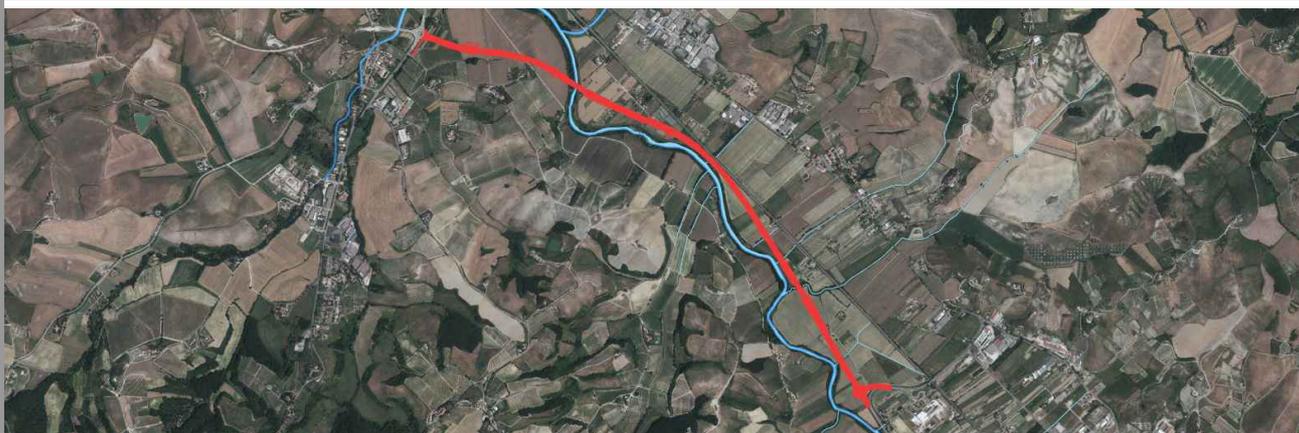




**VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA**



CARTELLA

**GE - GEOLOGIA**

OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. Antonio DE CRESCENZO

**C.D.P. COORDINAMENTO DIREZIONE DI PROGETTO**

Ing. Alessandro SILVIETTI  
 Ing. Iacopo MAZZONI

**SUPPORTO AL RUP**

Dott. Aldo PARISI

**COLLABORATORI**

(In ordine alfabetico)

Geom. Federico ANZUINI  
 Dis. Francesca BELLINI  
 Geom. Alessandro INNOCENTI  
 Dis. Edi Antonella MATTIOLI  
 Dis. Ligia del Pilar MONTALVO

**IL PROGETTISTA DELL'ATTIVITA' SPECIALISTICA**

Dott. Geoil. Simone Fiaschi

**ATTIVITA' SPECIALISTICHE**

(In ordine dell'elenco elaborati)



**GEOLOGIA E GEOTECNICA**  
 IDROGEO Engineering & Consulting



**IDROLOGIA E IDRAULICA**  
 DA. SA. Ingegneria s.r.l.



**RILIEVI PLANOALTIMETRICI - PIANO PARTICELLARE**  
 GDEC s.r.l.



**PROGETTO STRADALE**  
 DLA Associati



**PROGETTO STRUTTURE - OPERE D'ARTE**  
 Studio Tecnico Ing. Salvatore Giacomo Morano



**MITIGAZIONE AMBIENTALE E OPERE A VERDE**  
 ALEPH



**PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO (PSC)**  
 Studio Tecnico Ing. Claudio Consorti

PROGETTO DEFINITIVO REDATTO DA



Luglio 2013

REVISIONATO  
 15.30 - 27/07/2018

FASE	CARTELLA	ELABORATO	PROGRESS	REV	NOME FILE e DATA DI AGGIORNAMENTO (yyymmdd)	SCALA
D	GE	01	01	2	D_GE0101_2RelGeologica_181116	
NOTE DI STAMPA:					P.R.S INTERVENTO : <b>ID 832</b>	C.U.P.
2	Novembre 2018	Aggiornamento			Fiaschi	Fiaschi Silvietti
0	Luglio 2018	Emissione			Fiaschi	Fiaschi Silvietti
REVISIONE	DATA	MOTIVAZIONE			REDATTO	VERIFICATO C.D.P.

Firme

Il presente documento e le informazioni in esso contenute sono di proprietà della Regione Toscana e non possono essere riprodotte o comunicate a terzi senza preventiva autorizzazione scritta

# Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>OGGETTO E SCOPO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO TETTONICO E SISMICITÀ DELL'AREA.....</b>	<b>35</b>
6.1	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED AZIONI SISMICHE.....	41
<b>7</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>46</b>
7.1	SONDAGGI .....	46
7.2	PROVE PENETROMETRICHE .....	47
7.3	PROVE DI LABORATORIO .....	52
7.4	PROVE IN SITO .....	57
7.5	POZZETTI ESPLORATIVI .....	58
7.6	INDAGINE SISMICA.....	60
7.7	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	61
<b>8</b>	<b>INTERAZIONE TRA LE OPERE ED IL TERRENO .....</b>	<b>63</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>68</b>
<b>10</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>73</b>

ALLEGATO: Coordinate geografiche delle indagini geognostiche

## 1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica aggiornata del Progetto Definitivo del III lotto della SR 429 di Collegamento fra il raccordo autostradale Firenze Siena e la Strada di Grande comunicazione Firenze – Pisa – Livorno.

Il tratto in studio è compreso fra lo svincolo di Certaldo Ovest e lo svincolo con la S.P. Volterrana. Geograficamente ricade nei Comuni di Certaldo, Gambassi Terme e Castelfiorentino.

Il tracciato, posto quasi interamente su rilevato, si sviluppa lungo la valle del fiume Elsa, prevalentemente in destra idrografica e più limitatamente in sinistra fra i Comuni di Gambassi Terme e Castelfiorentino, a valle della SS 429 Val d'Elsa e della ferrovia Empoli – Siena.

La sezione adottata è a carreggiata unica bidirezionale di categoria C1. Le opere principali sono rappresentate dal viadotto sul fiume Elsa (lunghezza 136 m) e dal viadotto sul Borro della Corniola (lunghezza 153 m). Opere minori sono rappresentate da manufatti idraulici, sottopassi stradali e deviazioni sulla viabilità esistente.

Il progetto si è sviluppato in maniera tale da non costituire alcun pregiudizio ed aggravio sulla pericolosità idraulica del Fiume Elsa. Pertanto, fermo restando che l'asse stradale viene posto quasi interamente su rilevato e ad una quota di sicurezza rispetto alla massima piena, lo stesso rilevato stradale risulterà trasparente dal punto di vista idraulico, in maniera tale da non costituire un effetto diga nei confronti degli eventi di piena del Fiume Elsa. Il progetto prevede inoltre la realizzazione di due vasche di compenso nell'intorno dell'asse stradale, in corrispondenza della porzione sud del lotto in Comune di Certaldo, per compensare i volumi sottratti dal rilevato stradale, per non determinare un aggravio conseguente alla sottrazione delle aree direttamente occupate dall'opera, con il rilevato stradale. Nel tratto in località Vecchiarelle, nella porzione nord del lotto, in sinistra idrografica del Fiume Elsa, il nuovo rilevato stradale costituirà strada-argine, funzionale all'eventuale realizzazione

della cassa di espansione Vecchierelle Nord, motivo per cui in tale tratto non potrà essere garantita la trasparenza idraulica.

