), numero prove SPT, numero prove Lefranc/Lugeon (P), numero prove Dilatometriche (D) e numero prove Pressiometriche (Ps)).

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>	campioni				prove in foro			
	X	Y				I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S1	1611475	4828059	1.6	Piezometro	50.0	7	12	0	0	11	2	0	0
S2	1615059	4829040	1.8	Non attrezzato	33.0	4	6	0	0	10	2	0	0
S3	1615343	4829299	1.2	Piezometro	50.0	5	6	0	0	13	3	0	0
S4	1617288	4830294	2.5	Piezometro	50.0	5	6	0	0	13	3	0	0
S4bis	1616755	4832217	1.7	Piezometro	50.0	6	6	0	15	15	3	0	0

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	57 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	strumentazione	prof m	campioni				prove in foro			
	X	Y				I	R	L	SPT	SPT	P	D	Ps
S5	1616294	4834145	1.2	Piezometro	49.2	8	11	0	0	12	2	0	0
S6	1616737	4837011	1.2	Piezometro	50.0	5	6	0	0	12	3	0	0
Totale						40	53	0	15	86	18	0	0

Tabella 1 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini Italferr 2020, elencati in ordine alfa-numerico.

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato “Relazione esiti indagini in situ” (NF0Q 00 F 69 SG GE0000 001), mentre i punti di ubicazione sono riportati nell’allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:5000/500 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e nella Carta con ubicazione delle indagini in scala 1:5000 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	strumentazione	prof m
	X	Y			
127	1618283	4838551	4.0	Pozzo con stratigrafia	53.0
133	1618415	4838676	-	Pozzo con stratigrafia	-
134	1618483	4838708	-	Pozzo con stratigrafia	-
179	1619212	4838449	-	Non attrezzato (distruzione)	-
230	1617282	4838194	-	Pozzo con stratigrafia	-
231	1617482	4838226	-	Pozzo con stratigrafia	-
232	1617395	4838101	3.0	Pozzo con stratigrafia	44.0
233	1617485	4838165	4.0	Pozzo con stratigrafia	48.0
234	1617505	4838197	-	Pozzo con stratigrafia	-
235	1617550	4838198	4.0	Pozzo con stratigrafia	48.0
243	1618964	4838100	-	Pozzo con stratigrafia	-
246	1619056	4837978	-	Pozzo con stratigrafia	-
631	1616062	4834903	3.0	Pozzo con stratigrafia	69.0
633	1616211	4834009	0.5	Pozzo con stratigrafia	155.5
683	1616335	4832593	0.5	Non attrezzato	10.0

Tabella 2 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini Cascina Piano strutturale, elencati in ordine alfa-numerico.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	strumentazione	prof m
	X	Y			
S1_Guasticce	1612569	4827920	-	Sismica in foro	-

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	58 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>
	X	Y			
SO_sz1_2	1612651	4827829	-	Non attrezzato	-
SO_sz50_1	1612380	4827971	-	Non attrezzato	-
SO_sz50_3	1612560	4827776	-	Non attrezzato	-

Tabella 3 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini Guasticce, elencati in ordine alfa-numerico.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>
	X	Y			
livorno-1	1611399	4828259	1.2	Piezometro	40.0
livorno-2	1611382	4828340	-	Non attrezzato	-
livorno-3	1612344	4828575	-	Piezometro	-
livorno-4	1610037	4827786	-	Piezometro	-
livorno-5	1610313	4828018	2.0	Piezometro	60.0
livorno-6	1610110	4828021	0.8	Piezometro	70.0

Tabella 4 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini Interporto, elencati in ordine alfa-numerico.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>
	X	Y			
190250	1616151	4829404	-	Pozzo con stratigrafia	-
190252	1616335	4829282	-	Pozzo con stratigrafia	-
190755	1617979	4830352	-	Pozzo con stratigrafia	-
190758	1617936	4830183	-	Pozzo con stratigrafia	-

Tabella 5 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini Ispra, elencati in ordine alfa-numerico.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>
	X	Y			
DH_sz167_1	1613405	4828215	-	Sismica in foro	-
DH_sz169_1	1612393	4828195	-	Sismica in foro	-
DH_sz86_S2	1612388	4828202	-	Sismica in foro	-
PZ_sz133_1	1615309	4828908	-	Pozzo con stratigrafia	-
PZ_sz77_1	1616345	4829277	-	Pozzo con stratigrafia	-
PZ_sz79_1	1616300	4829254	-	Pozzo con stratigrafia	-
PZ_sz93_1	1611005	4828577	-	Pozzo con stratigrafia	-
SO_4809	1616108	4836683	2.2	Non attrezzato	10.0
SO_4810	1616121	4836541	1.5	Non attrezzato	10.0
SO_5753	1616088	4835824	2.0	Non attrezzato	90.0

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	59 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	strumentazione	prof <i>m</i>
	X	Y			
SO_5978	1615934	4836165	-	Non attrezzato	-
SO_6160	1615923	4836426	-	Non attrezzato	-
SO_6385	1616181	4836766	2.0	Non attrezzato	5.0
SO_6386	1616159	4836620	3.5	Non attrezzato	5.0
SO_8593	1615840	4834808	-	Non attrezzato	-
SO_9208	1615966	4834760	1.7	Non attrezzato	20.0
SO_9209	1615819	4834523	-	Non attrezzato	-
SO_9211	1616023	4834427	1.2	Non attrezzato	20.0
SO_9212	1615964	4834290	1.1	Non attrezzato	20.0
SO_sz1_7	1612642	4827750	-	Non attrezzato	-
SO_sz50_2	1612495	4827732	-	Non attrezzato	-
SO_sz75_1	1616834	4832146	1.8	Non attrezzato	15.0
SO_sz75_2	1617305	4831764	-	Non attrezzato	-
SO_sz75_3	1617464	4831333	2.3	Non attrezzato	15.0

Tabella 6 - Sintesi dei sondaggi geognostici disponibili dalla campagna indagini WebGis Regione Toscana, elencati in ordine alfa-numeric.

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato “Quaderno indagini pregresse” (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), mentre i punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:5000/500 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e nella Carta con ubicazione delle indagini in scala 1:5000 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

6.2 Prove penetrometriche

Di seguito vengono elencati tutte le prove penetrometriche eseguite nell'ambito di ogni singola fase progettuale, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003), quota, tipologia di prova, profondità).

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	tipologia di prova	profondità <i>m</i>
	X	Y			
SCPTU 1	1611401	4828078	1.2	CPT	30.0
SCPTU 2	1613317	4828496	1.3	CPT	20.0
SCPTU 3	1614559	4828825	1.0	CPT	19.9
SCPTU 4	1615086	4829021	1.7	CPT	30.0
SCPTU 5	1615498	4829273	1.0	CPT	28.0

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	60 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	tipologia di prova	profondità <i>m</i>
	X	Y			
SCPTU 6	1615963	4829492	1.6	CPT	20.0
SCPTU 7	1616664	4829814	3.0	CPT	20.0
SCPTU 8	1617219	4830271	2.2	CPT	18.9
SCPTU 9	1617125	4829904	5.7	CPT	13.5
SCPTU 10	1617066	4829583	3.5	CPT	19.8
SCPTU 11	1617531	4829878	4.1	CPT	20.0
SCPTU 12	1617134	4831206	2.9	CPT	20.0
SCPTU 13	1616798	4832002	0.6	CPT	19.9
SCPTU13A	1616655	4832333	2.0	CPT	30.0
SCPTU13B	1616551	4832592	1.0	CPT	29.8
SCPTU 14	1616418	4832882	3.7	CPT	20.0
SCPTU 15	1616249	4834092	0.9	CPT	20.0
SCPTU 16	1616387	4834904	0.5	CPT	23.0
SCPTU 17	1616392	4835679	0.7	CPT	20.0
SCPTU 18	1616514	4836414	1.2	CPT	20.0
SCPTU 19	1616765	4836959	1.6	CPT	22.1
SCPTU 20	1617222	4837718	2.2	CPT	20.0
SCPTU 21	1617623	4837886	1.8	CPT	20.0
SCPTU 22	1618169	4838078	2.4	CPT	20.0

Tabella 7 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini Errore. L'origine r
iferimento non è stata trovata., **elenate in ordine alfa-numerico.**

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota <i>m s.l.m.</i>	tipologia di prova
	X	Y		
104	1616309	4836642	1.2	CPT
121	1617955	4838603	-	CPT
122	1618014	4838567	-	CPT
123	1617962	4838531	-	CPT
125	1618205	4838552	-	CPT
126	1618203	4838566	-	CPT
135	1618553	4838702	-	CPT
137	1618430	4838562	-	CPT
139	1618431	4838496	-	DP
140	1618420	4838475	-	DP
141	1618801	4838527	-	CPT
142	1618816	4838519	-	CPT
143	1618790	4838504	-	CPT
144	1618758	4838498	-	CPT



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	61 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
145	1618875	4838640	-	CPT
146	1618882	4838657	-	CPT
147	1618898	4838652	-	CPT
148	1618917	4838681	-	CPT
176	1619200	4838548	-	CPT
177	1619209	4838492	-	CPT
178	1619242	4838555	-	CPT
180	1619328	4838387	-	CPT
225	1617235	4838346	-	CPT
226	1617515	4838179	2.4	CPT
227	1617406	4838218	-	CPT
228	1617340	4838095	2.5	CPT
229	1617503	4838058	2.4	CPT
237	1618482	4838348	3.5	DP
238	1618463	4838353	3.5	DP
240	1619025	4838257	-	CPT
241	1618888	4838187	-	CPT
242a	1619018	4838233	-	CPT
244	1618874	4838016	-	CPT
245	1619012	4838044	-	CPT
250	1619248	4838253	-	CPT
251	1619334	4838060	-	CPT
350	1617319	4837412	2.5	CPT
629	1616885	4836194	-	CPT
630	1616293	4835780	1.3	CPT
679	1616167	4832383	-	CPT
680	1616294	4832457	-	CPT
682	1616314	4832351	-	CPT

Tabella 8 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini Cascina Piano strutturale, elencate in ordine alfa-numerico.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
CPT_sz86_SCPT5 b	1612346	4828197	-	CPT
CPT_sz122_9	1617052	4831883	1.9	CPT
CPT_sz147_2	1612636	4828455	-	CPT
CPT_sz148_1	1610870	4828142	1.6	CPT

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	62 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
CPT_sz163_1	1617566	4830558	2.7	CPT
CPT_sz163_2	1617781	4830651	-	CPT
CPT_sz50_1	1612309	4827852	-	CPT
CPT_sz76_4	1617191	4831347	2.2	CPT
DP_sz106_1	1616082	4829281	-	DP
DP_sz106_2	1616081	4829295	-	DP
DP_sz141_1	1616073	4829378	-	DP
DP_sz141_2	1616076	4829367	-	DP
DP_sz163_1	1617648	4830538	2.9	DP
DP_sz163_2	1617690	4830559	-	DP
DP_sz163_3	1617694	4830653	3.1	DP
DP_sz97_1	1613471	4828890	-	DP
DP_sz98_3	1616129	4829295	-	DP

Tabella 9 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini Guasticce, elencate in ordine alfa-numeric.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
CPTU1	1611390	4828301	-	CPT
CPTU2	1612288	4828600	-	CPT
CPTU3	1612343	4828612	-	CPT
CPTU4	1610411	4828021	0.1	CPT
CPTU5	1610164	4827789	-	CPT
CPTU6	1609950	4827785	-	CPT

Tabella 10 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini Interporto, elencate in ordine alfa-numeric.

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
CPT_sz100_3	1611443	4828049	1.4	CPT
CPT_sz118_35	1617894	4830167	-	CPT
CPT_sz118_36	1617853	4830134	-	CPT
CPT_sz122_7	1617490	4831549	-	CPT
CPT_sz122_8	1617228	4831694	-	CPT
CPT_sz126_45	1613759	4828363	-	CPT
CPT_sz126_46	1613811	4828312	-	CPT
CPT_sz12_1	1613780	4828224	-	CPT
CPT_sz13_1	1618035	4829489	-	CPT
CPT_sz13_2	1617968	4829540	-	CPT



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	63 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
CPT_sz147_1	1612609	4828433	-	CPT
CPT_sz167_1	1613263	4828290	1.8	CPT
CPT_sz48_1	1612490	4827753	-	CPT
CPT_sz48_2	1612547	4827751	-	CPT
CPT_sz48_3	1612581	4827752	-	CPT
CPT_sz49_PA	1612618	4827885	-	CPT
CPT_sz49_PB	1612871	4827893	-	CPT
CPT_sz49_PC	1612357	4827888	-	CPT
CPT_sz49_PD	1612382	4828041	1.6	CPT
CPT_sz50_3	1612896	4827888	-	CPT
CPT_sz50_6	1612396	4828041	-	CPT
CPT_sz68_1	1618046	4829663	-	CPT
CPT_sz68_2	1618059	4829631	-	CPT
CPT_sz68_3	1618046	4829598	-	CPT
CPT_sz76_2	1617057	4831767	1.9	CPT
CPT_sz82_1	1618208	4829646	-	CPT
CPT_sz82_2	1618195	4829701	-	CPT
CPT_sz82_3	1618173	4829755	-	CPT
CPT_sz82_4	1618133	4829734	-	CPT
CPT_sz82_5	1618164	4829657	-	CPT
CPT_sz85_1	1613609	4828216	-	CPT
CPT_sz85_2	1613591	4828201	-	CPT
CPT_sz96_1	1613715	4828089	-	CPT
CPT_sz96_2	1613705	4828105	-	CPT
CPT_sz97_19	1613488	4828877	-	CPT
DP_sz136_3	1613789	4828119	-	DP
DP_sz13_3	1617951	4829507	-	DP
DP_sz13_4	1618054	4829538	-	DP
DP_sz13_5	1618013	4829523	-	DP
DP_sz13_6	1618036	4829462	-	DP
DP_sz13_7	1618092	4829481	-	DP
DP_sz144_1	1613640	4828332	-	DP
DP_sz144_2	1613647	4828335	-	DP
DP_sz144_3	1613642	4828320	-	DP
DP_sz25_1	1617984	4830506	-	DP
DP_sz33_1	1618014	4829621	-	DP
DP_sz33_2	1618034	4829626	-	DP



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	64 di 122

sigla	Monte Mario/Italy 1		quota m s.l.m.	tipologia di prova
	X	Y		
DP_sz98_2	1616121	4829315	-	DP
CPT_6934	1616090	4836340	1.9	CPT
CPT_6935	1616056	4836298	1.9	CPT
CPT_7376	1615942	4834949	-	CPT
CPT_7378	1615787	4834556	-	CPT
CPT_9203	1615888	4834646	-	CPT
CPT_9204	1615934	4834417	-	CPT
CPT_9206	1615889	4834271	-	CPT
CPT_9207	1616061	4834304	-	CPT
CPT_9210	1615905	4834534	-	CPT
CPT_9250	1616038	4836023	-	CPT
CPT_9251	1616088	4836016	-	CPT
CPT_9252	1616102	4836054	-	CPT
CPT_9253	1616056	4836064	-	CPT
CPT_9405	1616106	4835897	2.0	CPT
CPT_9406	1616095	4835851	-	CPT
CPT_9407	1616065	4835909	-	CPT
CPT_sz86_SCPT5a	1612331	4828280	-	CPT

Tabella 11 - Sintesi delle prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna indagini WebGis Regione Toscana, elencate in ordine alfa-numerico.

I certificati delle prove sono riportati nello specifico elaborato “Quaderno indagini pregresse” (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), mentre i punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:5000/500 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e nella Carta con ubicazione delle indagini in scala 1:5000 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

6.3 Indagini geofisiche

Nella Tabella 12 e nella Tabella 13 è riportata una sintesi di tutte le indagini geofisiche eseguite nell'ambito delle differenti campagne indagini, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003) del punto iniziale (a) e del punto finale (b) di ogni singolo stendimento, tipologia di indagine e lunghezza).

sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
ERT 1	1616583	4829816	1616418	4829762	Geoelettrica	177.5



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	65 di 122

sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
ERT 2	1616802	4837194	1616896	4837332	Geoelettrica	177.5
MASW 1	1613846	4828649	1613850	4828605	MASW	46.0
MASW 2	1615011	4829107	1615041	4829073	MASW	46.0
MASW 3	1616673	4829811	1616627	4829813	MASW	46.0
MASW 4	1617413	4830571	1617433	4830529	MASW	46.0
MASW 5	1616714	4832218	1616668	4832221	MASW	46.0
MASW 6	1616385	4834928	1616339	4834926	MASW	46.0
MASW 7	1616378	4836196	1616362	4836153	MASW	46.0
MASW 8	1616746	4837038	1616728	4836996	MASW	46.0
MASW 9	1617457	4837845	1617436	4837805	MASW	46.0
MASW 10	1618723	4838261	1618677	4838266	MASW	46.0
SRT 2	1617031	4837574	1616946	4837420	Rifrazione	177.5
SRT_1	1616442	4829684	1616565	4829753	Rifrazione	177.5

Tabella 12 - Sintesi delle indagini sismiche di superficie realizzate nell'ambito della presente campagna indagini Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., **elencate in ordine alfa-numeric.**

sigla	X	Y	tipologia indagine
HVSR 1	1613841	4828629	hvsr
HVSR 2	1615033	4829087	hvsr
HVSR 3	1616658	4829807	hvsr
HVSR 4	1617427	4830531	hvsr
HVSR 5	1616712	4832206	hvsr
HVSR 6	1616389	4834924	hvsr
HVSR 7	1616369	4836166	hvsr
HVSR 8	1616738	4837017	hvsr
HVSR 9	1617455	4837845	hvsr
HVSR 10	1618694	4838267	hvsr

Tabella 13 - Sintesi delle misure di microtremori realizzate nell'ambito della presente campagna indagini Italferr 2020, **elencate in ordine alfa-numeric.**

I certificati delle prove sono riportati nell'elaborato (NF0Q 00 F 69 IG GE0000 001), mentre i punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:5000/500 (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) e nella Carta con ubicazione delle indagini in scala 1:5000 (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

6.4 Pianificazione indagini geognostiche per la successiva fase di progettazione

A seguito della ricostruzione del modello geologico (Capitolo 9) e soprattutto in considerazione della presenza di una falda superficiale e della presenza di litologie compressibili, nella successiva fase di progettazione definitiva è opportuno approfondire ed affinare la conoscenza del sottosuolo.

Di seguito si riporta l'ubicazione dei sondaggi ritenuti utili da eseguire, suddivisi per le tre aree di progetto: area di Guasticce, area del Posto Movimento Il Faldo e area del Bypass Pisa.

Area di Guasticce

- N.1 sondaggio presso l'opera IV01 alla pk 0+200-0+300 ca (zona con lenti torbose).
- N.1 sondaggio presso IV02 alla pk 3+200 ca.
- N.1 alla pk 5+000 per il viadotto VI01.
- N.1 alla pk 6+100 per il nuovo viadotto "via del grano".
- N.1 sondaggio alla pk 7+500 (per indagare al meglio la formazione QVC1).

Area PM Faldo

- N.1 sondaggio baricentrico rispetto all'autoparco.

Area Bypass di Pisa

- N.1 sondaggio nella prima parte ovvero nella zona che va da inizio Bypass a inizio scolarari VI05.
- N.1 sondaggio sulla prosecuzione dell'opera VI05.
- N.1 sondaggio caratterizzante la parte centrale del Bypass, pk 3+000 ca.
- N.1 sondaggio in corrispondenza dell'opera VI06.

E' opportuno realizzare sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità di 70 metri al fine di indagare la presenza o meno delle formazioni di granulometria più grossolana e con valori migliori dei parametri geotecnici. Il sondaggio alla pk 7+500, nell'area di Guasticce, può essere fermato alla profondità di 30/35 metri.

Si ricorda, infine, che nella fase di PD si dovrà verificare l'effettiva posizione delle opere sopraindicate e, soprattutto, verificare se siano o meno previste nuove opere non presenti nell'attuale fase di progettazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

7 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

L'assetto stratigrafico dell'area di stretto interesse progettuale è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente condotta, dalle fonti bibliografiche reperite e dalle indagini di sito a disposizione.

7.1 Unità litostratigrafiche

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative a successioni sedimentarie di substrato e a coperture recenti. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti dal rilevamento geologico di superficie e dalle indagini geognostiche a disposizione. La sintesi del modello geologico di riferimento è riportata nella "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico" (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Il locale assetto litostratigrafico presenta un assetto sostanzialmente regolare. Le opere del collegamento Guasticce – linea Pisa - Vada (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e del collegamento Guasticce – Linea Pisa - Vada – ramo sud (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) intercettano i terreni limo-argillosi e più raramente sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali, con uno spessore che varia da 1.0 a 55 m, in appoggio direttamente sulla Formazione di Casa Poggio ai Lecci ad ovest, e sulla Formazione di Vicarello ad est. Tali depositi, che presentano all'interno rare lenti di limi argillosi torbosi e frequenti lenti di sabbie limose, sono a luoghi ricoperti da coltri di riporto, con uno spessore massimo di 4 m. Nel settore sud-orientale, le opere intercettano i depositi sabbioso-limosi della Formazione di Vicarello, con spessori superiori ai 20 m.