A tal proposito, si precisa, che nelle varie fasi, la progettazione della Variante alla S.R.T. 429 - III lotto, ha subito alcune modifiche. Il progetto di fattibilità tecnica economica prevedeva inizialmente, contestualmente alla realizzazione della nuova strada, la realizzazione di due casse di espansione, già previste nel Piano di Bacino "Riduzione del rischio idraulico" redatto dalla Autorità di Bacino competente (ex AdB Fiume Arno) come "aree A" (ai sensi della Normativa di Piano). Le due casse individuate sono state denominate rispettivamente "Cassa Nord", posta nell'area del Podere delle Vecchierelle, e "Cassa Sud", posta in un tratto di adiacenza di circa due chilometri in sinistra idrografica tra il Fiume Elsa ed il versante, a monte del Podere delle Vecchierelle. In seguito alla presentazione del progetto di fattibilità si è aperto un ampio tavolo tecnico con gli Uffici del Genio Civile competente, con l'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale e con i Comuni interessati.

Durante il suddetto contraddittorio si è potuto constatare che la realizzazione della sola "Cassa Sud" (denominata "Casino d'Elsa") è sufficiente a produrre un miglioramento complessivo in termini di rischio idraulico del territorio interessato dalla nuova variante alla S.R.T. 429 III lotto; conseguentemente è stato ritenuto di rimandare a tempi e contesti futuri la realizzazione della cassa Nord. In occasione dei medesimi confronti sono state analizzate numerose varianti anche alla Cassa Sud, mirate di volta in volta da una parte ad ottimizzare l'effetto benefico di compensazione e dall'altra a minimizzare l'impatto sul territorio, anche nei confronti della popolazione residente e delle attività economiche ivi presenti.

Il progetto definitivo della "Cassa Sud – Casino d'Elsa", supportato da adeguati approfondimenti e studi integrativi di carattere idraulico, eseguiti sia sul Fiume Elsa che sui corsi d'acqua minori e redatti dall'Ing. Uzzani e Ing. Daneri, è il frutto di un lungo processo di ottimizzazione tecnica e di concertazione con i vari soggetti del territorio.

Per ulteriori dettagli riguardanti il progetto e la Variante, si rimanda agli elaborati redatti dal Settore Progettazione e Realizzazione Viabilità Regionale Firenze – Prato - Pistoia.

La presente relazione prende come base di lavoro la Relazione Geologica allegata al Progetto Definitivo nella sua versione definitiva del luglio 2013 per l'ottemperanza alle prescrizioni della Conferenza dei Servizi e redatta dal Dott. Geol. Emanuele Fresia.

Il lavoro ha preso avvio attraverso una raccolta di dati ed informazioni disponibili riguardanti l'area in studio per un intorno ritenuto significativo. Per un primo inquadramento è stata consultata la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 113, la Carta geologica della Toscana in scala 1: 10.000, Sezioni 286010 e 285040, la documentazione del PAI del Fiume Arno (in cui confluisce il fiume Elsa), il catalogo IFFI<sup>1</sup> ed i precedenti progetti redatti dalla Technital nelle aree adiacenti (progetto esecutivo dei lotti IV – V – VI). Sono stati consultati anche il Database Geologico della Regione Toscana, il database dei Corpi Acquiferi Significativi del S.I.R.A. (Sistema Informativo Ambientale della Regione Toscana), nonché i database associati alle indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica dei 3 Comuni interessati dall'opera (Certaldo, Castelfiorentino e Gambassi Terme). Successivamente sono stati condotti rilievi geologici di superficie a seguito dei quali si sono definite le ubicazioni delle indagini geognostiche.

Una prima campagna geognostica, condotta nei mesi di maggio – giugno 2010, si è articolata attraverso sondaggi con prove in sito e di laboratorio, prove penetrometriche e pozzetti esplorativi e rappresenta a tutt'oggi il corpus principale della conoscenza geologica, geotecnica ed idrogeologica per l'asse stradale.

Nei mesi di maggio/giugno 2018 sono stati integrate una serie di indagini geognostiche per la caratterizzazione geotecnica e chimica dei terreni soprattutto finalizzata al loro riutilizzo ed è stata inoltre realizzata una prova penetrometrica con prelievo di campione nel punto di maggior vicinanza dell'asse stradale con l'argine del fiume Elsa in maniera da caratterizzare sia i terreni arginali che avere a disposizione dati specifici tali da consentire la ricostruzione di un modello geologico/geotecnico tale da poter eseguire verifiche di stabilità post-operam.

I dati nel complesso disponibili e reperiti sono adeguati in relazione al livello progettuale.

---

<sup>1</sup> Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia, a cura dell'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) e consultabile sul web.

## **2 OGGETTO E SCOPO**

Oggetto del lavoro è la descrizione delle caratteristiche geologiche, stratigrafiche, ed idrogeologiche delle aree interessate dai lavori.

Lo scopo è definire il modello geologico del sottosuolo, illustrare gli aspetti relativi alla sismicità, stratigrafia, struttura, idrogeologia e geomorfologia dell'area, fornendo infine una valutazione globale del livello di pericolosità geologica in relazione alle opere previste.

Il lavoro, sviluppato attraverso l'ausilio di studi mirati sul territorio, è stato impostato al fine di:

- ricostruire dettagliatamente gli aspetti naturalistici del territorio ove sono collocate le opere;
- rappresentare analiticamente tutta la gamma di informazioni geologiche atte a consentire la corretta progettazione delle opere;
- individuare le principali forme di erosione, di accumulo e più in generale di pericolosità geologica nelle aree limitrofe e/o direttamente interessate dalle opere;
- definire la distribuzione e la caratterizzazione delle principali falde idriche presenti nel sottosuolo;
- individuare le possibili interferenze tra le risorse idriche e le opere in progetto;
- individuare i terreni su cui sorgeranno le opere.

### **3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla seguente normativa:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018  
Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Consiglio Superiore Lavori Pubblici  
Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008 – Circolare n.617 del 2 febbraio 2009.
- Consiglio Superiore Lavori Pubblici  
Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. – Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007.
- Eurocodice 8 (1998)  
Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture  
Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997)  
Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali - UNI
- Eurocodice 7.2 (2002)  
Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI
- Eurocodice 7.3 (2002)  
Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI
- D.P.C.M. 06/05/2005  
Piano di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) - Stralcio Assetto Idrogeologico.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n° 152: “Norme Tecniche in materia ambientale, e s.m.i.;
- Delibera GRT n.421 del 26/05/2014  
Aggiornamento della deliberazione GRT n. 878 dell’8 ottobre 2012, recante “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 – Revoca della DGRT 431/2006” e

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

---

cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della  
Toscana (DGRT 841/2007).

#### 4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Geograficamente il contesto generale è riferibile al settore centrale della Val d'Elsa. Il tracciato in studio, che ha uno sviluppo di circa 3.900 m, si sviluppa con direzione circa NW – SE prevalentemente in sponda destra del Fiume Elsa (sino alla progressiva 2.850 m circa), più limitatamente in sponda sinistra, fra gli abitati di Certaldo e Castelfiorentino, in provincia di Firenze. L'inizio intervento coincide con il previsto svincolo di Certaldo, in località Mulinaccio, mentre fine intervento con lo svincolo sulla S.P. Volterrana a valle di località Torricella. In entrambi i casi l'innesto con la viabilità locale viene risolto mediante opportune rotatorie.

I Comuni nei quali ricadono i lavori sono quelli di Certaldo, Gambassi Terme e Castelfiorentino.

L'intera area in studio ricade entro i fogli 285040 e 286010 della Carta Tecnica Regionale.

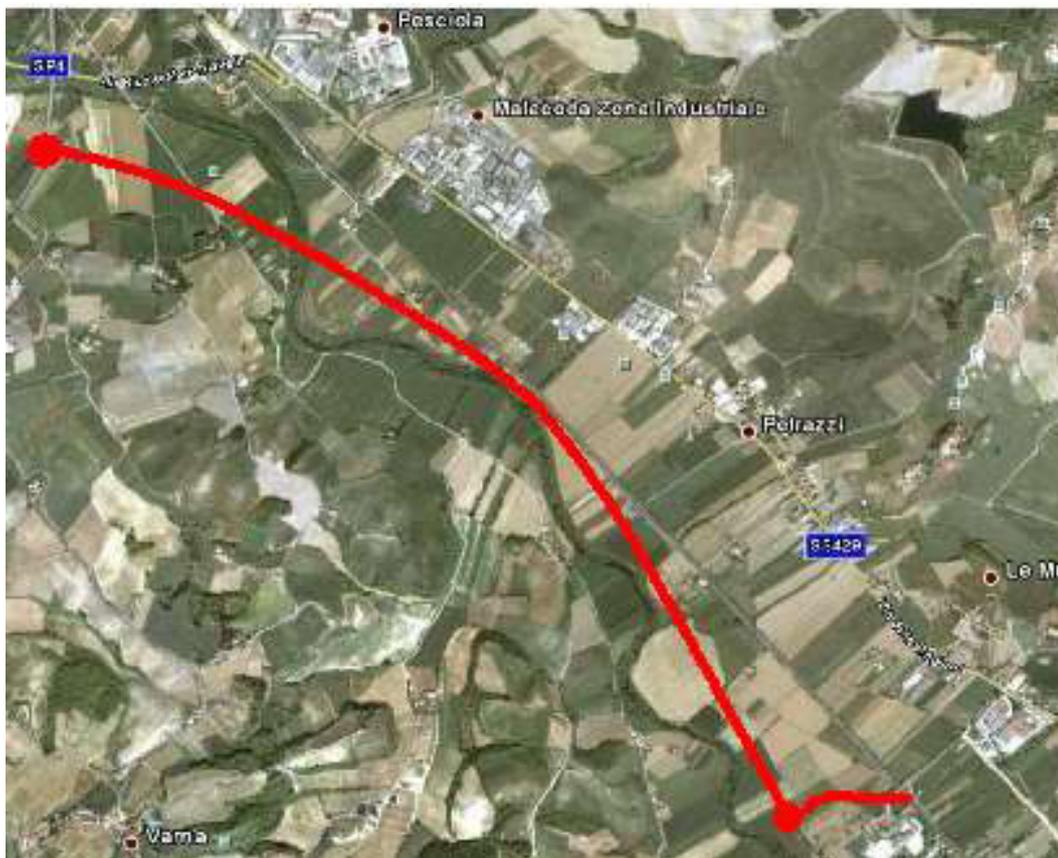


Figura 1. Inquadramento da foto aerea con, in rosso, il tracciato in studio

La **figura 1** riporta il tracciato in studio su di una restituzione da foto aerea.

L'alveo del fiume Elsa è ubicato in un solco profondo alcuni metri re-inciso nelle alluvioni (**FOTO 1**).



Foto 1. Il Fiume Elsa in prossimità della progressiva Km 2+000. La foto è stata fatta nel maggio 2010 dopo abbondanti piogge

Il tracciato stradale si sviluppa interamente entro la piana alluvionale del fiume Elsa, larga approssimativamente da 700 a poco più di 1.000 m, delimitata su entrambi i lati da un allineamento di dolci rilievi collinari aventi anch'essi un chiaro allungamento NW – SE, con quote mediamente comprese fra i circa 100 m in sinistra idrografica (Poggio ai Mulini, Poggio ai Grilli) e circa 130 m in destra (Gello alle Fonti) sino ai 182 m di Monte Olivo, poco fuori carta.

Dall'esame della cartografia allegata al PAI del Fiume Arno (approvato con DM 06/05/2005, e pubblicato sulla GU n° 230 del 03/10/2005), di cui uno stralcio riferito

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

all'area in studio è riportato in **figura 2**, si evince che tali rilievi collinari sono genericamente caratterizzati da una media pericolosità dei processi geomorfologici di versante (classifica P.F. 2), ovvero trattasi di aree apparentemente stabili ed interessate da litologie con caratteri intrinsecamente favorevoli alla stabilità dei versanti. Nessuna criticità geologica o geomorfologica reale o potenziale viene segnalata entro la piana alluvionale e in corrispondenza dell'asse di progetto.