Le opere relative la tratta l'Autoparco il Faldo sono interessate dai terreni limo-argillosi e in modo limitato dai terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali, con uno spessore che varia da 42 a 48 m, in appoggio direttamente sulla Formazione di Casa Poggio ai Lecci. Tali depositi sono a tratti ricoperti da terreni di riporto, con uno spessore massimo di 6 m e presentano all'interno lenti sabbioso-limose (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Le opere relative al Bypass di Pisa, intercettano i terreni limo-argillosi e più raramente sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali, con uno spessore che varia da 40.0 a 78.0 m. Tali depositi nel tratto più meridionale sono in appoggio direttamente sulla Formazione di Casa Poggio ai Lecci e a luoghi sono ricoperti da coltri di riporto, con uno spessore massimo di 5 m. All'interno dei depositi alluvionali limo-argillosi si rinvencono lenti sabbioso-limose e limo-argilloso (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Di seguito vengono descritte, in maniera dettagliata e puntuale, tutte le singole unità litostratigrafiche individuate nel settore d'intervento.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 68 di 122

7.1.1 *Formazione delle Argille Azzurre*

Tale unità non affiora direttamente nell'area di studio e rappresenta il substrato geologico dell'area che si rinviene ad oltre 48 m dal p.c.. Si tratta di depositi marini di ambiente neritico e batiale, costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area e presentano uno spessore massimo di circa 900 m. Dal punto di vista cronostratigrafico i depositi in esame sono ascrivibili al periodo Pliocene inferiore – Pliocene superiore.

Sotto il profilo sedimentologico, si tratta di argille limose, limi argillosi e argille sabbiose di colore grigio e grigio-azzurro (FAA), talora da debolmente marnose a marnose, mal stratificate e localmente fossilifere, con sporadici orizzonti torbosi e frequenti livelli limoso-sabbiosi e sabbioso-argillosi di spessore millimetrico e centimetrico; a luoghi è presente un intervallo di sabbie gradate medio-grosse di colore giallo ocra, da sciolte a mediamente cementate, in potenti livelli a geometria lenticolare.

7.1.2 *Formazione di Casa Poggio ai Lecci*

La formazione in esame affiora unicamente nel settore sud-occidentale dell'area di studio, in corrispondenza di località Poggio a' Lecci. Si tratta di depositi continentali di canale tipo *braided*, con diffusi episodi di trasporto di massa, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulla Formazione delle Argille Azzurre e presentano uno spessore massimo di circa 20 m. Tali depositi sono riferibili al Pleistocene medio.

Sotto il profilo litologico, questi terreni sono formati prevalentemente da ghiaie poligeniche ed eterometriche (QPL), da sub-arrotondate ad arrotondate, con locali ciottoli sub-arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono lenti di conglomerati poligenici moderatamente cementati e passaggi di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a stratificazione indistinta o incrociata, con abbondanti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

7.1.3 *Formazione di Vicarello*

Questi terreni affiorano unicamente nel settore sud-orientale dell'area di studio, in corrispondenza di località Mortaiolo e Vicarello. Si tratta di depositi continentali di duna e cordone litoraneo, con frequenti episodi fluviali di piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulla Formazione di Casa Poggio ai Lecci e mostra uno spessore massimo di circa 40 m. Tale formazione è riferibile al Pleistocene superiore.

Dal punto di vista litologico, si tratta di sabbie fini di colore grigio e giallastro (QVC), a stratificazione incrociata, con locali frammenti fossili e diffusi passaggi di limi sabbiosi dello stesso colore; sono presenti frequenti intercalazioni di argille limose e limi argillosi di colore grigio, nocciola e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, ricche di materiale organico vegetale e con locali orizzonti torbosi e sabbioso-limosi.

7.1.4 *Depositi alluvionali*

Tali depositi affiorano diffusamente in tutta l'area di studio. Si tratta di depositi continentali canale fluviale, argine, piana inondabile e meandro abbandonato, costituiti da tre differenti litofacies a composizione sabbioso-limosa, limoso-argillosa e torboso-limosa. Sono parzialmente eteropici ai Depositi palustri e poggiano in contatto stratigrafico discordante sulla Formazione di Vicarello e sulla Formazione di Casa Poggio ai Lecci e presentano uno spessore massimo di circa 80 m. Dal punto di vista cronostratigrafico i depositi in esame sono ascrivibili al periodo Olocene – Attuale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

La facies a composizione sabbioso-limosa è formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro (**bb2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali frammenti fossili e sporadiche ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvengono orizzonti torbosi, con spessore da millimetrico a centimetrico, e passaggi di argille limose e argille sabbiose di colore grigio e nocciola, a struttura indistinta o debolmente laminata.

La facies limoso-argillosa è formata da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e avana (**bb3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali frammenti fossili e materiale organico vegetale; a luoghi si rinvengono orizzonti torbosi, con spessore da millimetrico a centimetrico, e passaggi di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio scuro, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadiche ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

La litofacies a composizione torboso-limosa è formato da torbe e limi argillosi di colore grigio scuro e nerastro (**bb4**), a struttura indistinta, con diffusi frammenti fossili e locali resti di legno; a luoghi sono presenti orizzonti di argille limose, limi sabbiosi e sabbie di colore grigio e marrone scuro, a struttura indistinta o debolmente laminata, ricche di materiale organico vegetale.

7.1.5 *Depositi palustri*

Questi terreni affiorano nel settore meridionale dell'area di studio, nei pressi di Fosso la Tora. Si tratta di depositi continentali di palude e specchio d'acqua dolce, costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-limosa. Sono parzialmente eteropici ai Depositi alluvionali. I depositi in questione presentano uno spessore massimo di circa 15 m e sono riferibili all'intervallo Olocene - Attuale.

Sotto il profilo sedimentologico, si tratta di argille e argille limose di colore grigio scuro e nerastro (**e3**), a struttura laminata o sottilmente stratificata, ricche di materiale organico vegetale, con frequenti livelli limoso-sabbiosi di spessore millimetrico; a luoghi si rinvengono orizzonti torbosi, con spessore da centimetrico a decimetrico, e passaggi di limi grigi e marroni.

7.1.6 *Riperti antropici*

I depositi in esame si rinvengono diffusamente nell'area di intervento. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi palustri e sui Depositi alluvionali. Sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 5 m e sono interamente ascrivibili al periodo Attuale.

Sotto il profilo litologico, questi terreni sono formati prevalentemente da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**h**), da angolose a sub-arrotondate, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e nocciola, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di argille sabbiose e sabbie argilloso-limose di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e diffuse ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

7.2 **Livelli piezometrici**

Nelle analisi idrogeologiche sono stati utilizzati i dati del livello idrico sotterraneo riportati negli studi bibliografici o rilevati nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche e nelle prove di dissipazione delle pressioni interstiziali (Tabella 14) congiuntamente al monitoraggio piezometrico eseguito da settembre 2020 a novembre 2020 (Tabella 15).



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	70 di 122

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrati nel corso di esecuzione delle prove penetrometriche statiche, con indicazione delle principali caratteristiche del foro (sigla, data e profondità falda).

sigla	data	prof. falda <i>m dal p.c.</i>	note
SCPTU 1	08/2020	4.60	
SCPTU 2	08/2020	3.60	
SCPTU 3	07/2020	6.50	
SCPTU 4	08/2020	4.50	
SCPTU 5	08/2020	4.50	
SCPTU 6	08/2020	4.50	
SCPTU 7	08/2020	3.50	
SCPTU 8	07/2020	4.10	
SCPTU 9	07/2020	9.80	
SCPTU 10	07/2020	8.00	
SCPTU 14	07/2020	3.60	
SCPTU 11	07/2020	7.50	
SCPTU 12	08/2020	6.50	
SCPTU 13	07/2020	7.50	
SCPTU13A	08/2020	2.60	
SCPTU13B	08/2020	2.60	
SCPTU 15	07/2020	3.60	
SCPTU 16	07/2020	3.00	
SCPTU 17	07/2020	2.10	
SCPTU 18	07/2020	2.10	
SCPTU 19	07/2020	4.90	
SCPTU 20	07/2020	2.20	
SCPTU 21	07/2020	2.10	
SCPTU 22	07/2020	1.70	

Tabella 14 - Dati del livello piezometrico condotto misurato durante l'esecuzione delle prove SCPTu della campagna Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., **utilizzati nello studio di ricostruzione della falda.**

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrati nel corso del monitoraggio piezometrico che ha interessato le strumentazioni della campagna indagini eseguita a supporto della presente fase progettuale (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) nel periodo 2021-2023 (sigla, piezometro, data, profondità falda, quota falda e note). Il monitoraggio è ad oggi in corso.

Sigla	Tipo piezometro	Data	prof. falda <i>m dal p.c.</i>	quota falda <i>m s.l.m.</i>
S1	TA	Min 2021 (settembre)	1.04	1.66
		Max 2021 (aprile)	0.86	1.84
		Min 2022 (novembre)	1.35	1.35

Sigla	Tipo piezometro	Data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.
		Max 2022 (luglio)	1.22	1.48
		Distrutto dal marzo 2023	---	---
S3	Cas. 2 celle	Min 2021 (marzo)	0.95	0.05
		Max 2021 (maggio)	0.51	0.49
		Min 2022 (luglio)	1.46	0.46
		Max 2022 (agosto)	1.30	0.30
		Min 2023 (aprile)	0.80	0.20
		Max 2023 (marzo)	0.61	0.39
S4	TA	Min. 2021 (marzo)	10.90	-8.00
		Max 2021 (maggio)	10.82	-7.92
		Min 2022 (ottobre)	10.74	-7.84
		Max 2022 (agosto)	10.65	-7.75
		Min 2023 (aprile)	10.50	-7.60
		Max 2023 (maggio)	10.40	-7.50
S4bis	TA	Min 2021 (ottobre)	2.26	-0.96
		Max 2021 (aprile)	2.12	-0.82
		Min 2022 (novembre)	1.28	0.02
		Max 2022 (luglio)	0.97	0.33
		Min 2023 (maggio)	1.13	0.17
		Max 2023 (marzo)	1.05	0.25
S5	TA	Min 2021 (ottobre)	2.10	-0.90
		Max 2021 (aprile)	1.98	-0.78
		Min 2022 (ottobre)	2.59	-1.39
		Max 2022 (luglio)	2.26	-1.06
		Min 2023 (marzo)	2.70	-1.50
		Max 2023 (aprile)	2.58	-1.38
S6	TA	Min. 2021 (marzo)	2.93	-1.73
		Max 2021 (maggio)	2.82	-1.62
		Min 2022 (settembre)	4.65	-3.45
		Max 2022 (luglio)	3.90	-2.70
		Min 2023 (marzo)	2.90	-1.70
		Max 2023 (aprile)	2.83	-1.63

Tabella 15 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., utilizzati nello studio di ricostruzione della falda. TA:

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	72 di 122

piezometro a tubo aperto con tratto filtrante; Cas.: piezometro tipo Casagrande. Con il simbolo “Min.” si intende la massima soggiacenza della falda.

La superficie piezometrica è posta a quote variabili tra 1.84 e -8 m s.l.m..

Inoltre, i dati idrogeologici a disposizione (Carta idrogeologica Comune di Pisa) evidenziano la presenza di una estesa falda freatica contenuta all'interno degli orizzonti più grossolani e permeabili dei depositi alluvionali che colmano la piana (Figura 46 - Figura 49).

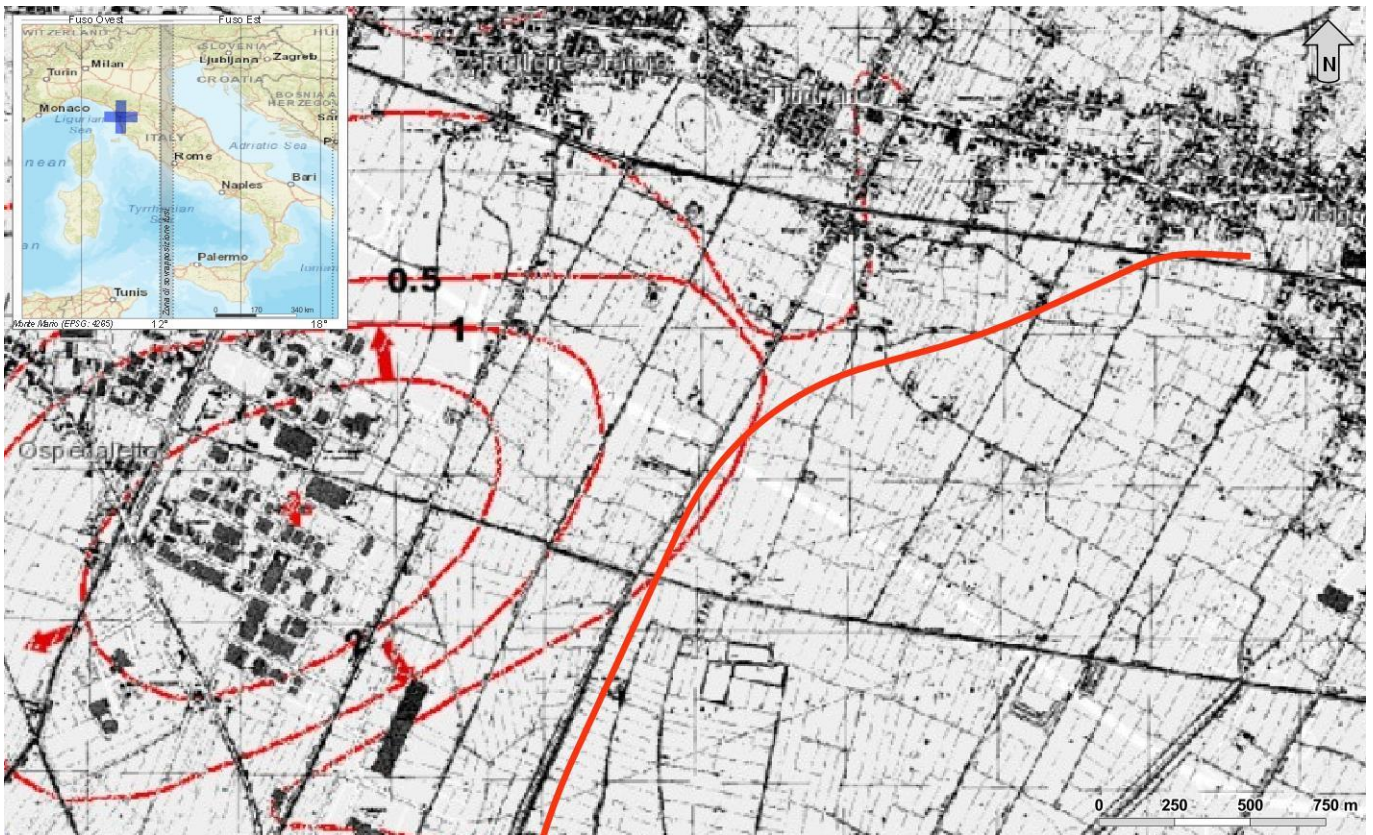


Figura 46 – Stralcio della carta b2.6 Carta idrogeologica del comune di Pisa (<https://www.comune.pisa.it/it/ufficio-scheda/21021/b2-6-Carta-idrogeologica.html>), con indicazione delle isopieze estive (m s.l.m.), delle linee di flusso e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	73 di 122

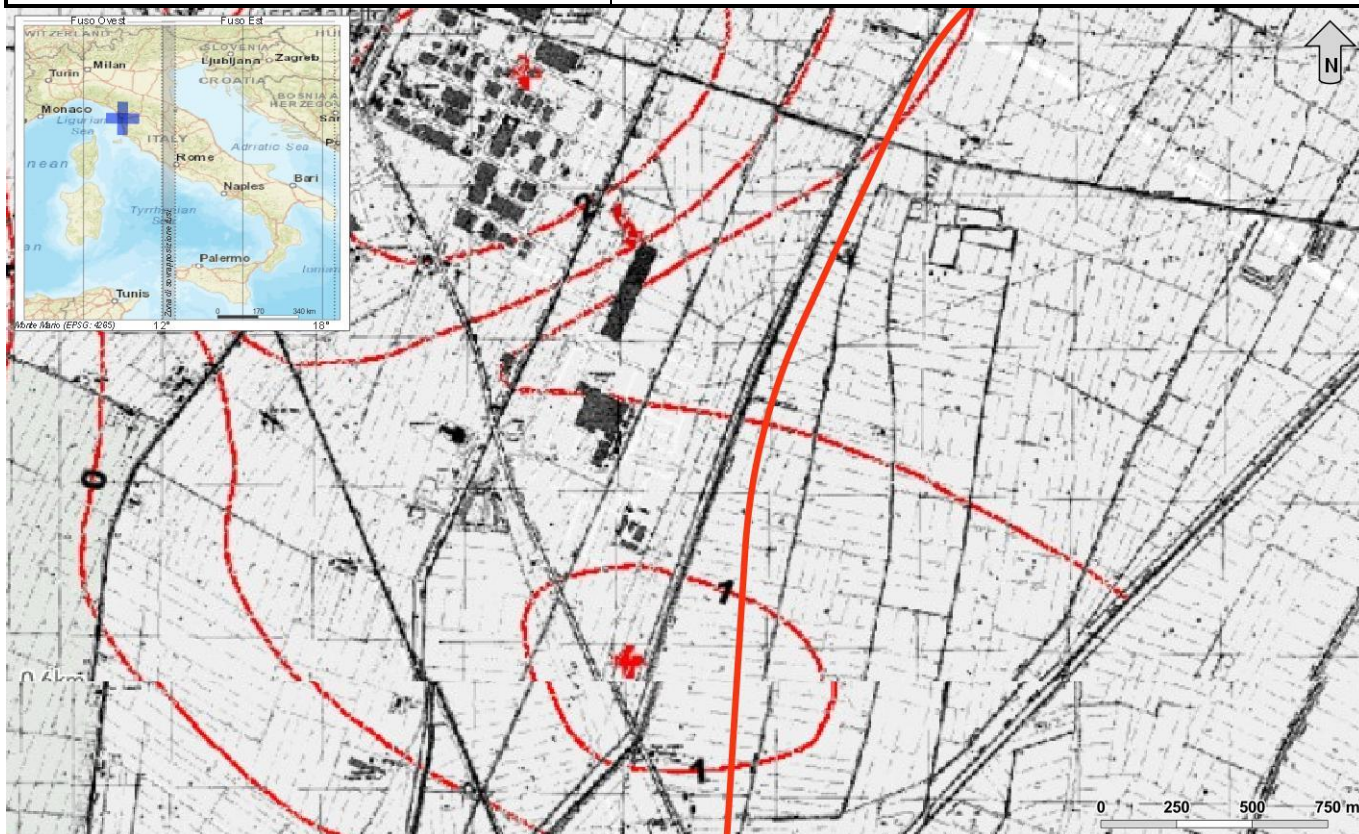


Figura 47 – Stralcio della carta b2.6 Carta idrogeologica del comune di Pisa (<https://www.comune.pisa.it/it/ufficio-scheda/21021/b2-6-Carta-idrogeologica.html>), con indicazione delle isopieze estive (m s.l.m.), delle linee di flusso e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	74 di 122



Figura 48 – Stralcio della carta b2.6 Carta idrogeologica del comune di Pisa (<https://www.comune.pisa.it/it/ufficio-scheda/21021/b2-6-Carta-idrogeologica.html>), con indicazione delle isopieze estive (m s.l.m.), delle linee di flusso e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	75 di 122

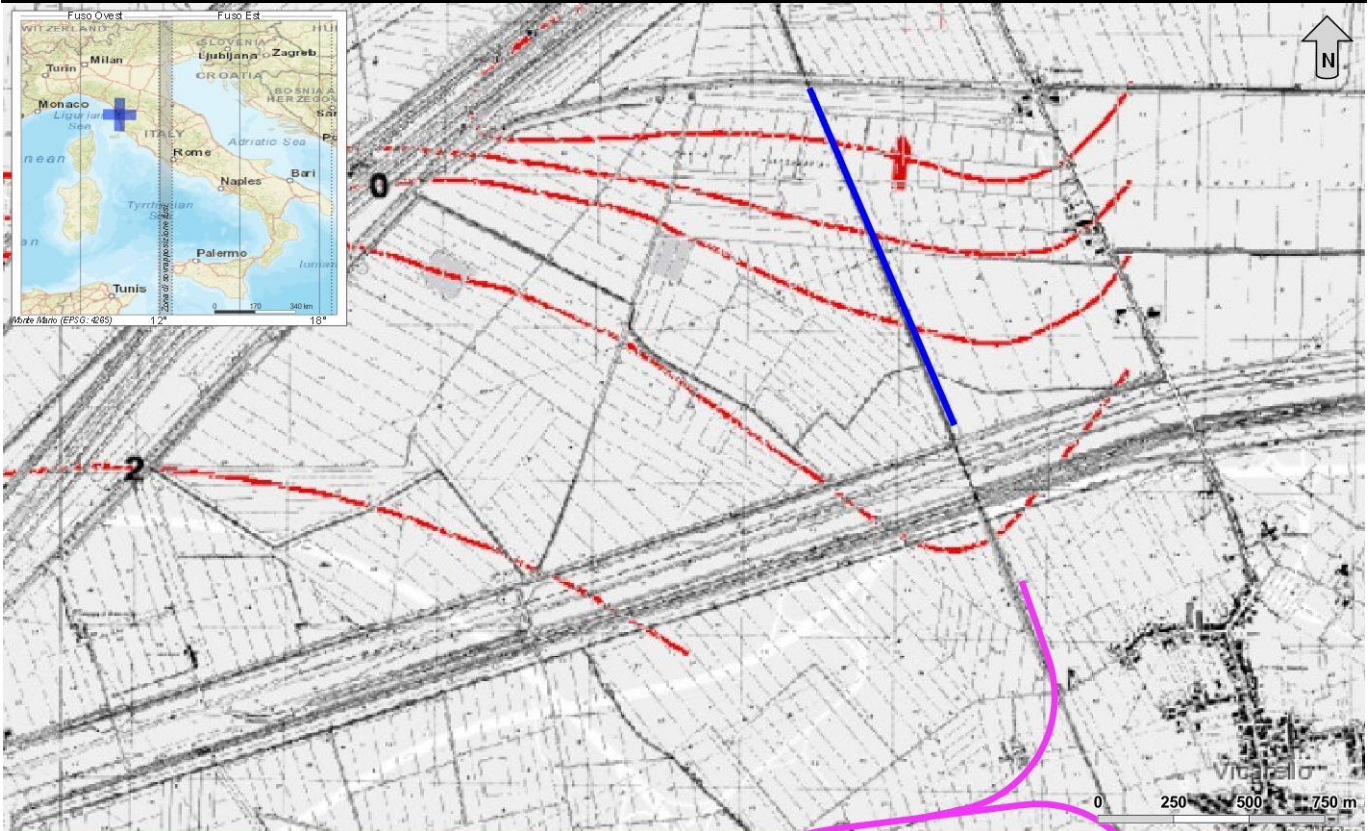


Figura 49 – Stralcio della carta b2.6 Carta idrogeologica del comune di Pisa (<https://www.comune.pisa.it/it/ufficio-scheda/21021/b2-6-Carta-idrogeologica.html>), con indicazione delle isopieze estive (m s.l.m.), delle linee di flusso e delle opere in progetto (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu).