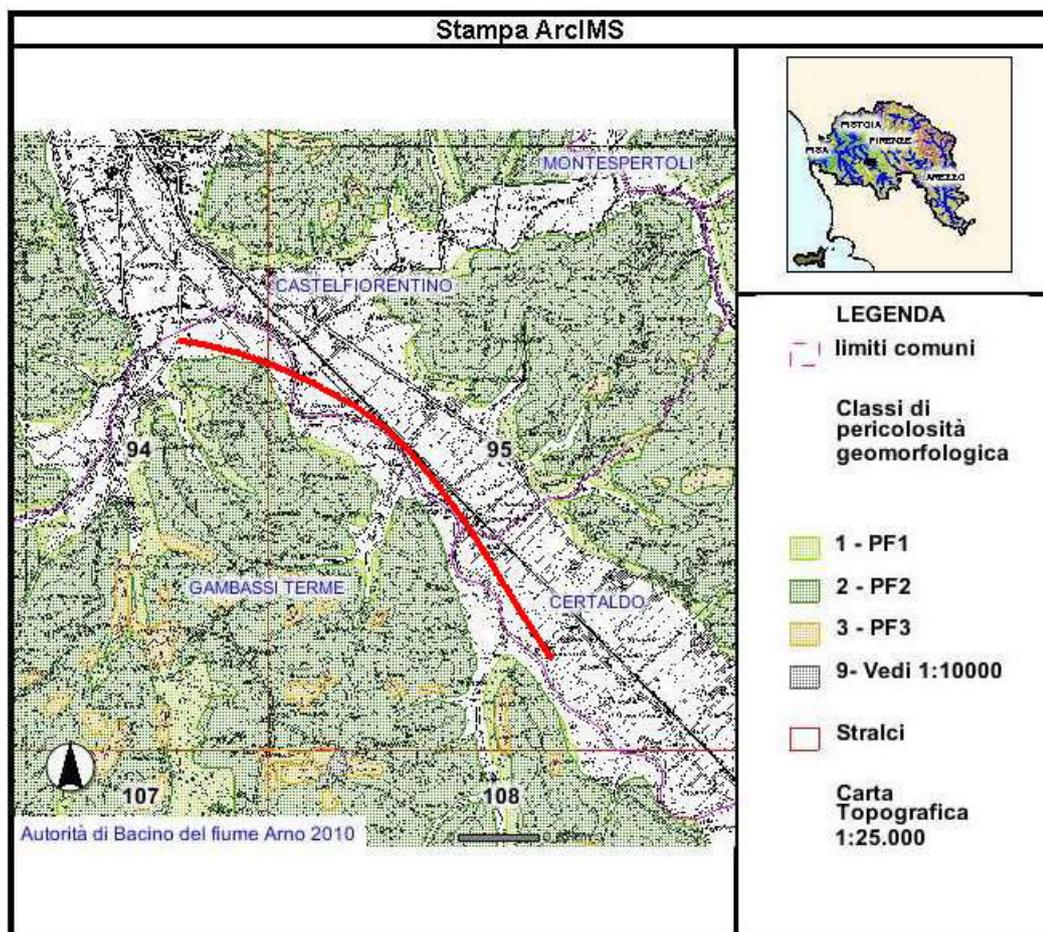


Figura 2. Carta di Pericolosità geomorfologica a livello di sintesi in scala 1:25.000. Riferimento: PAI Fiume Arno. In rosso l'asse stradale

La cartografia del progetto IFFI, di cui uno stralcio è riportato in **figura 3**, riporta solo locali e limitate criticità nelle dorsali in destra idrografica intorno all'abitato di Petrazzi, essenzialmente riferibili a dissesti superficiali diffusi o scivolamenti; tali fenomeni sono comunque molto esterni alle aree di stretto interesse progettuale. Buona la

congruenza fra geologia e geomorfologia, essendo i dissesti ubicati proprio nelle aree dove (come esposto in seguito) prevalgono litotipi argillosi a discapito di quelli sabbiosi. Nessuna evidenza si ha anche in questo caso entro la piana alluvionale laddove si ubica il tracciato stradale.

In Figura 4 si riportano gli estratti della Carta pericolosità geologica/geomorfologica di Gambassi Terme, Castelfiorentino e Certaldo.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

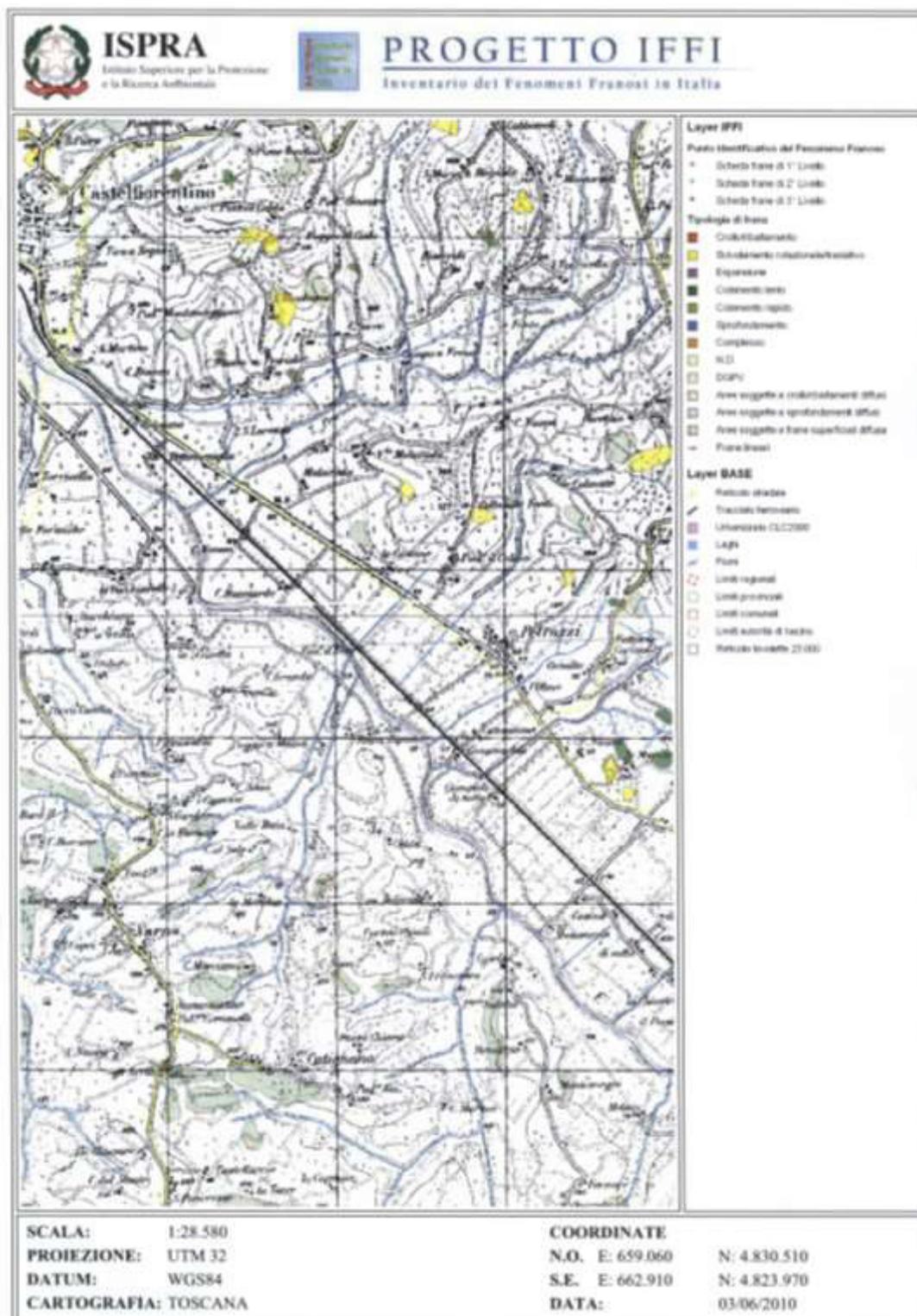
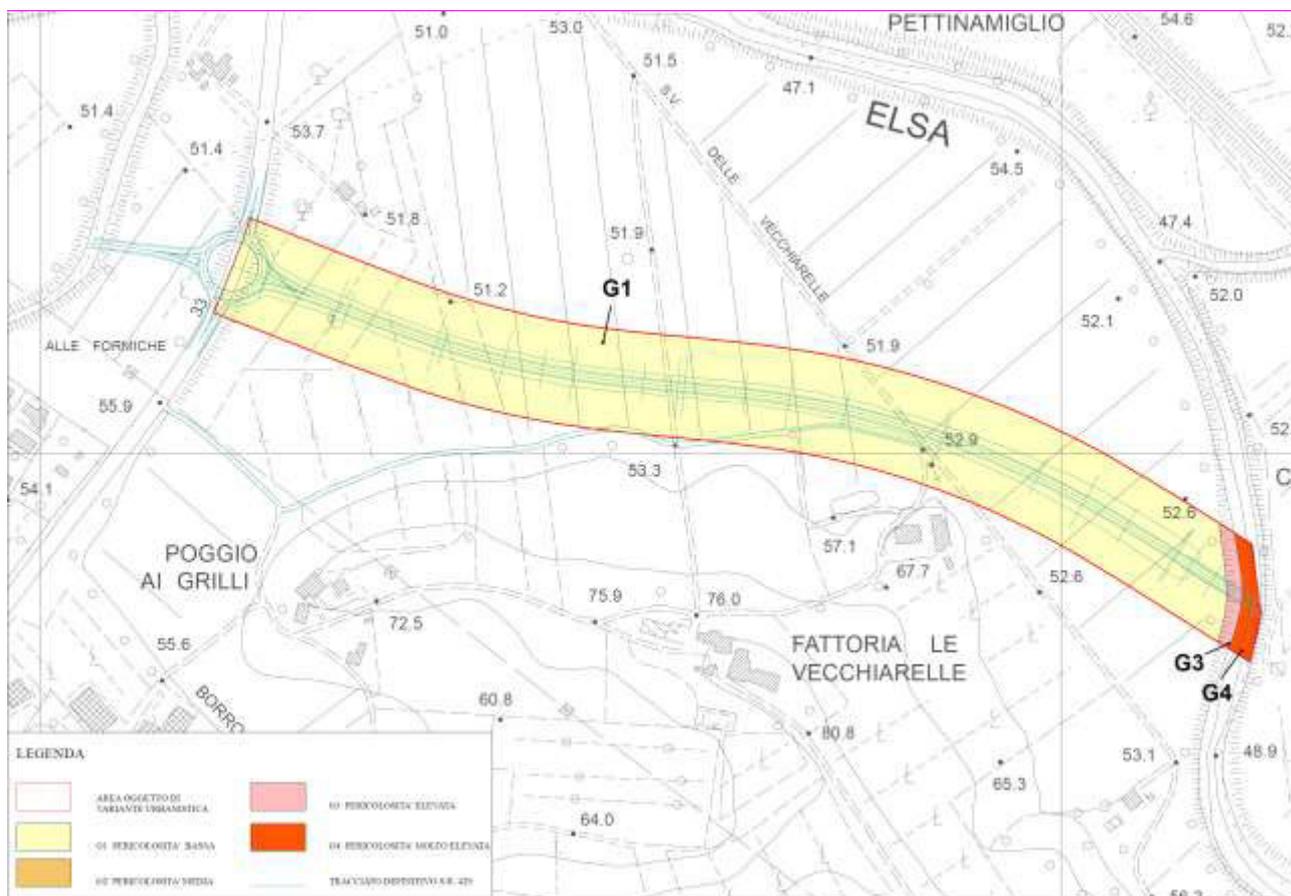


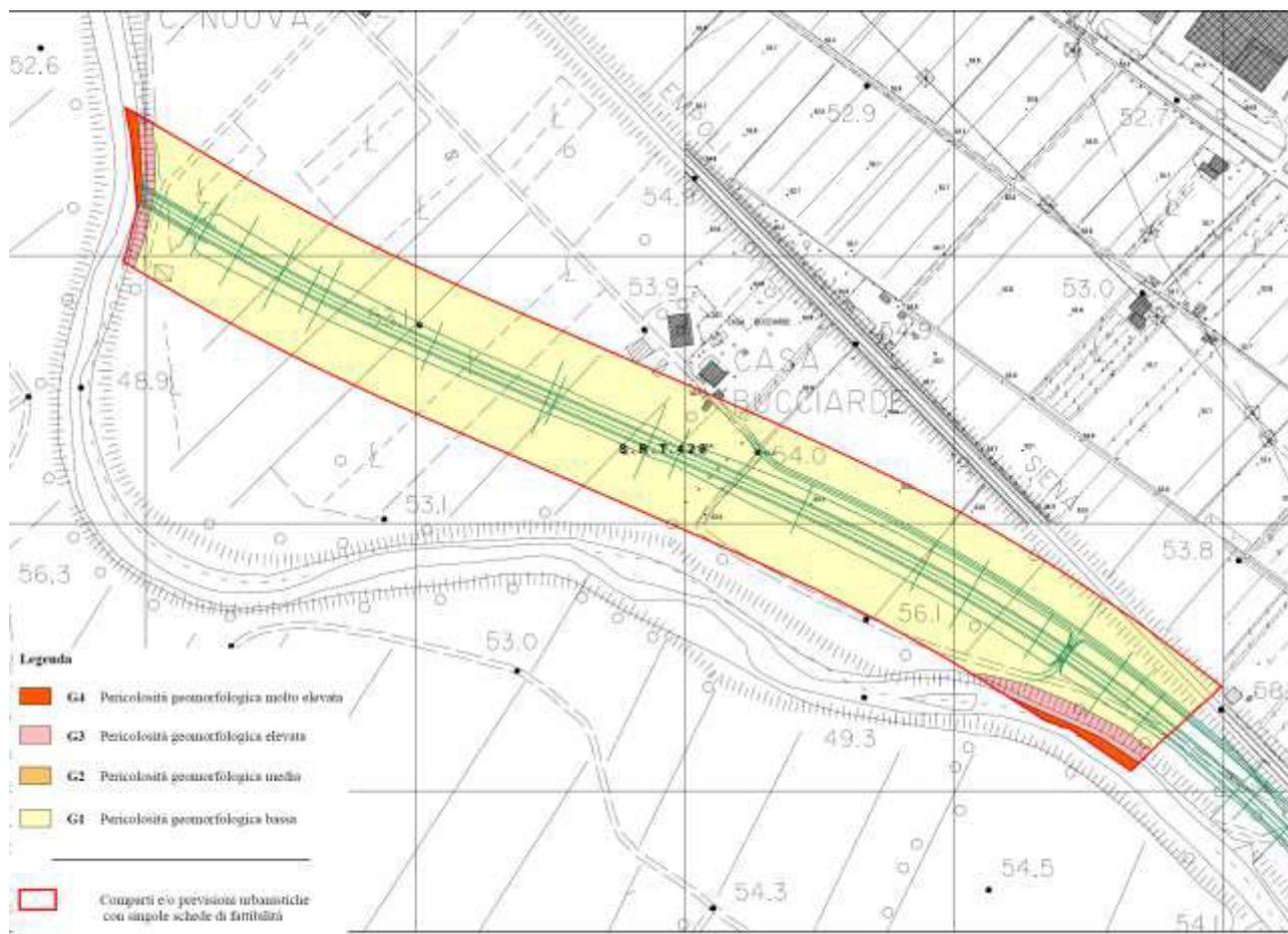
Figura 3. Stralcio cartografico riferito all'area in studio del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia)