Infine, i dati idrogeologici a disposizione nel settore nord (Bypass di Pisa) nella “Carta idrogeologica e delle permeabilità” (tav. 3A e 3D) del Comune di Cascina 2014 evidenziano la presenza di una estesa falda freatica contenuta all’interno degli orizzonti più grossolani e permeabili dei depositi alluvionali che colmano la piana (Figura 50 - Figura 53). La superficie piezometrica è posta a quote variabili tra i -5 e i -3 m s.l.m.. Pertanto, in accordo con gli studi bibliografici disponibili, nell’area d’interesse è ipotizzabile la presenza di una falda posta a quote variabili tra 1 e i 10 m dal p.c..

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	76 di 122



Figura 50 - Stralcio della Carta idrogeologica e delle permeabilità del comune di Cascina, con indicazione delle isopiezometriche (m s.l.m.) – 1° falda significativa (agosto 1994) e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA, GEOMORFOLOGICA,

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	77 di 122

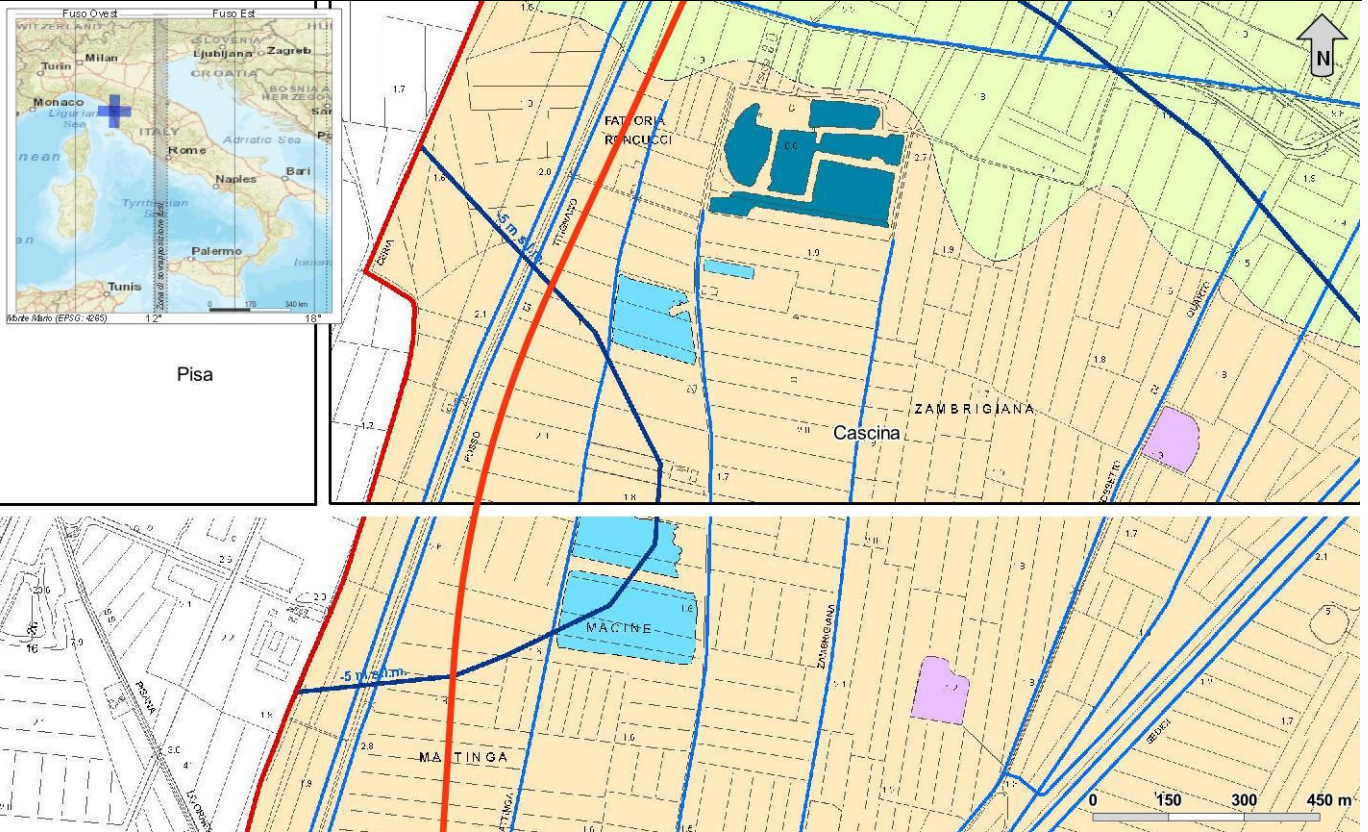


Figura 51 - Stralcio della Carta idrogeologica e delle permeabilità del comune di Cascina, con indicazione delle isopiezometriche (m s.l.m.) – 1° falda significativa (agosto 1994) e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	78 di 122

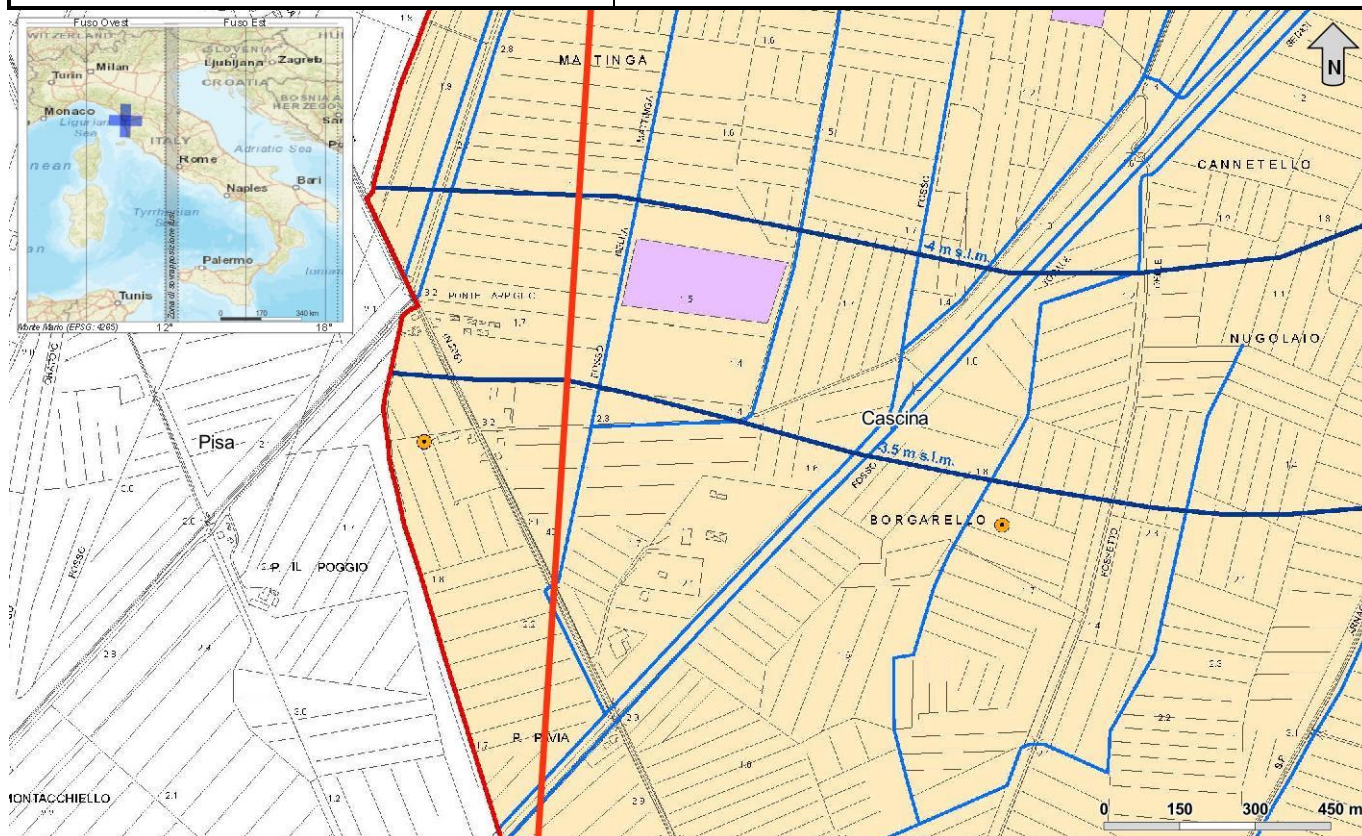


Figura 52 - Stralcio della Carta idrogeologica e delle permeabilità del comune di Cascina, con indicazione delle isopiezometriche (m s.l.m.) – 1° falda significativa (agosto 1994) e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore rosso).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	79 di 122

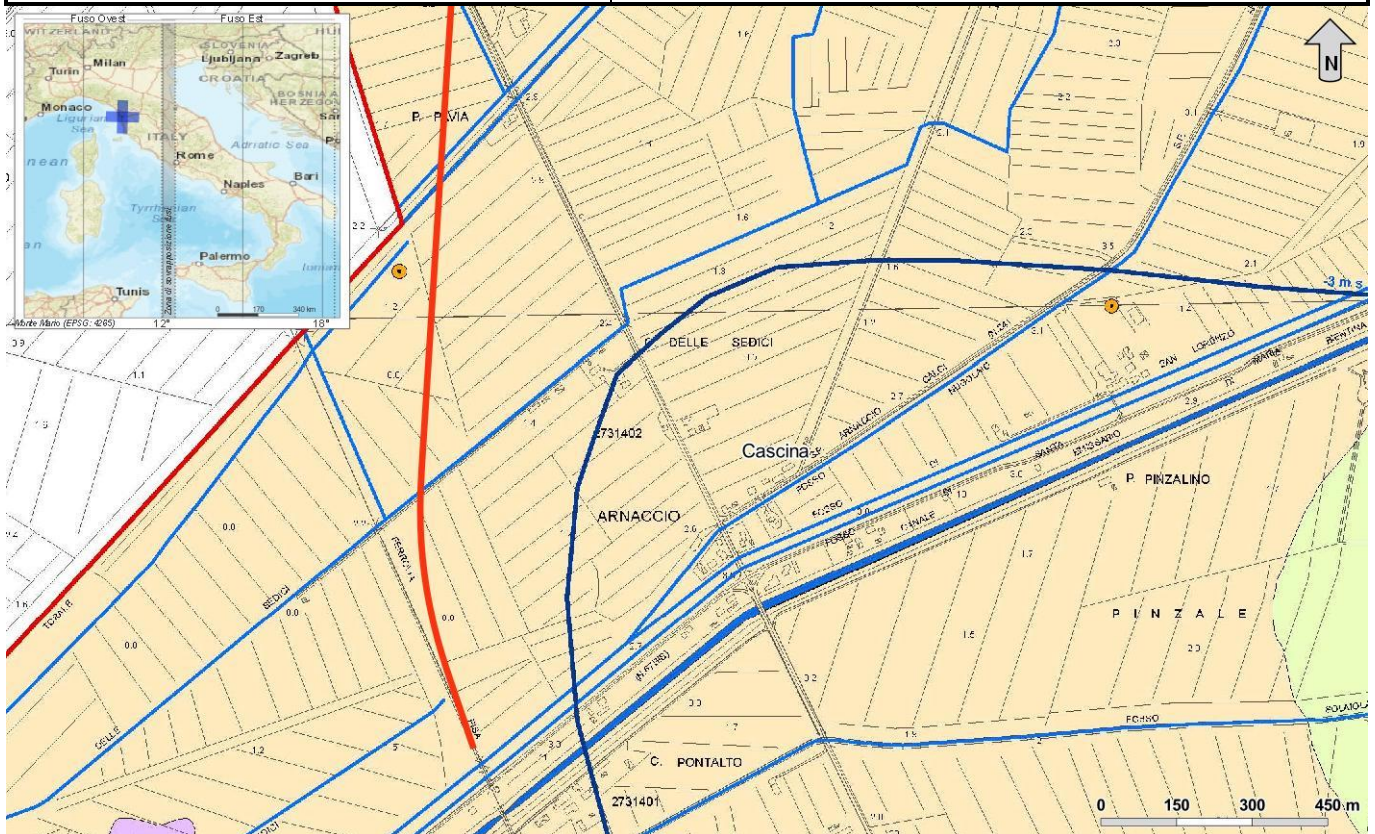


Figura 53 - Stralcio della Carta idrogeologica e delle permeabilità del comune di Cascina, con indicazione delle isopiezometriche (m s.l.m.) – 1° falda significativa (agosto 1994) e delle opere in progetto (Progetto del Bypass in colore: rosso).

7.3 Opere di captazione

Per poter ricostruire con maggior dettaglio l'andamento e le caratteristiche delle falde idriche presenti nell'area, nel corso dello studio sono stati consultati i dati idrogeologici a disposizione relativamente alle opere di captazione (pozzi) presenti nell'area. In particolare sono state consultate le cartografie relative alla "Carta idrogeologica e delle permeabilità" (tav. 3A e 3D) del Comune di Cascina 2014 e alla "Carta idrogeologica" (tav 6a e 6b) de Comune di Collesalveti 2004, le quali non riportano misure del livello di falda e i pozzi disponibili dal DataBase ISPRA e dal webgis della regione Toscana con la misura del livello di falda (Tabella 16). In totale sono stati individuati n. 149 pozzi.

sigla	campagna indagini	uso	data	livello piezometrico da p.c.
127	Cascina Piano strutturale	domestico	06/2004	6.00
133	Cascina Piano strutturale	domestico	06/2002	8.00
134	Cascina Piano strutturale	domestico	06/2004	4.00
3.0232	Cascina Piano strutturale	domestico	04/2004	3.00
233	Cascina Piano strutturale	domestico	03/2004	8.00



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	80 di 122

sigla	campagna indagini	uso	data	livello piezometrico da p.c.
243	Cascina Piano strutturale	domestico	05/1999	6.13
246	Cascina Piano strutturale	domestico	04/2004	10.00
230	Cascina Piano strutturale	domestico	04/2005	6.00
234	Cascina Piano strutturale	domestico	04/2004	8.00
235	Cascina Piano strutturale	domestico	07/2004	8.00
631	Cascina Piano strutturale	industriale	10/1991	5.2
190250	ISPRA	altro	11/2005	20.72
190252	ISPRA	altro	02/2002	18.82
190755	ISPRA	altro	01/2002	15.69
190758	ISPRA	altro	12/2001	17.86
PZ_sz77_1	webgis regione	domestico	02/2002	18.82
PZ_sz79_1	webgis regione	domestico	09/2002	18.67

Tabella 16 – Sintesi dei pozzi presenti nell'area con dati del livello piezometrico.

I punti sono riportati nella Carta idrogeologica e profilo idrogeologico in scala 1:5000/500 in allegato alle presenti note di sintesi (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

7.4 Caratteristiche di permeabilità

Nell'area in esame sono stati individuati e cartografati tre complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Di seguito, vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati, seguendo uno schema basato sull'assetto geologico e litostratigrafico dell'area in esame. Le caratteristiche idrogeologiche dell'area e, quindi, il deflusso idrico delle acque sotterranee, sono direttamente connessi con la natura litologica del substrato e con gli elementi tettonici che lo hanno interessato.

Le caratteristiche dei termini litologici in esame sono state determinate sulla base di dati bibliografici relativi a terreni con le medesime caratteristiche geologiche e sulla base dei valori delle prove di permeabilità disponibili (Tabella 17 e Tabella 18). La definizione del *range* di variazione del coefficiente di permeabilità relativo ad ogni complesso è stata effettuata in funzione delle caratteristiche sedimentologiche e litologiche dei terreni, nonché del grado di fratturazione dei singoli ammassi rocciosi. Di seguito vengono sintetizzati i principali complessi idrogeologici presenti nell'area di studio:

- **Complesso limoso-argilloso (CLA):** a tale complesso sono riferiti i terreni prevalentemente pelitici o torboso-limosi delle unità **FAA, bb3, bb4** e **e3**. Tali depositi costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nello specifico contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *acquiclude* di importanza variabile in relazione allo spessore dei depositi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è

variabile da impermeabile a molto bassa. Al presente complesso può quindi essere attribuito un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-10}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

- **Complesso sabbioso-limoso (CSL):** il complesso in questione è formato dai depositi delle unità **QVC** e **bb2**. Questi depositi costituiscono acquiferi porosi di discreta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di modesta rilevanza, localmente autonome ma globalmente a deflusso unitario. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- **Complesso ghiaioso-sabbioso (CGS):** questo complesso è rappresentato dai depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi dell'unità **QPL**. Tali terreni costituiscono acquiferi porosi di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, in comunicazione diretta con i principali corsi d'acqua. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile tra media ed alta. A questo complesso si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-4}$ e $1 \cdot 10^{-1}$ m/s.

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>	campagna indagini
S1	le1	Lefranc	1.5 - 2.0	6.05E-08	Italferr 2020
S1	le2	Lefranc	6.0 - 6.5	1.92E-06	Italferr 2020
S2	le1	Lefranc	3.0 - 3.5	2.95E-08	Italferr 2020
S2	le2	Lefranc	15.0 - 15.5	3.31E-08	Italferr 2020
S3	le1	Lefranc	2.5 - 3.0	4.84E-08	Italferr 2020
S3	le2	Lefranc	14.5 - 15.0	7.27E-09	Italferr 2020
S3	le3	Lefranc	38.5 - 39.0	6.27E-09	Italferr 2020
S4	le1	Lefranc	2.5 - 3.0	5.87E-07	Italferr 2020
S4	le2	Lefranc	14.5 - 15.0	1.51E-08	Italferr 2020
S4bis	le1	Lefranc	4.0 - 4.5	4.44E-08	Italferr 2020
S4bis	le2	Lefranc	11.5 - 12.0	3.15E-08	Italferr 2020
S4bis	le3	Lefranc	16.0 - 16.5	1.96E-08	Italferr 2020
S4bis	le1	Lefranc	4.0 - 4.5	4.44E-08	Italferr 2020
S5	le1	Lefranc	1.5 - 2.0	4.69E-07	Italferr 2020
S5	le2	Lefranc	6.0 - 6.5	1.13E-07	Italferr 2020
S6	le1	Lefranc	3.0 - 3.5	1.72E-07	Italferr 2020
S6	le2	Lefranc	6.0 - 6.5	5.36E-07	Italferr 2020
S6	le3	Lefranc	12.0 - 12.5	8.50E-08	Italferr 2020

Tabella 17 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso limoso-argilloso (CLA).