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA



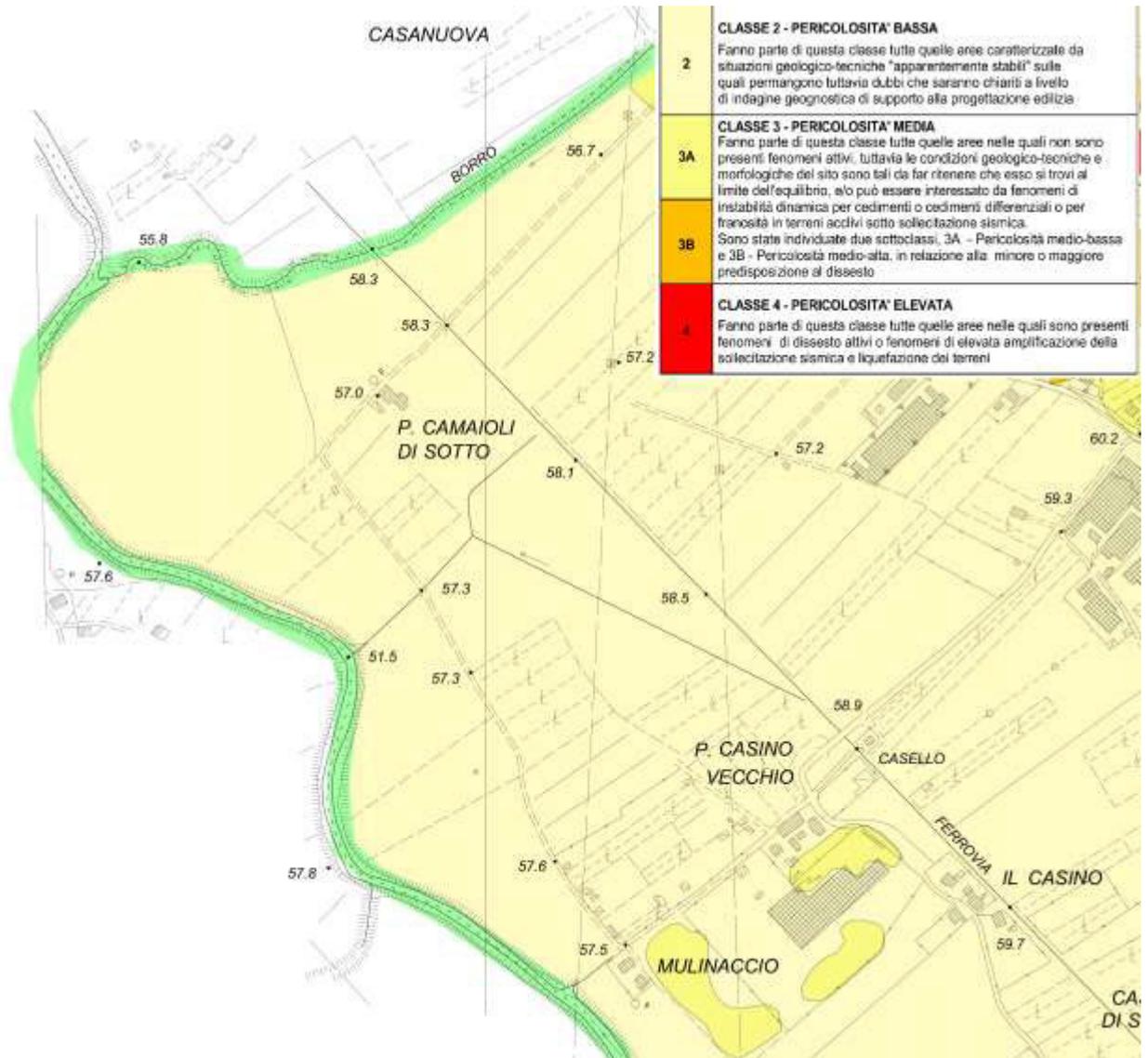
a

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA



b

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA



C

Figura 4. Estratto Carta pericolosità geologica/geomorfologica di Gambassi Terme (a), Castelfiorentino (b) e Certaldo (c)

Il reticolo idrografico superficiale è chiaramente dominato dall'incisione del Fiume Elsa, cui convergono con direzione ad esso ortogonale numerose vallecole, specie in destra idrografica e più limitatamente in sinistra, provenienti dai rilievi circostanti e la cui presenza è favorita dalla modesta permeabilità dei terreni e dalla buona erodibilità degli stessi.

Geologicamente il settore in studio ricade nel settore nord-occidentale del Foglio 113, "Castelfiorentino", della carta geologica d'Italia in scala 1: 100.000. I terreni qui cartografati appartengono alla Serie Toscana, ritenuta autoctona, ai Complessi Tosco – Emiliani, ritenuti alloctoni, ed a depositi trasgressivi marini e continentali del Miocene e Pliocene.

La seguente **figura 5**, tratta dalle Note Illustrative del Foglio 113, redatte da Merla G e Bortolotti V, rappresenta lo schema geologico semplificato del Foglio le cui unità costitutive sono:

- la Dorsale della Montagnola Senese, ubicata nell'angolo in basso a sinistra e qui rappresentata dalla sua terminazione a NW. Vi appartiene la Serie Toscana in facies ridotta;
- la Dorsale dei Monti del Chianti, ubicata nell'angolo in alto a destra del Foglio. È costituita dalla Serie Toscana completa, affiorante sulle culminazioni assiali, circondata e coperta dai Complessi Tosco Emiliani che nel Foglio costituiscono la Dorsale secondaria di Vagliagli;
- il Bacino Pliocenico marino, ubicato in posizione centrale e ricoperto da depositi principalmente del Pliocene Superiore, forse anche del Calabriano. Risulta esteso fra la Dorsale della Montagnola e la Dorsale dei Monti del Chianti, che in parte invade. Allo stesso bacino, entro cui scorre il Fiume Elsa, possono associarsi due bacini più antichi e ristretti, miocenici, affioranti al di sotto del Pliocene e riempiti da sedimenti marini, salmastri e lacustri; distinti con le lettere "e" (Gruppo Miocenico della Maremma, al centro a SE di Poggibonsi) ed "m" (Gruppo Miocenico della Val d'Elsa, nell'angolo in basso a sinistra).

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

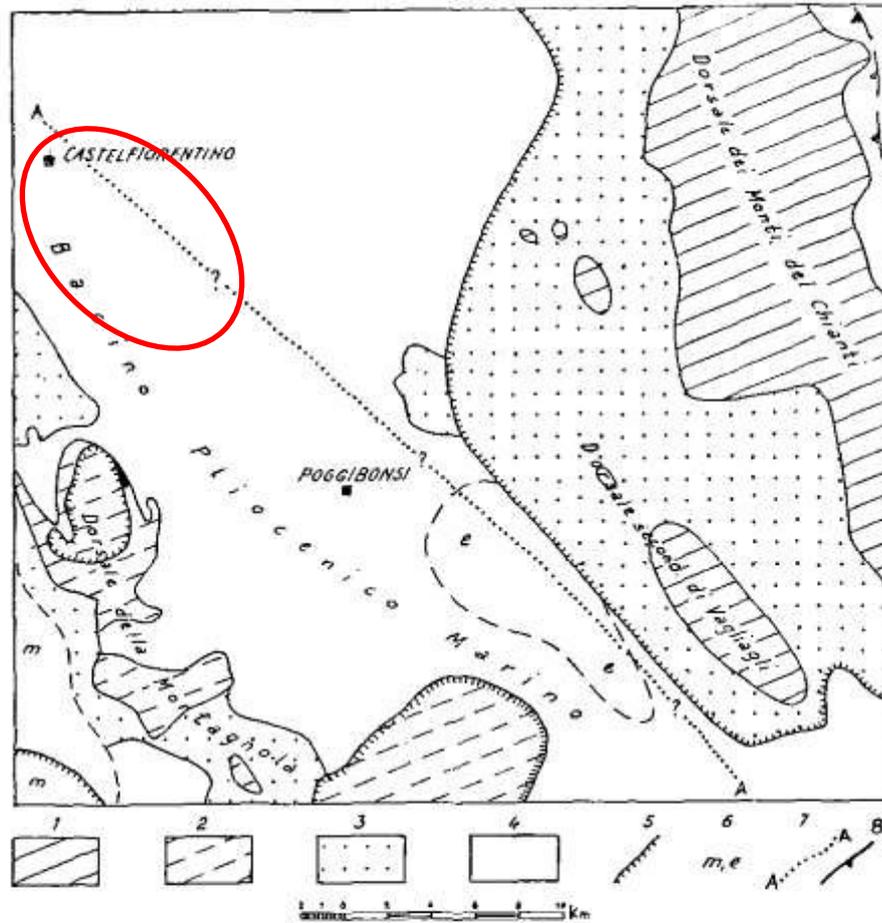


Fig. 1 — Schema geologico del Foglio.

1 = Serie Toscana completa (affioranti i termini superiori Gcs, Gdi, mac, sp, csp, mg); 2 = Serie Toscana ridotta (Tv, Tcv, m, sM); 3 = Complessi Tosco-Emiliani; 4 = Neogene; 5 = Limite del mare pliocenico (barbette verso la terra); 6 = Limiti, entro il Neogene, dei Gruppi miocenici della Maremma (m) e della Val d'Elsa (e); 7 = Limite ipotetico fra Serie Toscana completa e ridotta; 8 = Fronte della Falda Toscana (secondo P. Elter, E. Giannini, R. Nardi, M. Tongiorgi, L. Trevisan).

Figura 5 Schema geologico semplificato del Foglio 113 Castelfiorentino (fonte: Note illustrative della Carta Geologica d'Italia).  
 In rosso l'area d'interesse progettuale.

L'asse stradale in progetto, come si evince sempre dalla figura 4, ricade interamente entro al Bacino Pliocenico Marino e, come meglio rappresentato nello stralcio della carta Geologica al 100.000 di **figura 6**, interessa i depositi alluvionali terrazzati Quaternari dell'Elsa (sigla Q) poggianti su depositi eteropici del Pliocene ora prevalentemente sabbiosi (sigla Ps) ora argillosi (sigla Pag), ubicati i primi parzialmente in sinistra idrografica, i secondi più diffusi e riscontrabili in destra ed ancora in sinistra idrografica.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

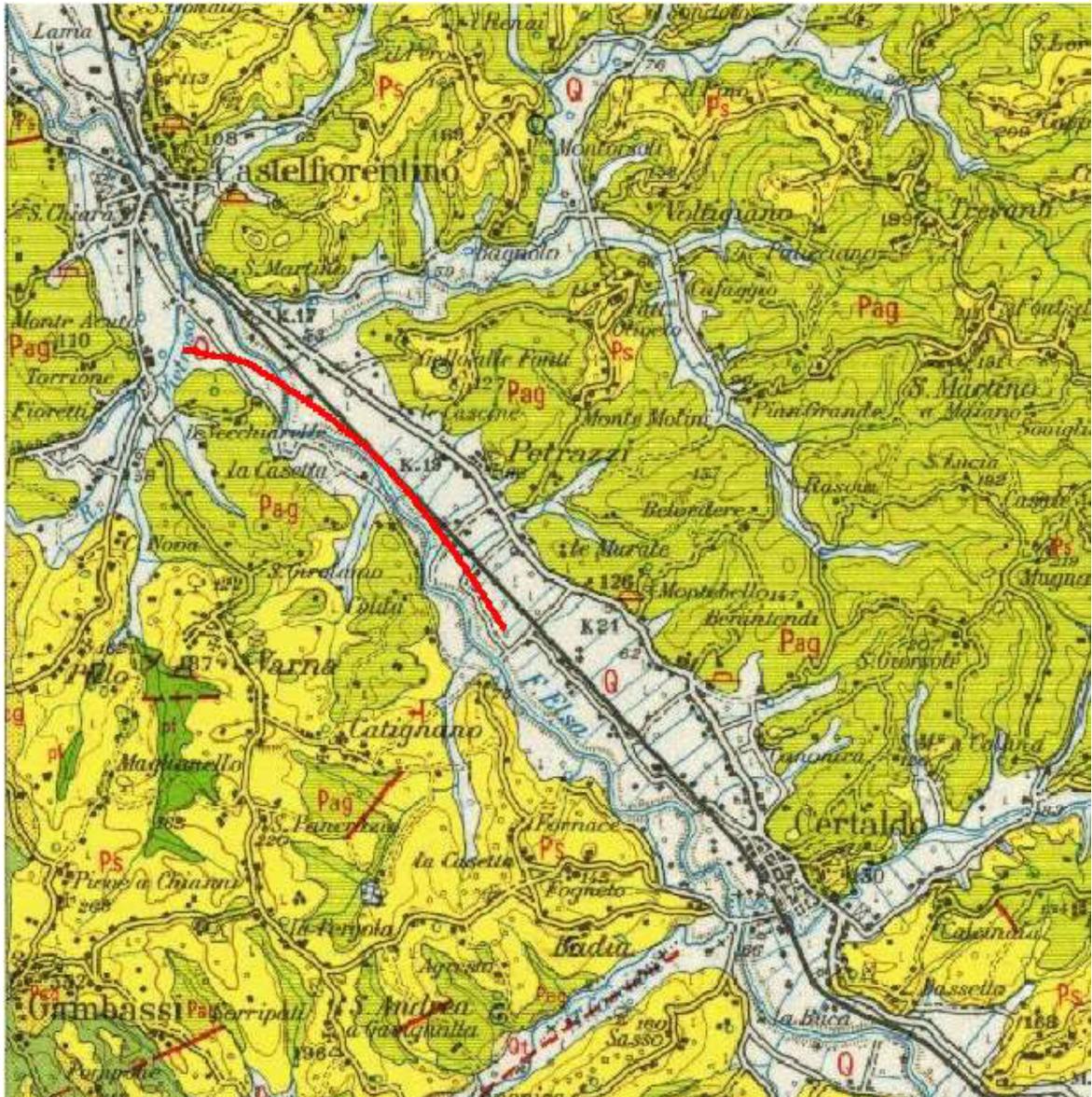


Figura 6. Stralci della Carta Geologica d'Italia, Foglio 113 Castelfiorentino, nel tratto compreso fra Certaldo e Castelfiorentino. In rosso l'asse stradale in progetto.