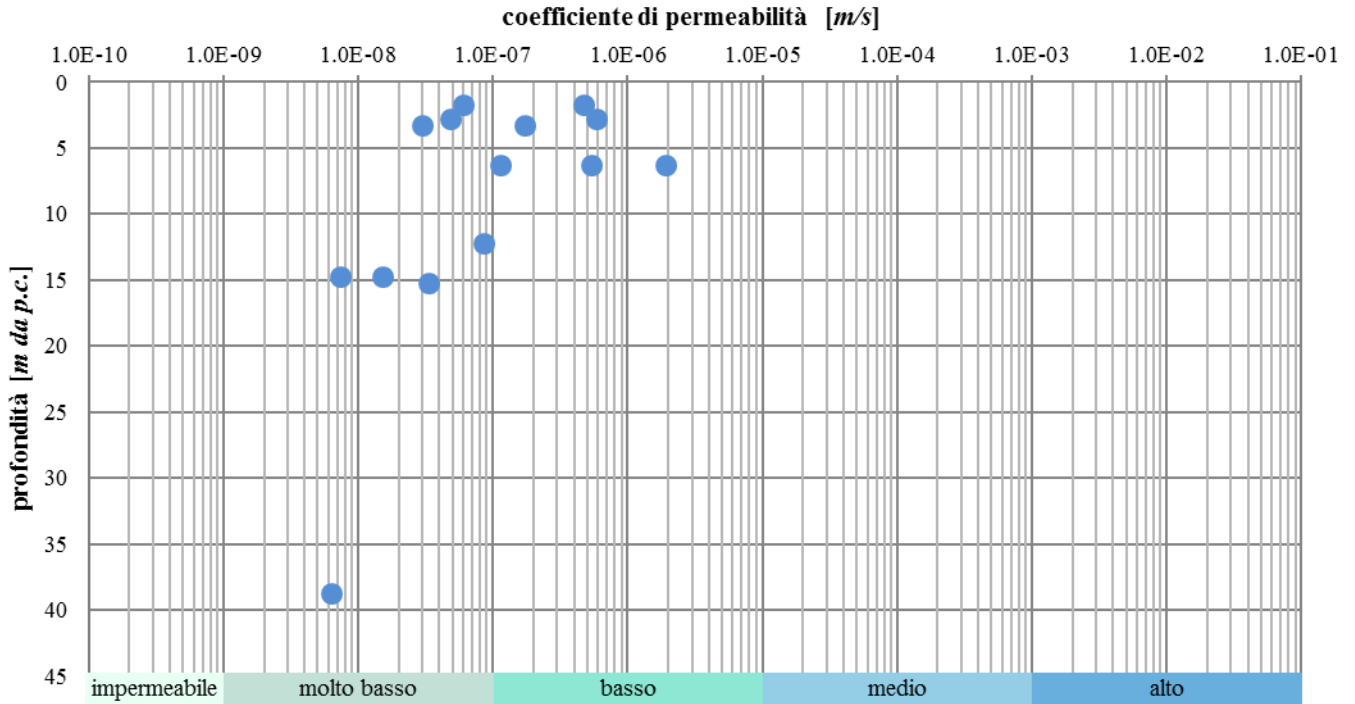


Figura 54 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso limoso-argilloso (CLA).

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s	campagna indagini
S4	le3	Lefranc	39.5 - 40.0	1.52E-06	IF2020

Tabella 18 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il Complesso ghiaioso-sabbioso (CGS).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	83 di 122

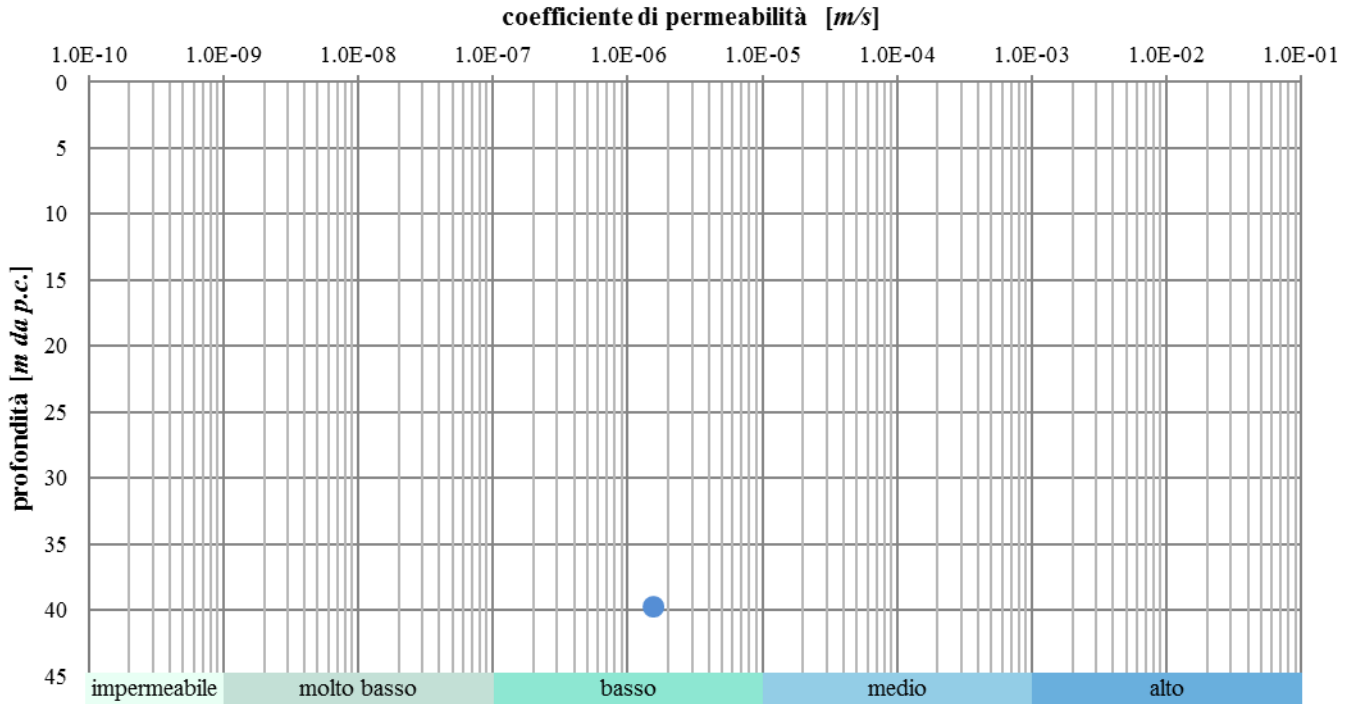


Figura 55 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il Complesso ghiaioso-sabbioso (CGS).

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	84 di 122

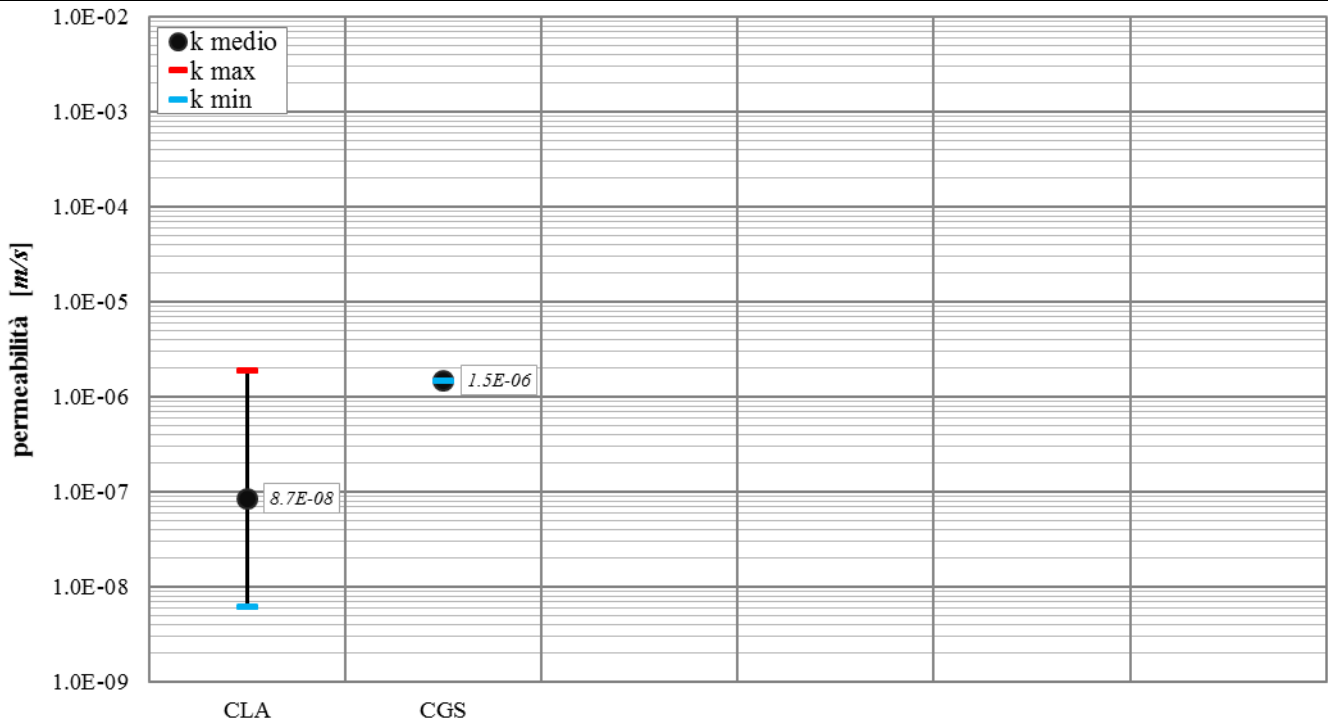


Figura 56 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità per due dei tre complessi individuati nell'area di studio.

8 SIMICITÀ DELL'AREA

Le caratteristiche di sismicità dei settori nord-ovest della Toscana sono da porre in relazione con l'assetto geologico-strutturale della Pianura di Pisa, la quale rappresenta un bacino di sprofondamento connesso alla tettonica distensiva del retroarco appenninico, attiva a partire dal Miocene medio.

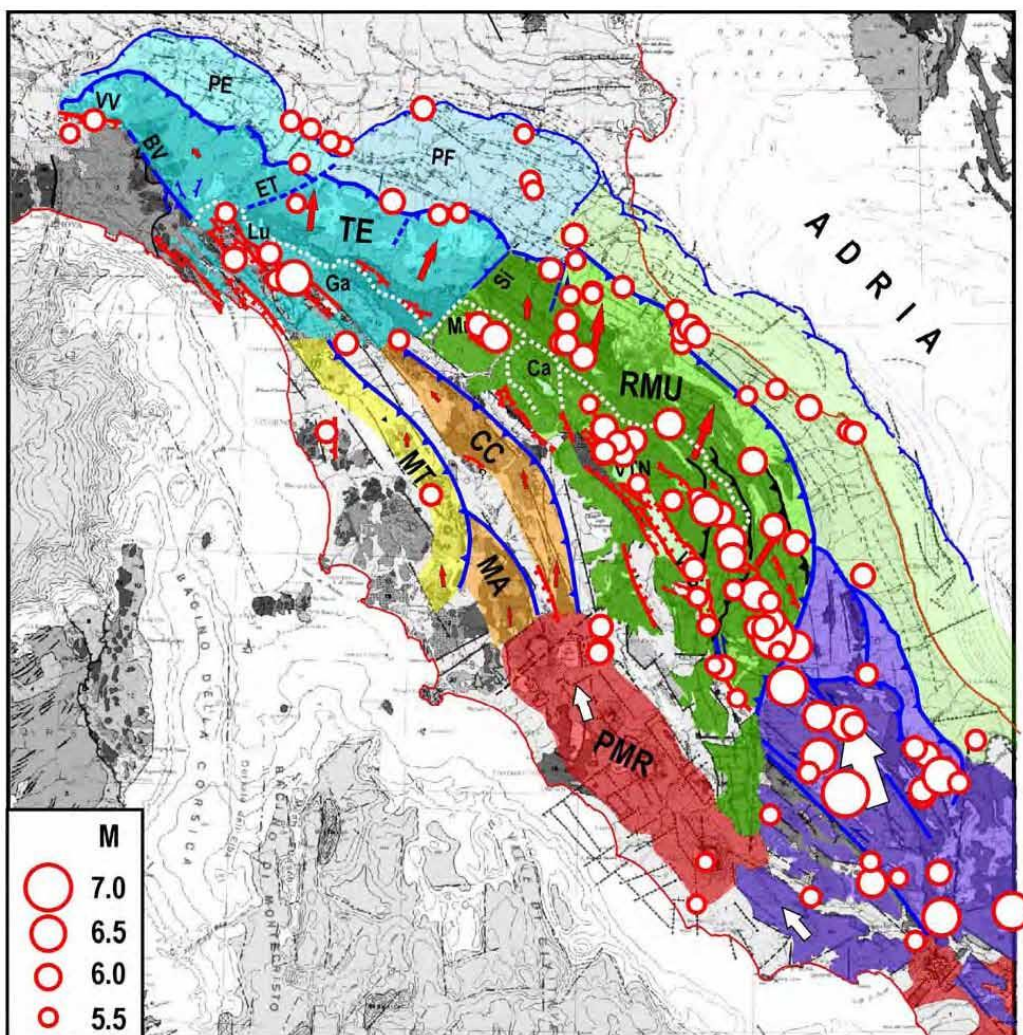


Figura 57 – Schema sismotettonico dell'Appennino settentrionale, con riportati gli epicentri dei terremoti più intensi ($M > 5.5$) avvenuti dal 1600 (Mantovani et al. 2011).

La consultazione del database DISS (vers. 3.2.1., 2018), relativo alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5, mostra che le opere di progetto nel comune di Collesalveti e le opere nel comune di Cascina sono ubicate rispettivamente a circa 2 km a NW e a 9 km a N di una fascia di potenziali faglie sismogenetiche. Si tratta della fascia di sorgenti composite ITCS088 Livorno Hills (profondità stimata 1.0-7.0 km, magnitudo massima 5.7, Slip rate 0.1-1.0 mm/anno). Questa fonte composta si trova a cavallo delle colline livornesi, a pochi km a sud-est della città di Livorno (Guidoboni et al. 2007). Tale fascia include la sorgente

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

individuale ITIS066 Orciano Pisano (profondità stimata 2-6.9 km, magnitudo massima 5.7, ultimo evento 14 agosto 1846) (Carmignani et al. 1994, 2001; Ambrosetti et al. 1978; Boccaletti & Sani 1998; Piccardi et al. 2017).

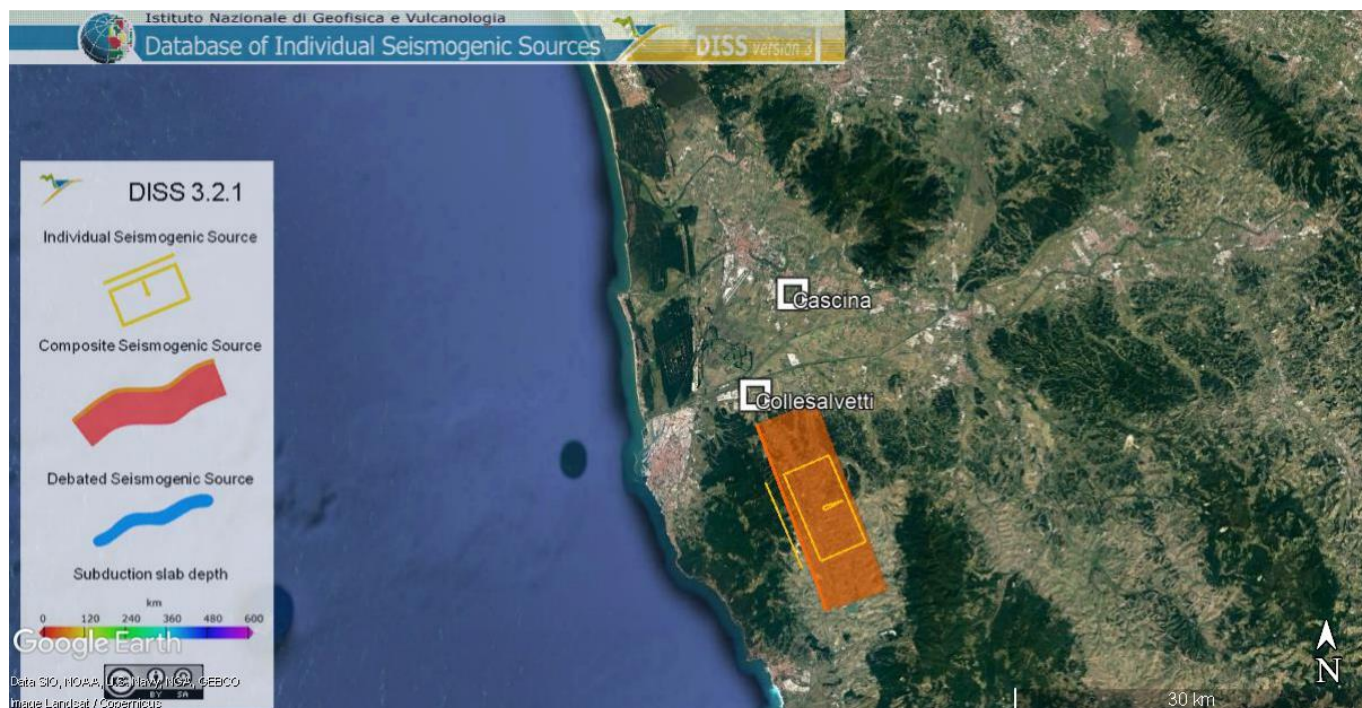


Figura 58 - Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con $M > 5.5$ nell'area di studio (da DISS Working group 2018, Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), versione 3.2.1., <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>).

Parameter		Quality		Evidence
Min depth	km	1	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.
Max depth	km	7	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.
Strike min - max	deg	330 - 350	EJ	Inferred from geological observations.
Dip min - max	deg	40 - 60	EJ	Inferred from geological observations.
Rake min - max	deg	260 - 280	EJ	Inferred from geological observations.
Slip Rate min - max	mm/y	0.1 - 1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude	M_w	5.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

Tabella 19 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS088 Livorno Hills. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	87 di 122

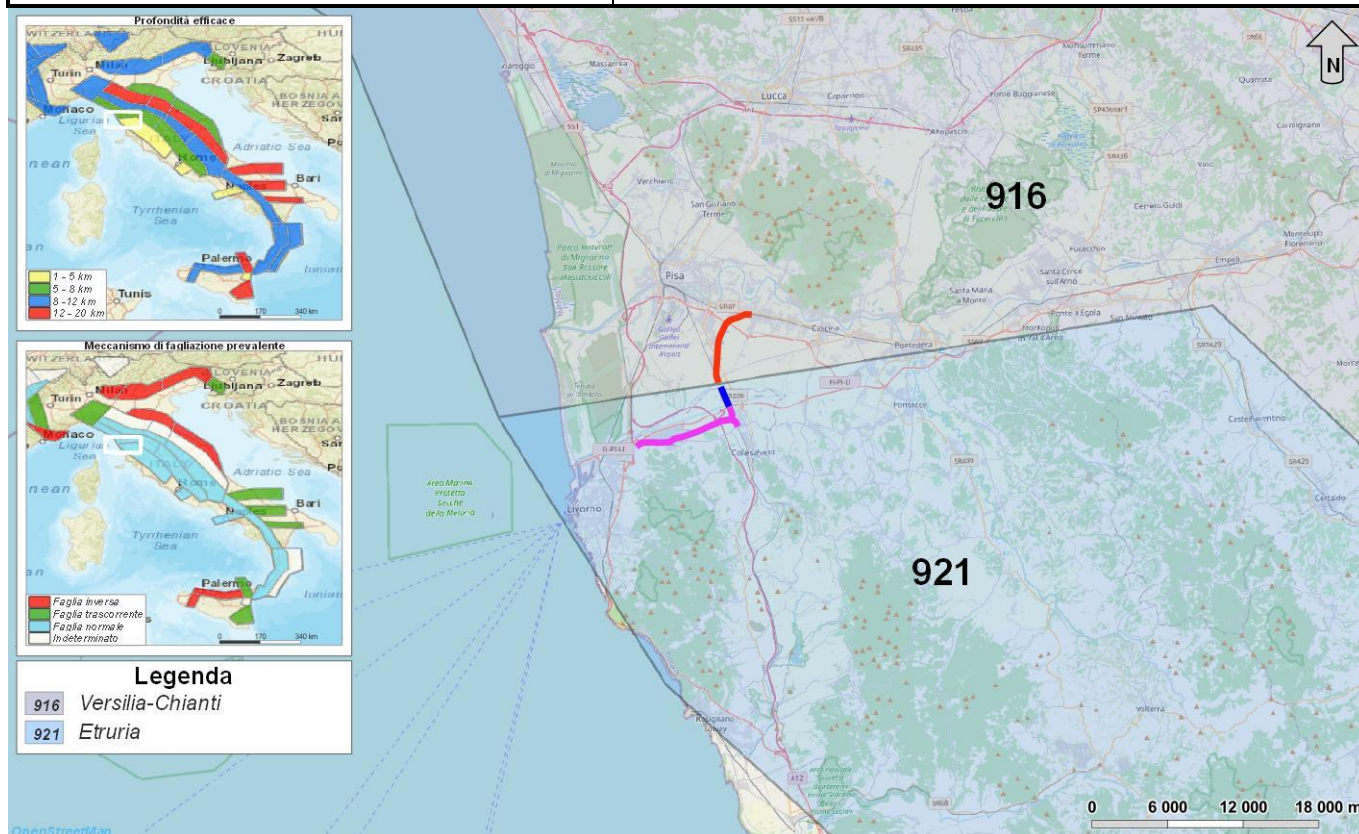


Figura 59 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell’area di studio, con indicazione delle opere in progetto (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso).

Relativamente alla vigente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), le opere in progetto del “Bypass di Pisa” ricadono all’interno della **Zona 916 “Versilia-Chianti”**. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 5-8$ km) e di medio-bassa magnitudo ($M_{max} = 5.68$), con meccanismi di fagliazione normale. Mentre, le opere relative al “Collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada” e “Autoparco di Faldo” ricadono all’interno della **Zona 921 “Etruria”**. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 1-5$ km) e di medio-bassa magnitudo ($M_{max} = 5.91$), con meccanismi di fagliazione normale.

8.1 Sismicità storica

Storicamente il settore di studio non è stato interessato da epicentri sismici significativi, ma risente della sismicità di aree circostanti tra cui si segnalano:

- la Garfagnana/Lunigiana e la Val di Lima con eventi sismici frequenti di magnitudo elevata ($7^{\circ}-8^{\circ}$ MCS) talora disastrosa ($9^{\circ}-10^{\circ}$ grado MCS);
- le depressioni tettoniche al margine meridionale della Pianura di Pisa (come val di Fine e val d’Era) con eventi sismici più rari, talvolta disastrosi (come il terremoto del 1846 con epicentro a Orciano Pisano - 9° grado MCS);
- aree sismiche in mare (dorsali Meloria e Maestra) anch’esse con eventi sismici frequenti ma di magnitudo contenuta. L’ultimo evento segnalato risale all’Ottobre 2005.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	88 di 122

L'evento di maggior rilievo risale al 07 settembre 1920 con intensità pari al 6° grado della MCS. Il sisma si sviluppò in alta Garfagnana, interessando anche la Lunigiana, con ben maggiore intensità (10° MCS), provocando gravi danni e/o la pressoché distruzione di vari centri abitati (Villa Collemandina, Fivizzano, Sassalbo). La scossa principale fu preceduta da alcune scosse minori e fu seguita da numerose repliche nelle ore e nei giorni successivi, l'attività sismica si protrasse, con frequenza decrescente, fino al 1 agosto 1921. In totale vi furono 171 morti, 650 feriti e alcune migliaia di senzatetto. Inoltre, il 14 agosto 1846 un terremoto colpì l'area collinare della Toscana occidentale, tra le valli dei fiumi Arno e Cecina. La scossa più forte avvenne alle ore 12 GMT e fu percepita della durata di 25-30 secondi, fu seguita da un'altra scossa molto forte alle ore 21 GMT dello stesso giorno. Il paese più colpito fu Orciano Pisano dove il terremoto causò il crollo totale o parziale di quasi tutti gli edifici. L'evento sismico fu seguito da una replica il 27 agosto 1846 che causò ulteriori danni agli edifici già colpiti. Le numerose repliche si protrassero fino a dicembre inoltrato.



Figura 60 – Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici che hanno interessato l'area di studio (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso).

Di seguito sono elencati gli eventi sismici riportati nel Database Macrosismico Italiano pubblicato dall'INGV (versione DBMI15) al fine di documentare la storia sismica del centro abitato di Cascina (PI) e di Collesalvetti (LI) (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Storia sismica di Cascina

[43.677, 10.549]

Numero eventi: 23

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	89 di 122

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
6	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6.04
NF	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	101	6	4.47
5	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
3	1903 07 27 03 46	Lunigiana	79	7-8	5.19
4	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
NF	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08
6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53
3	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
5	1950 04 01	Livornese	15	6	4.99
2	1963 07 19 05 46 01.50	Mar Ligure	412		5.95
4	1969 01 06 22 03 28.00	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
5	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	1975 11 16 13 04 25.14	Appennino piacentino	10	4-5	4.93
4	1980 06 07 18 35 01.00	Garfagnana	102	6-7	4.64
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
4	1984 04 22 17 39 21.00	Costa pisano-livornese	39	6	4.61
4	1984 05 01 22 14 22.56	Costa pisano-livornese	16	5	3.89
3-4	1987 01 22 05 10 50.09	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
F	2016 10 30 06 40 17.32	Valnerina	379		6.61

Tabella 20 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Cascina (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	90 di 122

Cascina (PI)

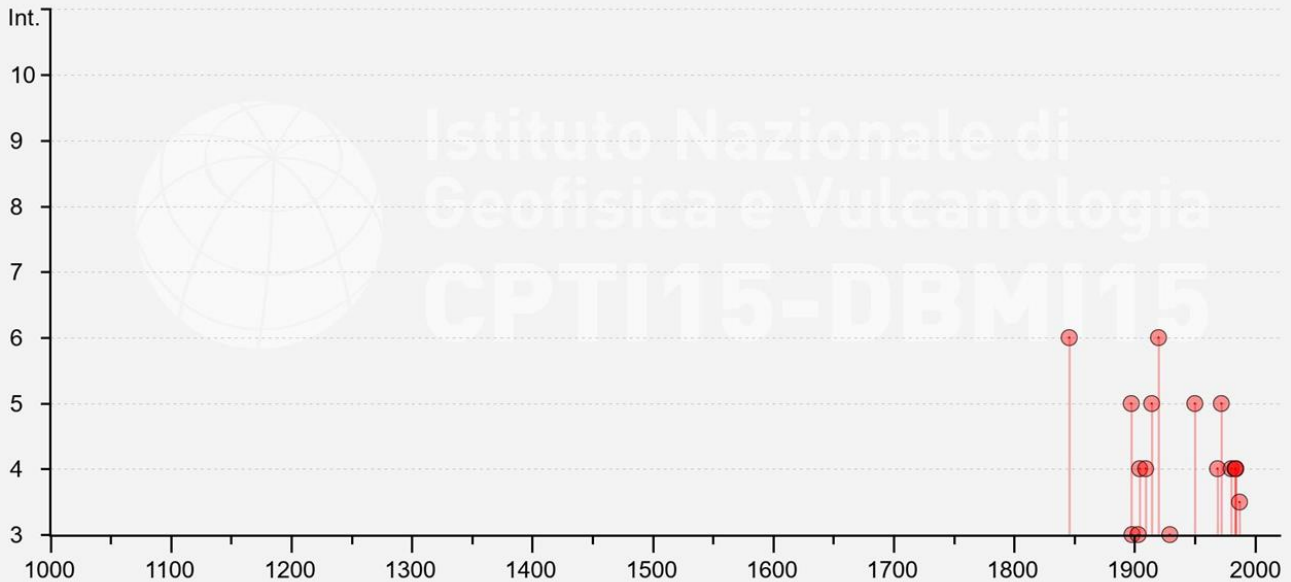


Figura 61– Grafico illustrante la storia sismica di Cascina. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Storia sismica di Collesalvetti

[43.589, 10.477]

Numero eventi: 7

Effetti	In occasione del terremoto del:				
	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
6-7	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6.04
NF	1897 05 15 13 42 30.00	Tirreno meridionale	85	5	4.52
3	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4-5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
4	1984 04 22 17 39 21.00	Costa pisano-livornese	39	6	4.61
4	1987 01 22 05 10 50.09	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
3	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4.82

Tabella 21 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Collesalvetti (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	91 di 122

Collesalvetti (LI)

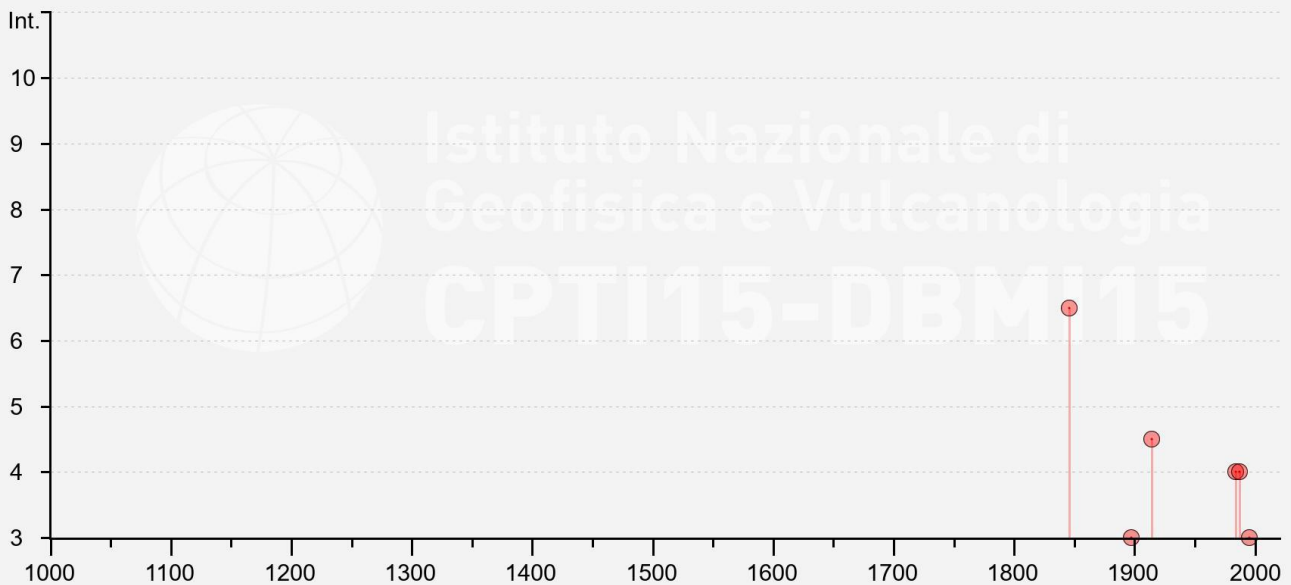


Figura 62– Grafico illustrante la storia sismica di Collesalvetti. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

8.2 Sismicità attuale

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” disciplinava classificazione sismica dei comuni d'Italia. Secondo tale normativa, il comune di Cascina e il comune di Collesalvetti ricadevano in **Zona sismica 3s**, con livello di pericolosità medio, ovvero aree che potrebbero essere interessate da eventi sismici medi ($0.15 < a_g < 0.25g$).

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC. Detto studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

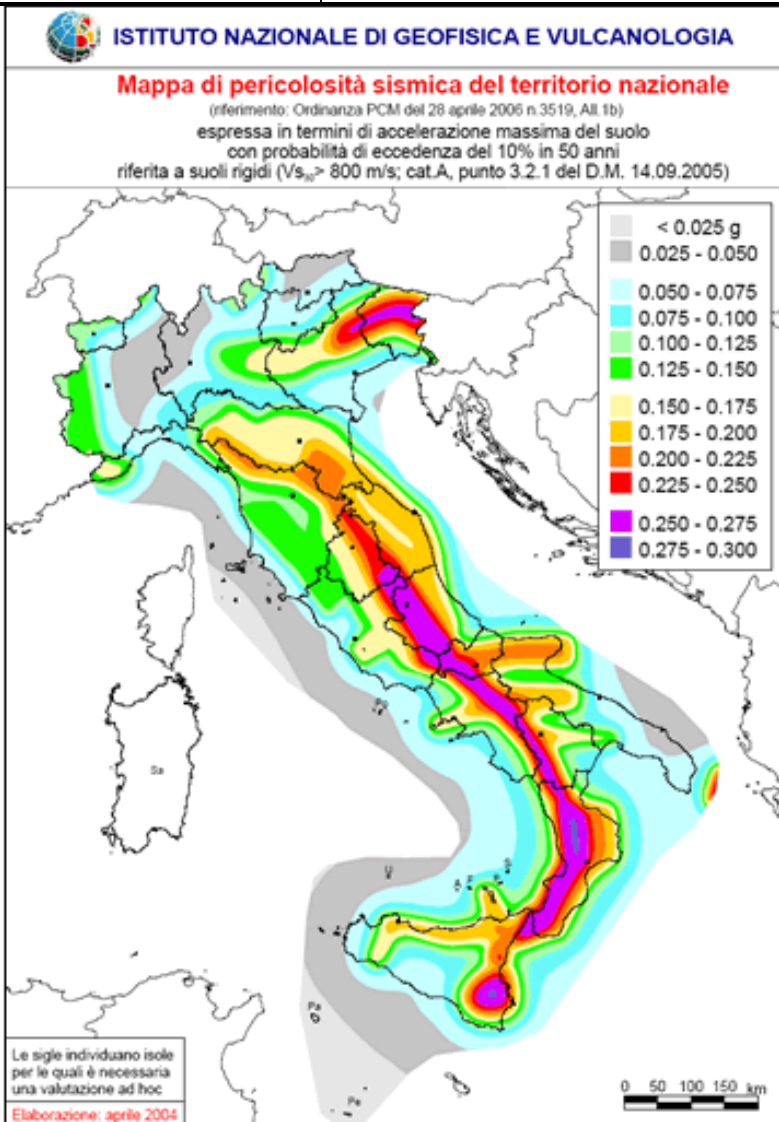


Figura 63 – Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

In particolare, con tale provvedimento è stato superato il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro fondamentali zone sismiche. La vecchia classificazione sismica produceva, sovente, situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici che avveniva in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali. Successivamente verrà mantenuta, infatti, la classificazione secondo la quale il territorio nazione è suddivisibile in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.

Mappe interattive di pericolosità sismica

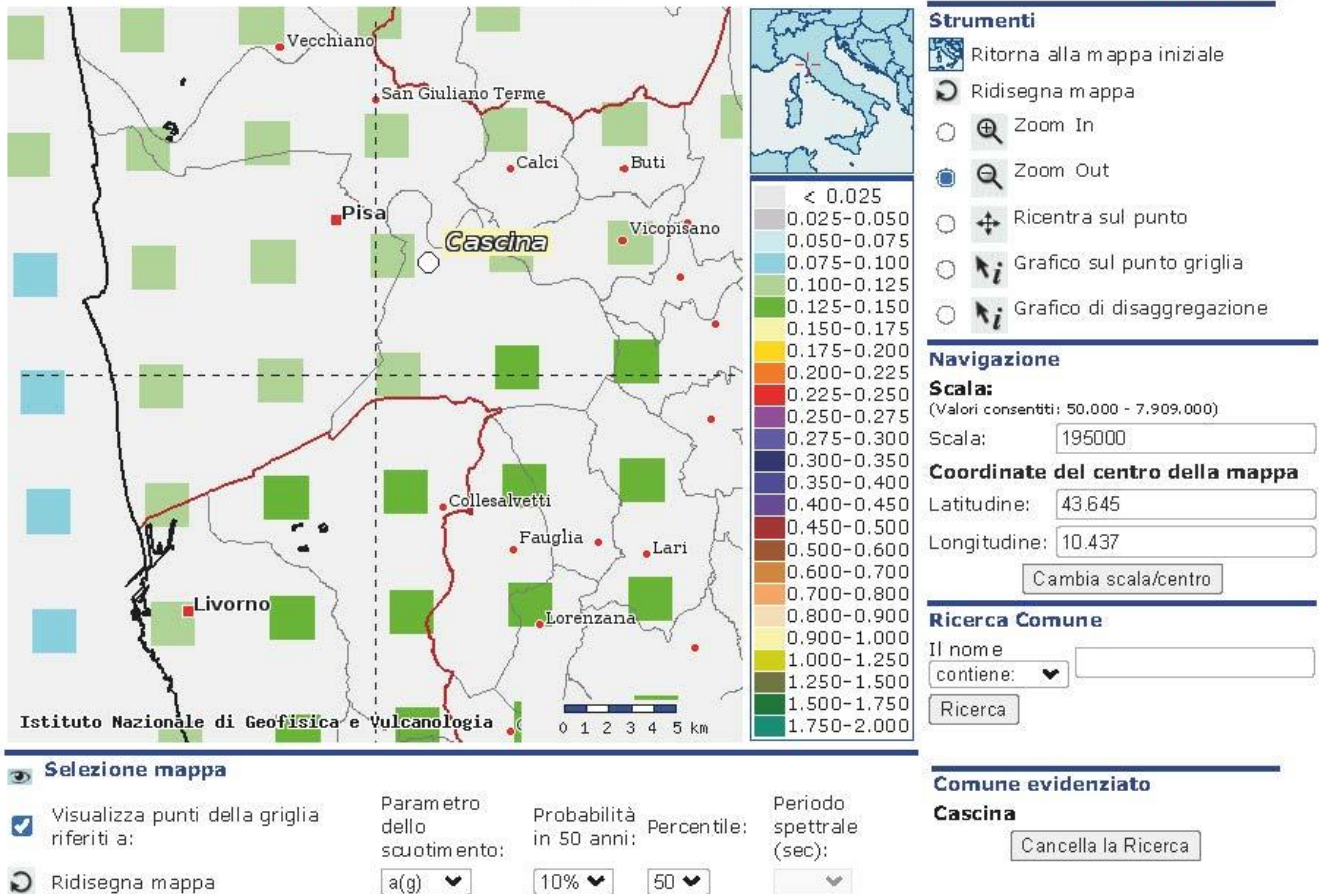


Figura 64 – Mappa di pericolosità sismica per l'area di interesse; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (<http://essel-gis.mi.ingv.it>).

All'attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l'applicazione *WebGIS*, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica (Figura 64). In particolare, per la zona interessata dalle opere in progetto, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi all'incirca nell'intervallo $0.100-0.150 a_g$ (accelerazione massima del suolo).

Inoltre, il *database* del progetto *ITHACA (Italy Hazard from Capable faults)* mostra, nell'area progettuale, l'esistenza di alcune faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. In particolare, è presente un elemento tettonico ubicato a circa 2 km a NW e un elemento a circa 3.6 km a NE rispetto ai settori di intervento. Si tratta della faglia capace "Viareggio - Pisa System" (61607) e della faglia capace "Viareggio - Pisa System" (61604). Tali elementi quindi non interferiscono direttamente con il tracciato di progetto, ma sono comunque in grado di produrre eventi sismici di una certa importanza, con sicuro risentimento per le opere nei settori di stretto interesse progettuale.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	94 di 122

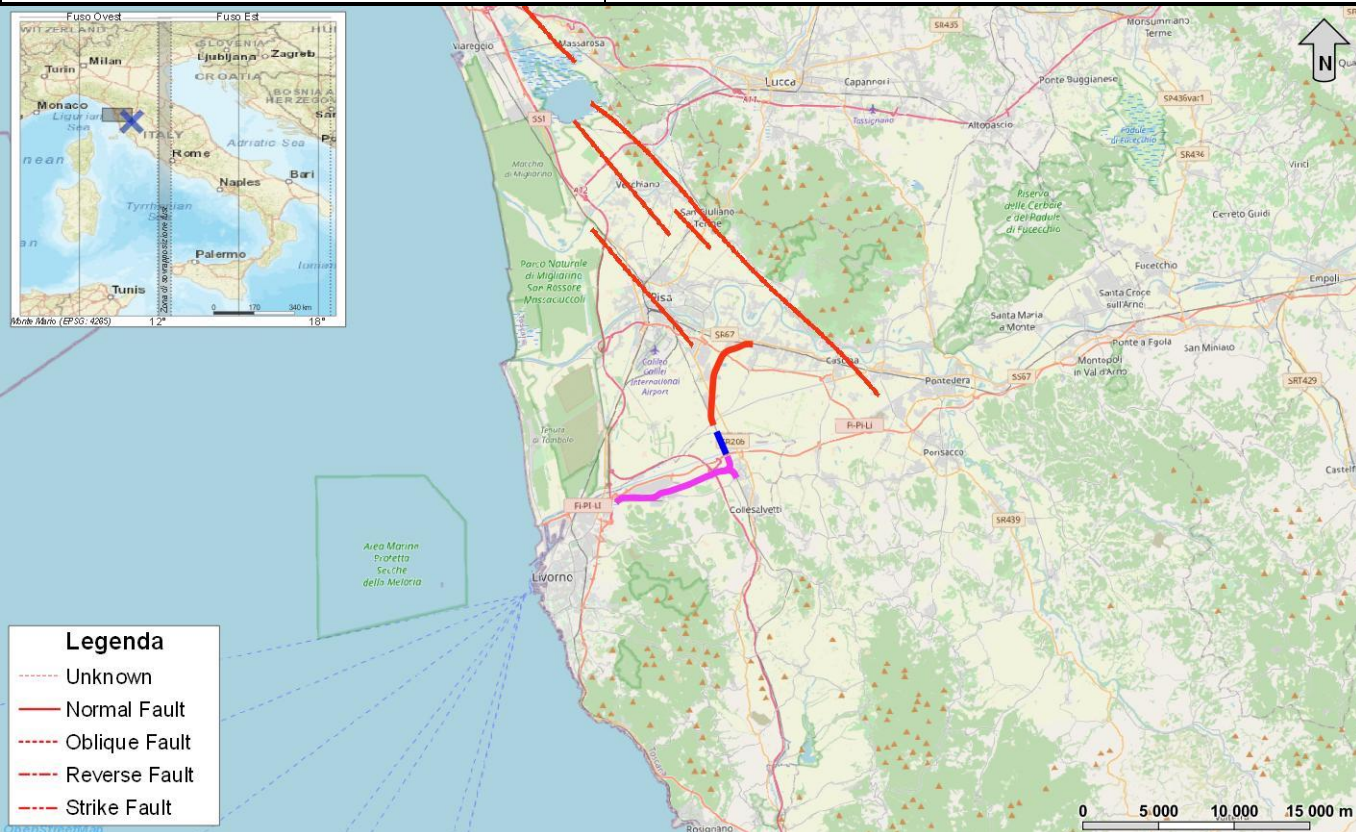


Figura 65 – Stralcio cartografico dell'area di interesse con indicazione schematica dell'area di studio (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso) e delle faglie capaci (rosso con orientamento NE-SO).

Faglia Viareggio - Pisa System	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	61607
Fault Name	Viareggio - Pisa System
Region Name	Toscana
Tectonic Environment	ND
System Name	Viareggio - Pisa System
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	140
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SW



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	95 di 122

Faglia Viareggio - Pisa System	
Fault Length (km)	10.2
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
QUATERNARY	
Surface Evidence	ND
Last Activity (Year)	Early Pleistocene
SLIP PARAMETERS	
Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	LOW
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Tabella 22 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace code: 61607.

Faglia Viareggio - Pisa System	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	61604
Fault Name	Viareggio - Pisa System
Region Name	Toscana
Tectonic Environment	ND
System Name	Viareggio - Pisa System
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D
Faglia Viareggio - Pisa System						
Average Strike (°)	140					
Dip (°)	Undefined					
Dip Direction	SW					
Fault Length (km)	27.2					
Mapping Scale	1:500000					
Fault Depth (m)						
Kinematics	Normal					
QUATERNARY						
Surface Evidence	ND					
Last Activity (Year)	Early Pleistocene					
SLIP PARAMETERS						
Recurrence Interval (yr)						
Slip Rate (mm/yr)						
Max Credible Rupture Length (km)						
Max Credible Slip (m)						
Time Since Last Event (yr)						
Max Known Magnitude (Mw)						
Max Known Intensity (MCS)						
Known Seismic Events						
FINAL REMARKS						
Capability Consensus	Medium reliability					
Study Quality	LOW					
Notes						
Fault Trace Reference						
Last Update						

Tabella 23 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace code: 61604.

8.3 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico.

Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame.

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	97 di 122

Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

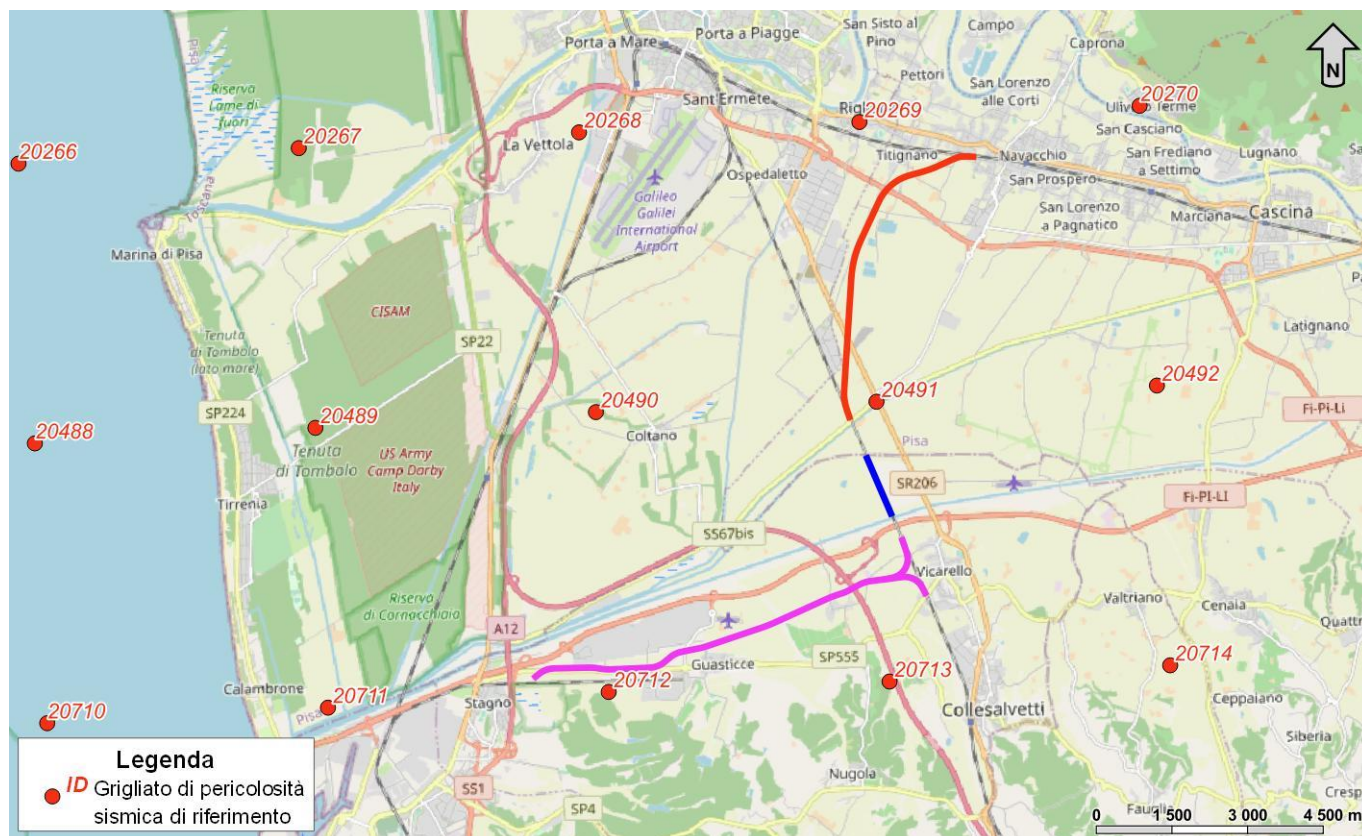


Figura 66 – Griglia di riferimento per il settore oggetto di studio, con indicazione schematica dell’area di studio (collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada e ramo sud: magenta; Autoparco Il Faldo: blu; Bypass Pisa: rosso) e dei punti del grigliato scelti.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all’*input* sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell’onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

All’indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell’INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella “Mappa di Pericolosità Sismica” dell’Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo la normativa vigente.

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno T_r pari a 475.

Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. paragr. 3.2). I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

ID	Longitudine	Latitudine	a_g	F_0	T_c^*
20268	10.378	43.694	0.119	2.410	0.280
20269	10.447	43.695	0.120	2.440	0.280
20270	10.516	43.697	0.119	2.480	0.280
20489	10.312	43.642	0.113	2.490	0.270
20490	10.381	43.644	0.122	2.490	0.270
20491	10.450	43.645	0.127	2.490	0.270
20492	10.519	43.647	0.129	2.490	0.270
20711	10.314	43.592	0.127	2.410	0.270
20712	10.383	43.594	0.138	2.420	0.270
20713	10.452	43.595	0.141	2.440	0.270
20714	10.521	43.597	0.142	2.450	0.270

Tabella 24 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno T_r pari a 475 anni, le coordinate sono espresse in gradi decimali (EPSG:4230).

8.4 Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento

I parametri forniti, in funzione di quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale. Relativamente alla caratterizzazione sismica di un sito la normativa citata (D.M. 17/01/2018 – G.U. Serie Generale n. 42 del 20-2-2018) prevede la determinazione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s). Nel caso di depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrisponde al parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

8.4.1 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

La determinazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata attraverso indagini di tipo geofisico, quali prove *down-hole* e prospezioni sismiche MASW, che forniscono indicazioni dirette relativamente al valore di $V_{s,eq}$. Si riportano nel seguito le categorie di sottosuolo previste dalla normativa vigente:

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

Nell'ambito del presente studio, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione di n. 10 prove masw appositamente realizzate a corredo del presente studio e in funzione di n. 4 prova Down-Hole disponibili. Nella Tabella 25 e nella Tabella 26 si riporta una sintesi dei risultati delle prove, contenente i valori di $V_{s,eq}$ determinati, la categoria di sottosuolo corrispondente e una sintesi dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza della prova.

sigla	tipologia	$V_{s,eq}$ m/s	H m	categoria di sottosuolo	unità geologiche
MASW 1	masw	130	30	D	bb2/bb3
MASW 2	masw	133	30	D	bb3
MASW 3	masw	190	30	C	bb3/QVC
MASW 4	masw	150	30	D	bb3/QVC
MASW 5	masw	177	30	D	bb3
MASW 6	masw	202	30	C	bb2/bb3
MASW 7	masw	175	30	D	bb3
MASW 8	masw	195	30	C	bb2/bb3/QVC
MASW 9	masw	198	30	C	bb3
MASW 10	masw	173	30	D	bb3

Tabella 25 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate a corredo del presente studio Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..

sigla	tipologia	$V_{s,eq}$ m/s	categoria di sottosuolo	unità geologiche
S1	Down-Hole	123	D	bb3/bb2
DH_sz86_S2	Down-Hole	145	D	bb3/bb2
DH_sz167_1	Down-Hole	78	D	bb3/bb2
DH_sz169_1	Down-Hole	148	D	bb3/bb2

Tabella 26 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate nell'ambito della campagna indagini Guasticce.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

In relazione a quanto emerso dalle analisi geofisiche appositamente realizzate, i settori di studio sono caratterizzati da una categoria di sottosuolo variabile tra **D** (*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*) e **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*). Per quanto riguarda la categoria topografica, invece, tutta l'area di studio è caratterizzata da una categoria **T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$*).

8.5 Analisi del rischio di liquefazione

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace (Riga 2007). Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Ovviamente, per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state condotte una serie di analisi qualitative basate sia sugli studi bibliografici di maggior rilievo a livello internazionale.

8.5.1 Analisi qualitative

I metodi qualitativi si basano sulla conoscenza di parametri di studio come il contesto geologico-stratigrafico-geomorfologico, topografia dell'area e livello di falda. Esistono diversi criteri di classificazione in termini qualitativi, di seguito si riportano quelli più diffusi.

Classe	Unità geomorfologica	Potenziale di liquefazione
A	Letti di fiumi recenti, paleoalvei, paludi, zone bonificate, zone interdunari.	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune di sabbia, pianure di esondazione, spiagge, altre pianure.	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne.	Non probabile

Figura 67 - Unità geomorfologiche e suscettività alla liquefazione (Iawasaki e al., 1982), tratta da “La liquefazione dei terreni” Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

Fattore	Peso	Susceptibilità alla liquefazione				
		Molto alta	Alta	Media	Bassa	Molto bassa
Profondità del livello della falda	Molto importante	< 1,5 m	< 1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	> 10,0
Dimensione dei grani	Molto importante	0,075 - 1 mm	1 - 3 mm	> 3 mm	< 0,075 mm	-
Profondità del deposito	Molto importante	1,5 - 3 m	3 - 6 m	6 - 10 m	< 1,5 m	> 10 m
Strato ricoprente	Molto importante	-	-	Ricoprimento buono	Ricoprimento discreto	Ricoprimento assente
Età del deposito	Importante	< 500 anni	Tardo Olocene ⁽¹⁾	Olocene	Pleistocene ⁽²⁾	Pre-Pleistocene
Spessore dello strato liquefacibile	Importante	> 2 m	1,2 - 2,5 m	0,6 - 1,2 m	< 0,6 m	-

Note: ⁽¹⁾ ≤ 10.000 anni; ⁽²⁾ 10.000 - 1,6 milioni di anni

Figura 68 - Fattori, pesi e criterio per valutare la suscettibilità alla liquefazione di un sito (Juang e Elton, 1991), tratta da "La liquefazione dei terreni" Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

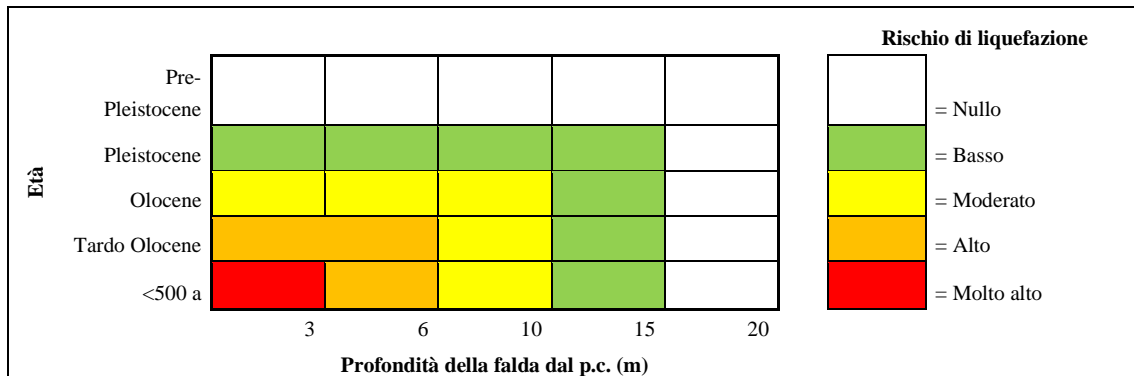


Tabella 27 - Rischio liquefazione in funzione dell'età del deposito e della profondità della falda, tratta da "La liquefazione dei terreni" Giulio Riga, 2007, ridisegnata – Dario Flaccovio Editore.

Età del deposito	Profondità della falda dal p.c. (m)		
	0-3 m	3-10 m	> 10 m
Tardo Olocene	Alta	Bassa	Nulla
Primo Olocene	Moderata	Bassa	Nulla
Tardo Pleistocene	Bassa	Nulla	Nulla

Tabella 28 - Susceptibilità alla liquefazione (Obermeier, 1996), tratta da "La liquefazione dei terreni" Giulio Riga, 2007 – Dario Flaccovio Editore.

Preliminarmente, quindi, il primo *step* delle analisi è stato condotto in riferimento alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell'area di intervento, attraverso valutazioni speditive e di carattere puramente qualitativo circa la possibilità di liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Sulla base dei criteri riportati, che considerano la genesi, la natura e l'età assoluta dei depositi, risulta che i terreni presenti nell'area di intervento riferibili agli orizzonti sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb2**) risultano potenzialmente liquefacibili. In termini qualitativi i settori caratterizzati da depositi di genesi alluvionale a granulometria sabbiosa e sabbioso-limoso presentano una suscettibilità variabile da moderata ad alta.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 102 di 122

Alla luce delle considerazioni espresse e in linea con l'ultima normativa vigente in materia si è proceduto ad effettuare un approfondimento analitico per le due unità geologiche sopra indicate.

8.5.2 *Analisi semi-quantitative*

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace (Riga 2007). Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Ovviamente, per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state condotte una serie di analisi qualitative basate sulle procedure dettate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018. L'attuale normativa vigente in materia di costruzioni edilizie (NTC2018 - par. 7.11.3.4.2) prevede che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometriche esterna ai fusi granulometrici indicati da normativa, distinti in funzione del coefficiente di uniformità U_c .

In particolare, se la condizione 1 non risulta soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4. Pertanto, in relazione a quanto previsto dall'NTC 2018, sono state condotte una serie di analisi puntuali volte a verificare tutte le condizioni predisponenti elencate in precedenza, al fine di determinare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Per quanto detto in precedenza, le verifiche sono state condotte unicamente per i terreni alluvionali posti a profondità inferiori ai 15 m dal p.c., in quanto al di sotto non è possibile che si verificano tali fenomeni. Ovviamente le suddette analisi hanno un carattere generale e, pertanto, andranno puntualmente dettagliate attraverso verifiche geotecniche basate sulla resistenza dinamica e sull'effettivo stato di addensamento dei terreni investigati.

Le fonti bibliografiche a disposizione e lo studio relativo alla sismicità storica e alla pericolosità sismica condotto hanno evidenziato che, nell'area di intervento, si sono verificati diversi terremoti con magnitudo M superiore a 5. In particolare, le opere in progetto del "Bypass di Pisa" ricadono all'interno della **Zona 916 "Versilia-Chianti"**.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 5-8$ km) e di medio-bassa magnitudo ($M_{max} = 5.68$), con meccanismi di fagliazione normale. Mentre, le opere relative al “Collegamento Guasticce-linea Pisa-Vada” e “Autoparco di Faldo” ricadono all’interno della **Zona 921 “Etruria”**. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, in questa zona sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 1-5$ km) e di medio-bassa magnitudo ($M_{max} = 5.91$), con meccanismi di fagliazione normale.

Le accelerazioni massime attese al piano campagna, in condizioni di campo libero, sono risultate essere generalmente superiori al limite definito da normativa, in quanto variabili tra $0.100-0.150 a_g$ (Figura 64). In relazione a quanto detto e considerata la presenza delle condizioni predisponenti esposte nel punto 1 dell’NTC 2018, si è quindi proceduto alla verifica dei punti 2, 3 e 4 del paragrafo “7.11.3.4.2 – Esclusione della verifica a liquefazione”, in modo da rispondere puntualmente a tutti i quesiti posti da norma.

Per quanto concerne la falda, in assenza di dati di monitoraggio sono state considerate le letture della superficie piezometrica eseguite nel corso delle prove penetrometriche statiche congiuntamente ai dati bibliografici disponibili per il settore di studio. Tali dati hanno evidenziato la presenza di una falda freatica, posta a quote comprese tra 1 e i 10 m dal p.c. (cfr. 7.2 - Livelli piezometrici). Tale falda risulta quindi al di sopra del limite di 15 m previsto da normativa per tutti i sondaggi presenti.

Nella zona in esame i dati a disposizioni sono rappresentati da prove penetrometriche statiche e SPT. Per quanto riguarda le prove penetrometriche statiche (CPT), sono stati determinati i valori della resistenza normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa sulla base della formula seguente (Seed & Idriss 1982; Skempton 1986; Robertson & Wride 1998; Riga 2007):

$$q_{c1N} = C_q \cdot \left(\frac{q_c}{p_a} \right)$$

$$C_q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

dove p_a è la pressione atmosferica (100kPa).

Le profondità degli orizzonti esaminati sono state discriminate sulla base delle ricostruzioni litostratigrafiche del profilo geologico (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) e in accordo con la carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson 1990).

Di seguito vengono identificati le profondità degli orizzonti che secondo la classificazione di Robertson (1990) rientrano nella classe Sabbie e sabbie limose e nella classe Sabbie limose e limi sabbiosi.

Progetto	Campagna indagini	Prova	Litologia da profilo	Profondità strato liquefacibile <i>m</i>
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 22	bb2	12.2 - 14.1



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	104 di 122

Progetto	Campagna indagini	Prova	Litologia da profilo	Profondità strato liquefacibile <i>m</i>
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 21	bb2	9.8 - 11.2
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 19	bb2	17.6 - 22.2
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 18	bb2	17.9 - 19.1
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 17	bb2	5.2 - 6.1
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 17	bb2	18.9 - 20.0
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 16	bb2	7.2 - 10.0
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 6	bb2	6.9 - 7.9
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 5	bb2	27.1 - 27.8
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 1	bb2	21.5 - 22.8

Progetto	Campagna indagini	Prova	Litologia da profilo	Profondità strato liquefacibile <i>m</i>
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU13B	bb2	23.7 - 24.9
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 13	bb2	6.5 - 7.5
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 12	bb2	0.8 - 1.6

Tabella 29 – Sintesi delle profondità degli orizzonti sabbioso-limosi individuati lungo ciascuna verticale, nella zona in esame.

Le prove eseguite alle profondità sopra esposte hanno evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da valori di resistenza penetrometrica sempre piuttosto bassi e nettamente al di sotto del limite di (q_c1N) definito da normativa e calcolato secondo Robertson & Wride (1998), che confermano la presenza di orizzonti litologici potenzialmente suscettibili di liquefazione, come riportato nella tabella seguente.

Progetto	Campagna indagini	Prova	Unità	Profondità prova <i>m</i>	q_c <i>MPa</i>	(q_c1N) <i>kPa</i>
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 22	bb2	12.2 - 14.1	2.60	22
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 21	bb2	9.8 - 11.2	2.57	25
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 19	bb2	17.6 - 22.2	9.26	52
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 18	bb2	17.9 - 19.1	13.00	85

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	106 di 122

Progetto	Campagna indagini	Prova	Unità	Profondità prova <i>m</i>	q_c <i>MPa</i>	(q_c1N) <i>kPa</i>
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 17	bb2	5.2 - 6.1	1.51	21
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 17	bb2	18.9 - 20.0	4.80	30
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 16	bb2	7.2 - 10.0	3.16	32
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 16	bb2	15.8 - 17.1	7.64	52
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 6	bb2	6.9 - 7.9	1.36	13
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 5	bb2	27.1 - 27.8	12.49	57
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 1	bb2	21.5 - 22.8	5.03	26
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU13B	bb2	23.7 - 24.9	3.77	20
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 13	bb2	6.5 - 7.5	2.29	19*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
	STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D

Progetto	Campagna indagini	Prova	Unità	Profondità prova <i>m</i>	<i>q_c</i> MPa	(<i>q_c1N</i>) kPa
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.	SCPTU 12	bb2	0.8 - 1.6	3.34	115*

Tabella 30 - Parametri di sintesi dei valori di q_c e di resistenza normalizzata (q_c1N) relativi ai terreni interessati dalle analisi di suscettività a liquefazione; sono evidenziati gli orizzonti con (q_c1N) < 180, * prova sopra falda.

I risultati delle prove penetrometriche statiche disponibili, evidenziano una alta probabilità di suscettibilità al fenomeno della liquefazione nel settore specifico relativamente agli orizzonti sabbioso limosi analizzati. I valori di q_c1N risultano tutti inferiori al valore di 180 previsto da normativa. In particolare, si sottolinea che sulla base dei dati del livello piezometrico disponibili, gli orizzonti sabbioso-limosi delle prove SCPTU 13 e SCPTU 12 risultano sopra il livello di falda. Tali orizzonti sono stati considerati comunque potenzialmente liquefacibili data l'assenza di un monitoraggio piezometrico che faccia escludere l'eventuale risalita del livello idrico.

Relativamente alla resistenza penetrometrica dei terreni, le verifiche sono state condotte in relazione alle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio durante le fasi di perforazione. Sono stati quindi determinati i valori della resistenza normalizzata sulla base della formula seguente (Seed & Idriss 1982; Skempton 1986; Robertson & Wride 1998; Riga 2007):

$$(N_1)_{60} = (N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S) \cdot C_N = (N)_{60} \cdot C_N$$

dove N_{SPT} è la misura della resistenza penetrometrica in sito, C_N il fattore per la normalizzazione alla pressione effettiva di 1 atmosfera, e C_E , C_B , C_R e C_S i fattori di correzione rispettivamente per il rapporto di energia, il diametro del foro, la lunghezza delle aste e i campioni.

campagna indagini	sondaggio	unità	profondità prova <i>m</i>	N_{SPT}	(N_1) ₆₀
Italferr 2020	S1_2020	bb2	24.7	6	3
Italferr 2020	S1_2020	bb2	28.2	8	4

Tabella 31 - Parametri di sintesi dei valori di N_{SPT} e di resistenza penetrometrica normalizzata (N_1)₆₀ relativi ai terreni interessati dalle analisi di suscettività a liquefazione, in arancione sono segnalati gli orizzonti con (N_1)₆₀ < 30.

Tali prove hanno evidenziato, in particolare, la presenza di terreni caratterizzati da valori di resistenza penetrometrica localmente al di sotto del limite di (N_1)₆₀ definito da normativa (Tabella 31). Tali terreni si riferiscono all'orizzonte sabbioso-limoso che si rinviene ad oltre 22 m dal p.c. nel tratto iniziale del Collegamento Guasticce – linea Pisa-Vada.

Di seguito si riportano le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, che presentano una percentuale di argilla inferiore al 10%, nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa. A tal riguardo, si sottolinea che i limiti dimensionali delle varie classi granulometriche, riportati nella parte alta di ogni grafico, sono indicati seguendo gli *standard* metodologici proposti dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

In generale, le verifiche condotte hanno evidenziato che i campioni di terreno analizzati ricadono dentro al fuso granulometrico critico indicato da normativa e quindi potenzialmente suscettibile di liquefazione, a meno dei campioni S4CI4, S4CI5 e S4CR6.

Inoltre, si sottolinea che tutti i campioni analizzati, a meno dei campioni S1SPT4 e S5CR1, sono stati prelevati a profondità superiori ai 15 m dal p.c.; al di sotto di tale profondità non è possibile che si verifichino fenomeni di liquefazione.

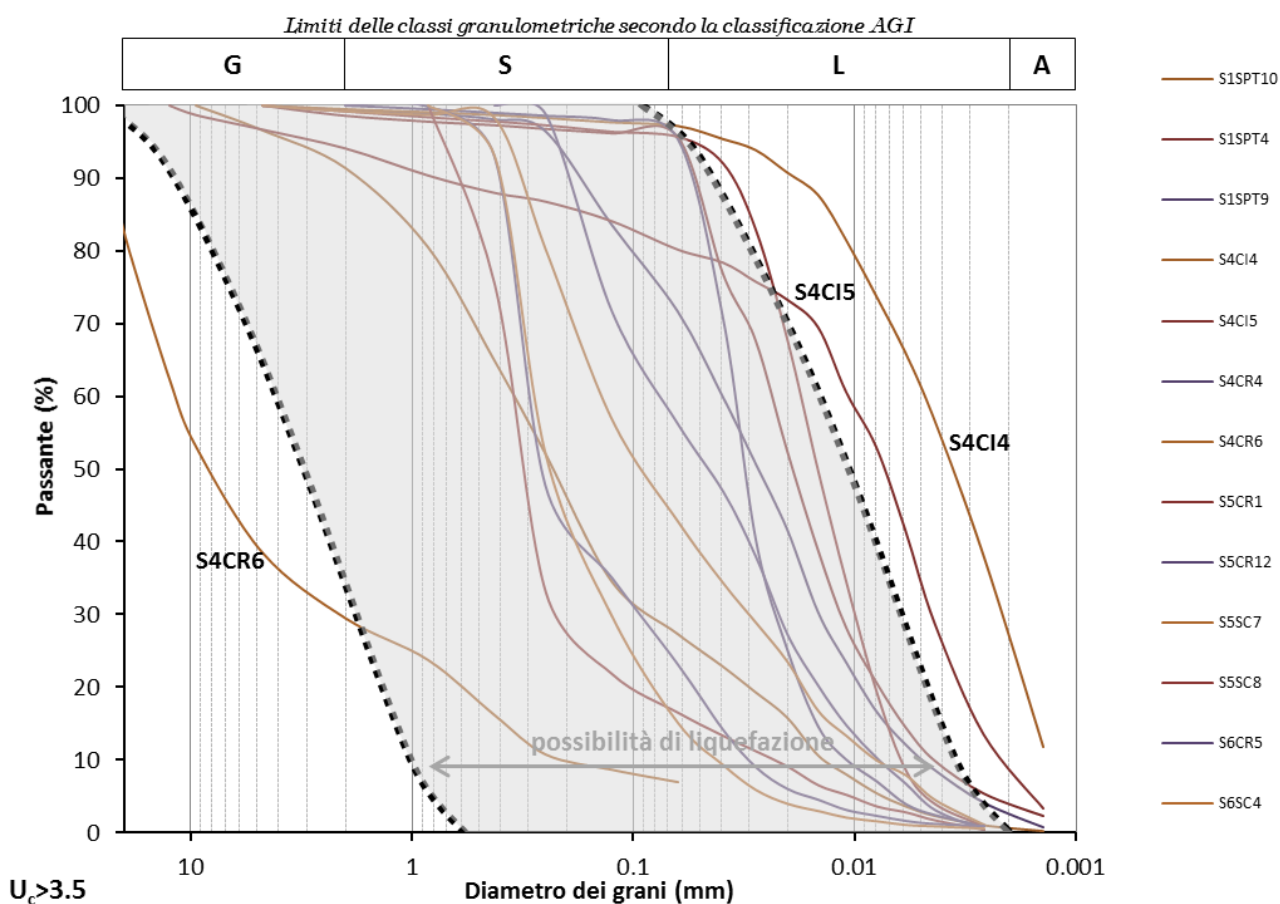


Figura 69 - Curve granulometriche dei campioni disponibili. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli - $U_c > 3.5$ (NTC 2018).

In funzione degli studi eseguiti sono presenti locali orizzonti sabbioso-limosi potenzialmente liquefacibili, in particolare sono stati individuati orizzonti potenzialmente liquefacibili sotto i 15 m da p.c.; ma considerata la profondità si ritiene che la probabilità di liquefazione per tali orizzonti sia relativamente bassa.

Ad ogni modo, si sottolinea la necessità di condurre, nelle successive fasi di approfondimento progettuale, analisi geotecniche al fine di definire in maniera quantitativa i possibili effetti di eventuali fenomeni di liquefazione sulle opere in progetto.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 109 di 122

9 DESCRIZIONE DEI SETTORI DI INTERVENTO

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire, in maniera commisurata al grado di approfondimento del progetto in corso, il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Nelle pagine che seguono viene quindi analizzato l'intero settore di intervento, opportunamente suddiviso in tratti omogenei relativi alle differenti opere in esame. Per ogni singolo tratto, in particolare, vengono descritte tutte le principali caratteristiche geologiche *s.l.* e gli aspetti più salienti ai fini progettuali.

Nel seguito, si fa quindi esplicito riferimento a quanto riportato nelle apposite cartografie tematiche ed al profilo longitudinale ricostruito lungo l'asse dei tracciati ferroviari in progetto. In particolare, per quanto concerne le unità geologiche presenti nei vari settori di interesse, si riportano direttamente i nomi e le sigle contenute nelle diverse cartografie geologiche realizzate a corredo della presente relazione. Infine, per quanto riguarda gli spessori e l'assetto delle singole unità litostratigrafiche, si fa riferimento ai dati contenuti negli studi bibliografici a disposizione e alle risultanze delle diverse indagini geognostiche appositamente realizzate nelle diverse campagne di indagine esplicate.

In particolare, il presente studio è relativo alla progettazione del:

- collegamento Guasticce – linea Pisa – Vada;
- collegamento Guasticce – linea Pisa – Vada-ramo sud;
- autoparco Il Faldo;
- bypass di Pisa.

9.1 Collegamento Guasticce – linea Pisa – Vada

Le opere del collegamento Guasticce – linea Pisa - Vada (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) si sviluppano nel comune di Collesalveti con una lunghezza di circa 8+403 km.

Di seguito vengono descritti da ovest verso est, i diversi tratti relativi al lotto del tracciato ferroviario in questione, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto o delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

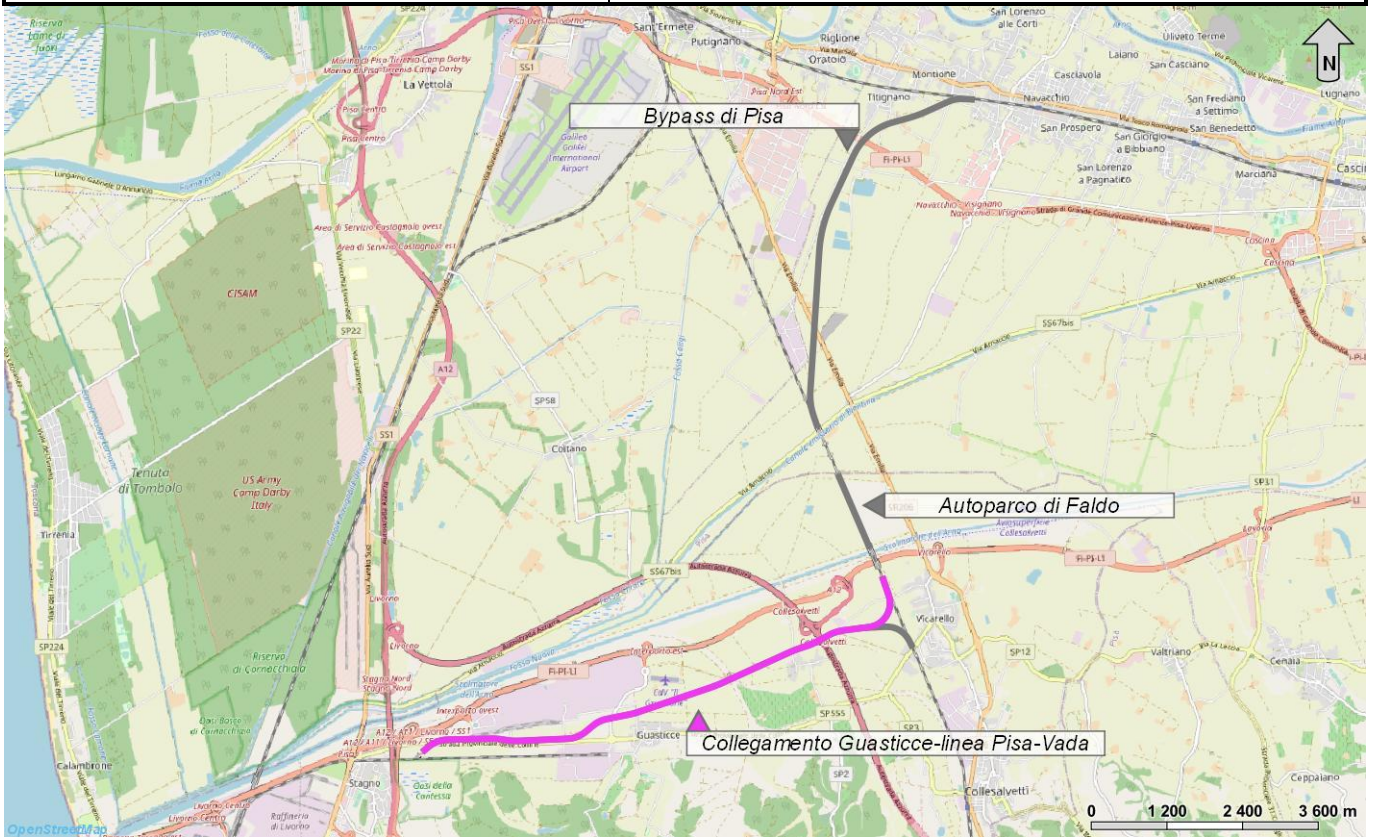


Figura 70 – Stralcio di individuazione del progetto denominato “Collegamento Guasticce – linea Pisa-Vada”.

9.1.1 Opere km 0+000 – km 1+500

Il tratto in questione si colloca nella porzione sud-occidentale dell’area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all’aperto, a quote variabili tra 0 e i 3 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per gran parte del suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Localmente sono intercalate lenti sabbioso-limose (**bb2**) con spessori variabile tra 2 e 14 m e nel tratto iniziale tre lenti di torbe (**bb4**) ad una profondità di oltre 23, 35 e 47 m dal p.c., con uno spessore rispettivamente di circa 3, 10 e 2 m. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore massimo di circa 3 m. Il substrato geologico dell’area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Casa Poggio ai Lecci (**QPL**) in appoggio sui litotipi delle Argille azzurre (**FAA**). Il substrato geologico si rinviene nel tratto iniziale ad oltre 44 m dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un’area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all’interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra -3 e -4 m s.l.m..

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 111 di 122

9.1.2 Opere km 1+500 – km 4+800

Il tratto in questione si colloca nella porzione occidentale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 0 e 2 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per gran parte del suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Ad una profondità di circa 22-25 m dal p.c si rinviene una lente sabbioso-limose della medesima unità (**bb2**) con uno spessore variabile tra 7 e 14 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore esiguo.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra -2.0 e -5.5 m s.l.m..

9.1.3 Opere km 4+800 – km 7+300

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-meridionale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 0 e 3 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per quasi tutto il suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Nel tratto centrale si rinvengono due lenti di depositi sabbioso-limosi (**bb2**) con uno spessore di circa 2 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore esiguo. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Vicarello (**QVC**) e si rinviene a profondità variabili tra 4.0 e 52 m dal p.c.. decrescenti verso est.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 0 e -4.8 m s.l.m..

9.1.4 Opere km 7+300 – km 8+403

Il tratto in questione si colloca nella porzione sud-orientale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 2.5 e 5.5 m circa s.l.m..

Il tracciato intercetta nel tratto iniziale il substrato geologico dell'area rappresentato dai litotipi della Formazione di Vicarello (**QVC**) in appoggio sui termini della Formazione di Casa Poggio ai Lecci (**QPL**) e sulle Argille azzurre (**FAA**). Nel tratto centrale tali depositi passano in contatto stratigrafico erosivo ai terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**), con uno spessore massimo di circa 20 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore esiguo.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti e all'interno della porzione più superficiale e alterata dei depositi del substrato, posta a quote assolute variabili tra -2 e -11 m s.l.m..

9.2 Collegamento Guasticce – linea Pisa – Vada-ramo sud

Le opere del collegamento Guasticce – Linea Pisa - Vada – ramo sud (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) si sviluppano nel comune di Collesalveti con una lunghezza di circa 10+910 km.

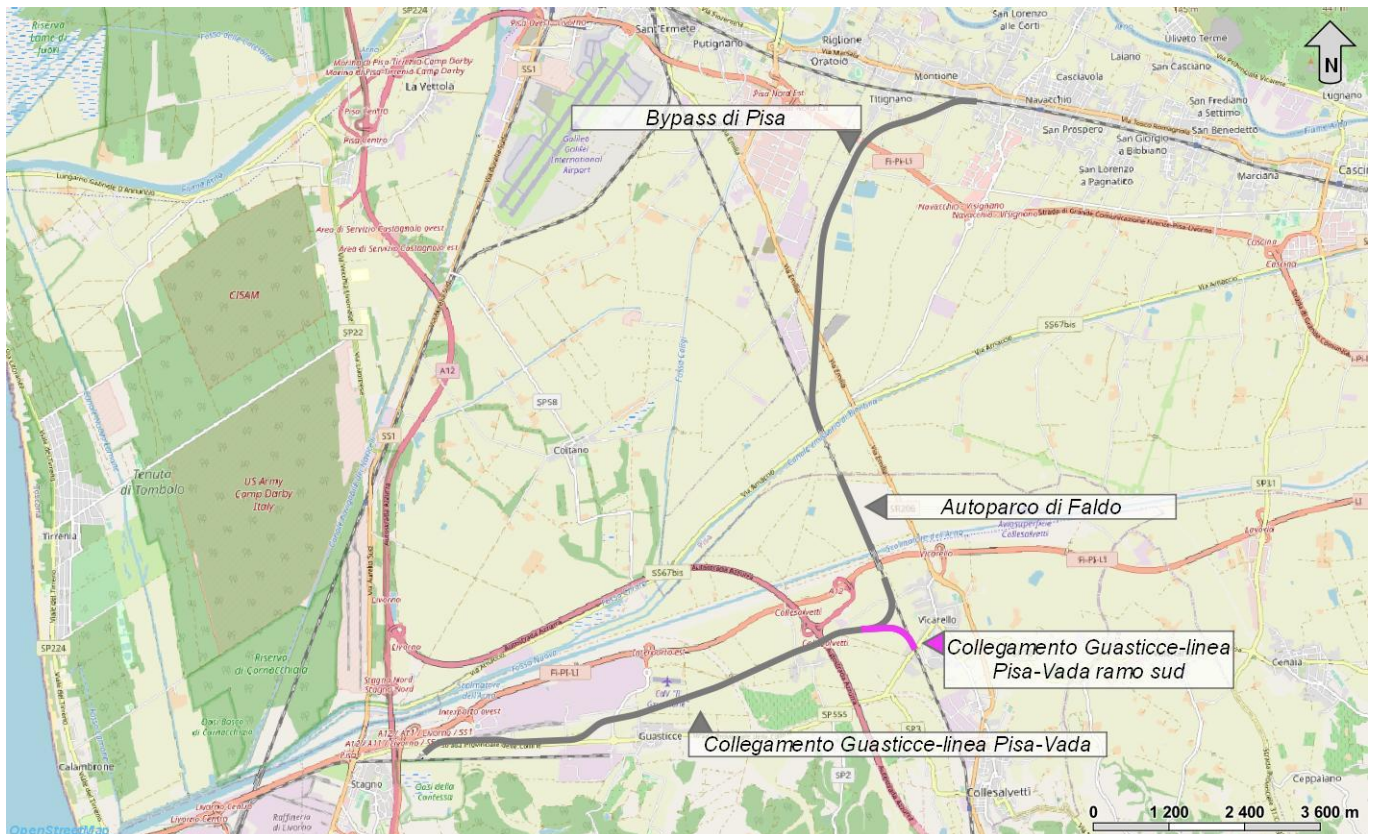


Figura 71 – Stralcio di individuazione del progetto denominato “Collegamento Guasticce – linea Pisa Vada ramo sud”.

9.2.1 Opere km 0+000 – km 0+910

Il tratto in questione si colloca nella porzione sud-orientale dell’area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all’aperto, a quote variabili tra 3 e i 5 m circa s.l.m..

Il tracciato intercetta nel tratto iniziale i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**), con uno spessore di circa 4.5 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore esiguo. Il substrato geologico dell’area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Vicarello (**QVC**) e si rinviene direttamente nel tratto iniziale e finale.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un’area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una falda freatica all’interno della porzione più superficiale e alterata dei depositi del substrato, posta a quote assolute di circa -3.5/-2.5 m s.l.m..

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	113 di 122

9.3 Autoparco Il Faldo

Le opere relative la tratta l'Autoparco il Faldo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) si sviluppano nel comune di Collesalveti al confine con il comune di Cascina per una lunghezza di circa 1+254 km.



Figura 72 – Stralcio di individuazione del progetto denominato “Autoparco Il Faldo”.

9.3.1 Opere km 0+000 – km 1+254

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 2.0 e 7.6 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per quasi tutto il suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Localmente si rinvencono lenti di depositi sabbioso-limosi (**bb2**) con uno spessore massimo di circa 2 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (**h**), con uno spessore variabile tra 0.5 e 5.5 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Casa Poggio ai Lecci (**QPL**) in appoggio sulla Formazione di Vicarello (**QPL**) e sulle Argille Azzurre (**FAA**). Il substrato geologico si rinviene ad oltre 45 m dal p.c. nel tratto iniziale e a oltre 50 m dal p.c. nel tratto finale.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	114 di 122

disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 0 e -7 m s.l.m..

9.4 Bypass di Pisa

Le opere relative al Bypass di Pisa (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) si sviluppano interamente nel comune di Cascina con una lunghezza di circa 6+555 km.

Di seguito vengono descritti da ovest verso est, i diversi tratti relativi al lotto del tracciato ferroviario in questione, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto o delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

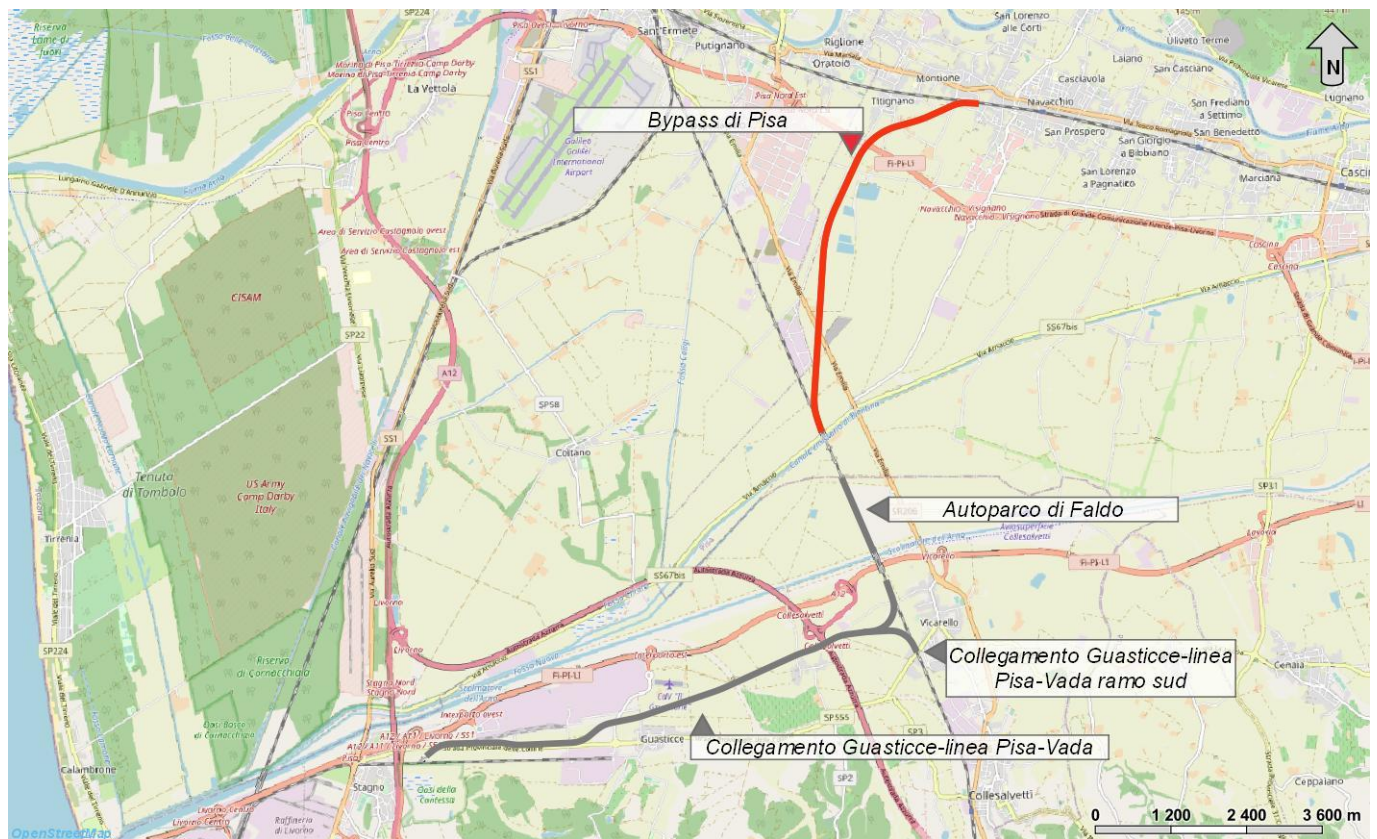


Figura 73 – Stralcio di individuazione del progetto denominato “Bypass di Pisa”.

9.4.1 Opere km 0+000 – km 1+050

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 0 e 4.5 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per quasi tutto il suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Nel tratto finale si rinviene una lente di depositi sabbioso-limosi (**bb2**) con uno spessore di circa 2.5 m e una lente di torbe (**bb4**) con uno spessore di circa 1 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA</p> <p>Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>					
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA</p> <p>NF0Q</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 00 01 001</p>	<p>REV.</p> <p>D</p>	<p>FOGLIO</p> <p>115 di 122</p>

(h), con uno spessore variabile tra 1 e 5 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Casa Poggio ai Lecci (**QPL**) in appoggio sulle Argille Azzurre (**FAA**). Il substrato geologico si rinviene a partire da circa 40 m dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute di circa -1/-3 m s.l.m..

9.4.2 Opere km 1+050 – km 3+800

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 1 e 2 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per quasi tutto il suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Localmente si rinvencono lenti di depositi sabbioso-limosi (**bb2**) con uno spessore variabile tra 1 e 16 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h), con uno spessore esiguo. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Casa Poggio ai Lecci (**QPL**) in appoggio sulle Argille Azzurre (**FAA**). Nel tratto finale il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione di Vicarello (**QVC**). Il substrato geologico si rinviene tra 41 m e 80 dal p.c., con profondità massima nel tratto centrale.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra -1 e -3 m s.l.m..

9.4.3 Opere km 3+800 – km 6+555

Il tratto in questione si colloca nella porzione nord-occidentale dell'area di studio. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra 1 e 4 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per quasi tutto il suo sviluppo i terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (**bb3**). Localmente si rinvencono lenti di depositi sabbioso-limosi (**bb2**) con uno spessore variabile tra 1.2 e 5.6 m. Nel tratto centrale ad oltre 28 m dal p.c. di rinviene una lente di torbe (**bb4**) con uno spessore di circa 5.5 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h), con uno spessore esiguo. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi della Formazione di Vicarello (**QVC**). Il substrato geologico si rinviene tra 19 m e 33 dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale della Piana di Pisa, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 0 e -3 m s.l.m..

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 116 di 122

10 CONCLUSIONI

Nell'ambito dell'esecuzione dello studio geologico per il "*Collegamento dell'interporto di Guasticce (LI) con la linea Pisa – Vada (LI) ed interconnessione della linea Pisa – Vada (LI) con la linea Firenze - Pisa*", sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso.

In particolare, il presente studio è relativo alla progettazione di fattibilità tecnica ed economica dei seguenti tratti:

- Autoparco Il Faldo nel comune di Collesalveti (LI);
- Bypass di Pisa nel comune di Cascina (PI).

La relazione geologica, al fine di definire un quadro più completo, ha analizzato, oltre che i due tratti sopra citati, anche le aree relative al tratto:

- Collegamento Interporto di Guasticce alla linea Pisa – Vada e collegamento Interporto di Guasticce alla linea Pisa – Vada-ramo sud nel comune di Collesalveti

L'area di studio ricade nel settore centro occidentale della regione Toscana, tra i centri abitati di Collesalveti e Cascina. L'area si colloca nella Piana di Pisa, che interessa il territorio -dei comuni di Pisa, Cascina e parte di quelli di San Giuliano Terme (PI), Vecchiano (PI), Collesalveti e Livorno. La piana è delimitata a ovest dal Mar Ligure, a nord dalla Versilia, a nord-est dai Monti Pisani, ad est dalla Valdera, a sud dalla Maremma Pisana e dalle Colline Livornesi

Dal punto di vista orografico il tracciato impegna settori di territorio di pianura posti a quote comprese tra 0 m s.l.m. e circa 6 m s.l.m. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o subpianeggianti. L'intenso grado di antropizzazione dell'area, in particolare, ha notevolmente modificato l'assetto morfologico originario a causa della messa in posto di ingenti spessori di materiali di risulta che, spesso, mascherano le reali condizioni geologiche e geomorfologiche.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Arno, che scorre a circa 1 km a nord del settore di stretto interesse progettuale, in direzione E-O. Ad esso si aggiungono lo Scolmatore dell'Arno e il canale Emissario, che scorrono nel settore meridionale dell'area di studio. Inoltre, sono presenti numerosi fossi e canali artificiali utilizzati per l'irrigazione e la bonifica. In particolare: Fosso la Tora, Fosso Fologno, Fossa Nuova, Fosso di Cerbareto, Fosso Solaiola, Fosso Torale, Fosso Zambriggiana, Fosso Titignano e Fosso degli Stecchi; tutti questi intercettano direttamente le opere in progetto da sud-ovest a nord-est.

Gli approfondimenti condotti dallo scrivente hanno consentito di definire i principali aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area, nonché l'assetto litostratigrafico locale, il tutto in misura commisurata alla loro incidenza specifica sul terreno e sul contesto ambientale complessivo.

In relazione agli esiti dello studio condotto dallo scrivente, l'area di progetto risulta priva di elementi di pericolosità geologica e geomorfologica, potenziali o in atto.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione delle fondazioni poiché i terreni presentano scadenti caratteristiche geotecniche essendo, questi, costituiti in prevalenza da limi argillosi compressibili e contenenti sostanze organiche.



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA

Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	117 di 122

In merito al fenomeno di liquefazione, trattato nel capitolo 8.5 “Analisi del rischio di liquefazione”, le analisi condotte sulla scorta dei dati disponibili evidenziano la presenza di orizzonti sabbioso-limosi suscettibili di liquefazione sotto i 15 m da p.c., ma considerata la profondità si ritiene che la probabilità di liquefazione per tali orizzonti sia relativamente bassa.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 118 di 122

11 BIBLIOGRAFIA

Aguzzi M., Amorosi A., Colalongo M.L., Ricci Lucchi M., Rossi V., Sarti G., Vaiani S.C., 2007. Late Quaternary climatic evolution of the Arno coastal plain (Western Tuscany, Italy) from subsurface data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2002: 211-229.

Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A., 1987. Neotectonic Map of Italy, scale 1:500000. C.N.R.-P.F.G., Sottoprogetto Neotettonica: Fogli 1-6.

Ambrosetti P., Carboni M.G., Conti M.A., Costantini A., Esu D., Gadin A., Girotti O., Lazzarotti A., Mazzanti R., Nicosia U., Parisi G., Sandrelli F., 1978. Evoluzione paleogeografica e tettonica dei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore. *Memorie della Società Geologica Italiana* 19: 573-580.

Amorosi A., Bini M., Giacomelli S., Pappalardo M., Ribecai C., Rossi V., Sammartino I., Sarti G., 2013. Middle to late Holocene environmental evolution of the Pisa coastal plain (Tuscany, Italy) and early human settlements. *Quaternary International* 303: 93-106.

Amorosi A., Pavesi M., Ricci Lucchi M., Sarti G., Piccin A., 2008. Climatic signature of cyclic fluvial architecture from the Quaternary of the central Po Plain, Italy. *Sedimentary Geology* 209: 58-68.

Amorosi A., Ricci Lucchi M., Rossi V., Sarti G., 2009. Climate change signature of small-scale parasequences from Lateglacial-Holocene transgressive deposits of the Arno valley fill. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273: 142-152.

Amorosi A., Rossi V., Sarti G., Mattei R., 2013. Coalescent valley fills from the late Quaternary record of Tuscany (Italy). *Quaternary International* 288: 129-138.

Amorosi A., Sarti G., Rossi V., Fontana V., 2008. Anatomy and sequence stratigraphy of the late Quaternary Arno valley fill (Tuscany, Italy). *Advances in Application Sequential Stratigraphy* 1: 55-66.

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino settentrionale, 2019. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Arno.

Baldacci F., Bellini L., Raggi G., 1994. Risorse idriche sotterranee della Pianura Pisana. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali* 101: 241-322.

Baldacci F., Raggi G., 1982. Lineamenti geologici ed idrogeologici della regione dell'Appennino Ligure - Toscano a Nord dell'Arno.. *Contributo alle conoscenze delle risorse geotermiche del territorio italiano* 13: 67-85.

Bally A.W., Burbi L., Cooper C., Ghelardoni R., 1986. Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines. *Memorie della Società Geologica Italiana* 35: 257-310.

Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Di Filippo M., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E., Sandrelli F., Toro B., 1991. Struttura geologica tra i monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana Meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. *Studi Geologici Camerti Vol. Spec. 1991/1*: 155-178.

Bigi S., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., 1992. Structural model of Italy. Scale 1:500.000 (fogli 1-6). CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica 114.

	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA</p> <p>Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>												
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF0Q</td> <td>00</td> <td>F 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>D</td> <td>119 di 122</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	119 di 122
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	119 di 122								

Boccaletti M., Sani F., 1998. Cover thrust reactivations related to internal basement involvement during Neogene-Quaternary evolution of the northern Apennines. *Tectonics* 17: 112-130.

Bonardi G., Ciarcia S., Di Nocera S., Matano F., Sgrosso I., Torre M., 2009. Carta delle Principali Unità Cinematiche dell'Appennino Meridionale. Nota Illustrativa. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 128: 47-60.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise L., Gasperini P., 2000. Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Annali di Geofisica* 43: 609-868.

Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F., 1989. Rocce e successioni sedimentarie. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Bruni S., Cosci M., 2003. Aphaea veterem contemptor originis urbem, quam cingunt geminis Arnus et Ausur aquis. Il paesaggio di Pisa etrusca e romana: Materiali e problemi. In: Bruni S. (ed), *Il Porto Urbano di Pisa Antica, La fase Etrusca. Il Contesto e il Relitto Ellenistico*, Milano: 29-43.

Buonanno A., Pertusati S., Zuppetta A., 2007. Structural Evolution of the Fortore Unit (Southern Apennines, Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 126: 497-510.

Butler B.C.M., Bell J.D., 1996. Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli Editore, Bologna.

Cantini P., Testa G., Zanchetta G., Cavallini R., 2001. The Plio-Pleistocene evolution of extensional tectonics in northern Tuscany, as constrained by new gravimetric data from the Montecarlo Basin (lower Arno Valley, Italy). *Tectonophysics* 330: 25-43.

Carmignani L., Decandia F.A., Fantozzi P., Lazzarotto A., Liotta D., Meccheri M., 1994. Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Tectonophysics* 238: 295-315.

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudina A., Funedda A., Pasci S., 2001. Geologia della Sardegna. Note illustrative della Carta geologica della Sardegna alla scala 1:200000. *Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma* 60: 283.

Carraro F., 2012. Geologia del Quaternario. L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Casadio M., Elmi C., 1999. Il manuale del geologo. Pitagora Editrice, Bologna.

Casati P., 1991. Scienze della terra. Città Studi Edizioni.

Celico P., 1986. Prospezioni idrogeologiche. Liguori Editore, Napoli.

Civita M., 1972. Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. *Memorie e note dell'Istituto di Geologia Applicata e Arte mineraria* 12.

CNR-PFG, 1985. Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. In: Postpischl D. (ed), *CNR-PFG V. 2B*, Bologna.

Comune di Cascina, 2014. Variante di monitoraggio al Regolamento Urbanistico con contestuale Variante al Piano Strutturale.

Comune di Collesalvetti, 2004. Indagini geologico tecniche di supporto al Piano Strutturale.

	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA</p> <p>Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>												
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF0Q</td> <td>00</td> <td>F 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>D</td> <td>120 di 122</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	120 di 122
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	120 di 122								

Comune di Pisa, 2015. Relazione Generale e Allegati Tecnici del Piano Strutturale del Comune di Pisa. Available online: http://www.comune.pisa.it/doc/sit-pisa/nuovo_prg/relaz.htm (accessed on 7 December 2015).

Costantini A., Lazzarotto A., Maccantelli M., Mazzanti R., Sandrelli F., Tavarnelli E., 1995. Geologia della Provincia di Livorno a sud del Fiume Cècina. Supplemento n.2 ai Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno 13: 1-164.

Cremonini G., 1994. Rilevamento geologico. Realizzazione e interpretazione delle carte geologiche. Pitagora Editrice, Bologna.

Decandia F.A., Lazzarotto A., Liotta D., 1993. La serie ridotta nel quadro della geologia della Toscana Meridionale. Memorie della Società Geologica Italiana 49: 181-191.

Della Rocca B., Mazzanti R., Pranzini E., 1987. Studio geomorfologico della pianura di Pisa. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 10: 56-84.

Di Bucci D., Corrado S., Naso G., Parotto M., Praturlon A., 1999. Evoluzione Tettonica Neogenico-Quaternaria dell'Area Molisana. Bollettino della Società Geologica Italiana 118: 13-30.

Di Bucci D., Tozzi M., 1992. La linea “Ortona-Roccamonfina”: Revisione dei dati esistenti e nuovi contributi per il settore settentrionale (Media valle del Sangro). Studi Geologici Camerti vol. spec. 1991/92: 397-406.

DISS Working Group, 2018. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1.: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Dogliani C., Moretti I., Roure F., 1991. Basal lithospheric detachment, eastward mantle flow and Mediterranean geodynamics: a discussion. Journal of Geodynamics 13: 47-65.

Elter F.M., Sandrelli F., 1995. La fase post-nappe nella Toscana meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino settentrionale. Atti Ticinensi di Scienze della Terra 37: 173-193.

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/>.

Hallam A., 1985. Interpretazione delle facies e stratigrafia. Pitagora Editrice, Bologna.

ISPRA, 2010. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 273, Pisa. Servizio Geologico d'Italia.

ISPRA, 2016. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 284, Rosignano Marittimo. Servizio Geologico d'Italia.

ITHACA Working Group, 2019. ITHACA (ITaly HAZard from Capable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>. ISPRA Geological Survey of Italy.

Lambeck K., Antonioli F., Anzidei M., Ferranti L., Leoni G., Scicchitano G., Silenzi S., 2011. Sea level change along the Italian coast during the Holocene and projections for the future. Quaternary International 232: 250-257.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa					
STUDIO GEOLOGICO RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NF0Q	LOTTO 00	CODIFICA F 69 RG	DOCUMENTO GE 00 01 001	REV. D	FOGLIO 121 di 122

Lentini F., Carbone S., Catalano S., Monaco C., 1990. Tettonica a thrust neogenica nella catena appenninico-maghrebide: esempi dalla Lucania e dalla Sicilia. Studi Geologici Camerti vol. suppl. 1990: 19-26.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico, Antonucci A., 2019. Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Malinverno A., Ryan W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. Tectonics 5: 227-245.

Martini I.P., Sagri M., 1993. Tectono-sedimentary characteristic of late Miocene-Quaternary extensional basin of Northern Apennines. Earth Science Reviews 34: 197-233.

Mazzanti R., 2016. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 284, Rosignano Marittimo. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1.

Meletti C., Valensise G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Mostardini F., Merlini S., 1986. Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di un modello strutturale. Memorie della Società Geologica Italiana 35: 177-202.

Ogniben L., 1973. Carta del modello strutturale d'Italia. Fogli Sud n. 1-2, scala 1:1.000.000, Roma.

Parotto M., Praturlon A., 1975. Geological summary of Central Apennines. In: Ogniben L., Parotto M., Praturlon A. (eds), Structural Model of Italy. Quaderni della Ricerca Scientifica 90: 257-306.

Pascucci V., 2005. Neogene evolution of the Viareggio basin, Northern Tuscany (Italy). GeoActa 4: 123-138.

Pasquarè G., Abbate E., Castiglioni G.B., Merenda M., Mutti E., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Sassi F.P., 1992. Carta geologica d'Italia 1:50000, Guida al Rilevamento. Quaderni serie III 1: 203.

Patacca E., Scandone P., 1989. Post-Tortonian mountain building in the Apennines, the role of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In: The Lithosphere in Italy - Advances in Earth Science Research. Atti dei convegni Lincei 80: 157-176.

Patacca E., Scandone P., 2007. Geology of the Southern Apennines. Bollettino della Società Geologica Italiana vol. spec. 7: 75-119.

Patacca E., Scandone P., Bellatalla M., Perilli N., Santini U., 1992. La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise. Studi Geologici Camerti vol. spec. 1991/2: 417-441.

Piccardi L., Vittori E., Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L., Baglione M., D'Intinosante V., 2017. Mapping capable faulting hazard in a moderate-seismicity, high heat-flow environment: The Tuscia province (southern Tuscany-northern Latium, Italy), <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.07.018>. Quatern. Int. 451, Supplement C: 11-36.

	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>LINEA PISA – COLLESALVETTI - VADA</p> <p>Collegamento dell'interporto di Guasticce con la linea Pisa – Vada ed interconnessione della linea Pisa – Vada con la linea Firenze - Pisa</p>												
<p>STUDIO GEOLOGICO</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF0Q</td> <td>00</td> <td>F 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>D</td> <td>122 di 122</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	122 di 122
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NF0Q	00	F 69 RG	GE 00 01 001	D	122 di 122								

Rauch A.F., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal* 35: 442-459.

Ricci Lucchi F., 1980. *Sedimentologia*. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Bologna.

Riga G., 2007. *La liquefazione dei terreni. Analisi, valutazione, calcolo*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Rossi V., Amorosi A., Sarti G., Potenza M., 2011. Influence of inherited topography on the Holocene sedimentary evolution of coastal systems: An example from Arno coastal plain (Tuscany, Italy). *Geomorphology* 135: 117-128.

Rossi V., Amorosi A., Sarti G., Romagnoli R., 2012. New stratigraphic evidence for the mid-late Holocene fluvial evolution of the Arno coastal plain (Tuscany, Italy). *Géomorphologie* 2: 201-214.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P., 2019. *Catálogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 2.0. <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Sarti G., Bini M., Giacomelli S., 2012. The growth and the decline of Pisa (Tuscany, Italy) up to the Middle ages: Correlations with landscape and geology. Geological setting and urban development of selected Italian Town up to the Middle ages and legacies of ancient problems throughout the ages. *Il Quaternario* 23: 311-322.

Sarti G., Rossi V., Amorosi A., 2012. Influence of Holocene stratigraphic architecture on ground surface settlements: A case study from the City of Pisa (Tuscany, Italy). *Sedimentary Geology* 281: 75-87.

Scrocca D., Sciamanna S., Di Luzio E., Tozzi M., Nicolai C., Gambini R., 2007. Structural Setting along the CROP-04 Deep Seismic Profile (Southern Apennines - Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana* vol. spec. 7: 283-296.

Scrocca D., Tozzi M., 1999. Tettogenesi Mio-Pliocenica dell'Appennino Molisano. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 118: 255-286.

Solari L., Ciampalini A., Raspini F., Bianchini S., Moretti S., 2016. PSInSAR Analysis in the Pisa urban area (Italy): A case study of subsidence related to stratigraphical factors and urbanization. *Remote Sensing* 8: 120.