Per un maggiore dettaglio si veda anche la carta geologica in scala 1:5.000 allegata al progetto, redatta sulla base dei contenuti della sopraccitata carta geologica al 100.000, della Carta geologica della Toscana in scala 1: 5.000, e dei rilievi di campagna.

Di seguito si fornisce una descrizione più dettagliata dei terreni di stretto interesse progettuale.

DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI DELL'ELSA: sono riferibili all'Olocene, probabilmente anche alla parte alta del Pleistocene.

Sulla base delle evidenze di superficie e dei riscontri geognostici puntualmente eseguiti risultano costituiti da prevalenti limi argillosi debolmente sabbiosi con alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose. Il colore prevalente è variabile dal marrone – bruno al grigio. È talvolta presente di una debole frazione ghiaiosa con anche ciottoli calcarei, arrotondati o appiattiti, di dimensioni comprese fra 1 e 5-6 cm (**FOTO 2**).

Tipicamente alla base della sequenza alluvionale si riscontra un livello di ghiaie arrotondate in matrice sabbioso limosa con, talvolta, frammenti conchigliari, potente da un massimo di 4,00 m ad un minimo di 0,5 m.

Lo spessore della coltre alluvionale nelle aree indagate, sempre peraltro prossime all'alveo inciso del fiume Elsa, è compreso fra 16,50 – 20,00 m da p.c., con un valore minimo di 12,6 m nel sondaggio S5. Lateralmente e fuori dalle aree di stretto interesse progettuale è ragionevole attendersi spessori via via decrescenti che si annullano al piede dei rilievi collinari.



Foto 2. Depositi alluvionali dell'Elsa. Facies sabbioso limosa con ciottoli (riferimento sondaggio S2)

DEPOSITI DEL BACINO PLIOCENICO MARINO: in corrispondenza del tracciato stradale non affiorano direttamente in superficie. Sono stati riscontrati in affioramento lungo i rilievi circostanti il corso d'acqua e, al di sotto della coltre di materiale alluvionale, in corrispondenza di tutti i sondaggi eseguiti.

Geologicamente si tratta di depositi post orogeni sedimentatisi nel Pliocene all'interno di fosse tettoniche limitate da faglie (graben e semi-graben) dopo l'emersione della catena appenninica. In quest'ambito la **figura 7** rappresenta la distribuzione dei principali bacini post orogeni dell'Appennino settentrionale.

Litologicamente si tratta di argille limose ed argille limoso sabbiose di colore grigio scuro (in letteratura vengono definite anche argille turchine, argille grigio azzurre, o argille azzurre), bioturbate, con stratificazione generalmente non evidente, consistenti e sovraconsolidate.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

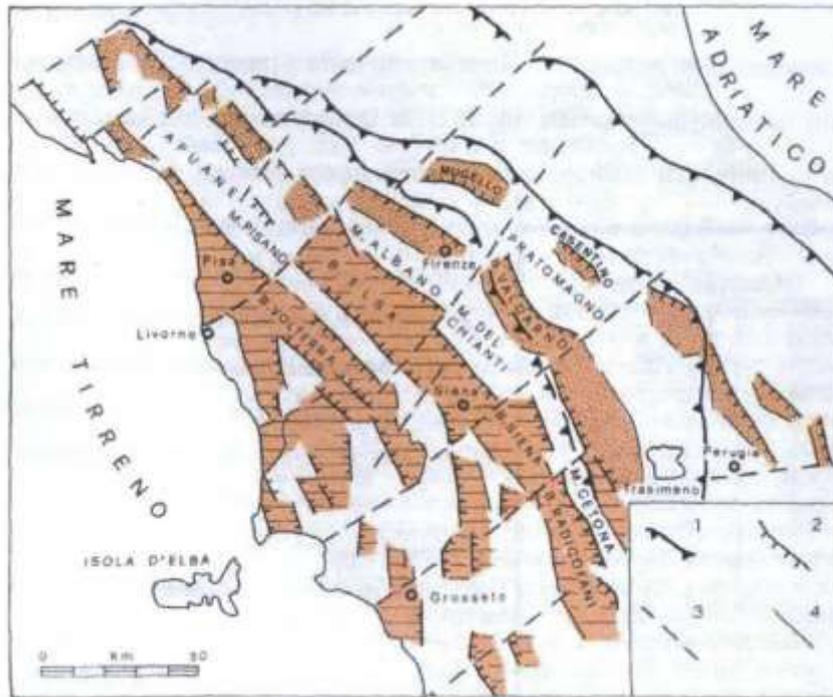


Figura 7. Distribuzione dei principali bacini post orogeni dell'Appennino settentrionale. In rigato i bacini Mio-Pliocenici con depositi continentali e marini, in puntinato i bacini Plio-Pleistocenici con sedimenti continentali fluvio-lacustri (da: Martini & Sagri 1993)

La componente carbonatica è bassa (25-30% secondo Boni & Casnedi, 1970) quella mineralogica prevalente è caolinico – montmorillonitica (Tomadin L. 1969). All'interno sono presenti accumuli conchigliari di molluschi e brachiopodi, con associazioni faunistiche riconducibili ad un ambiente salmastro decisamente litorale (FOTO 3).



Foto 3. Argille plioceniche sovraconsolidate di colore grigio ricche in frammenti conchigliari (riferimento: sondaggio S2)

La carta geologica d'Italia al 100.000 distingue, oltre alla facies sopra descritta prevalentemente argillosa (sigla "Pag" in carta geologica), una facies ad essa eteropica (sigla "Ps" in carta geologica) costituita da sabbie grossolane giallastre o ocracee in banchi.

In bibliografia vengono citati anche rari letti ciottolosi, possibili noduli calcarei e concrezioni gessose. Nel corso delle indagini sono stati riscontrati noduli a composizione più arenacea che calcarea, mentre non si è avuto riscontro della presenza di gesso.

Con riferimento al settore in studio la facies argillosa affiora estesamente in destra e sinistra idrografica, quella sabbiosa a tratti solo in sinistra.

Nel Foglio 296010 (settore meridionale dell'area in studio) della carta geologica della Toscana i depositi Pliocenici sopra descritti sono identificati come argille e argille siltose grigio azzurre del Zancleano e Piacenziano (quindi del Pleistocene), in condizioni di eteropia con argille sabbiose e limi. Nell'adiacente foglio 285040 gli

stessi terreni sono distinti rispettivamente come Argille azzurre e Formazione di San Vivaldo.

Secondo la Commissione Italiana di Stratigrafia il termine più appropriato per identificare questi depositi è **Argille Azzurre**. Si tratta di materiali affioranti estesamente dal Piemonte alle Marche ed in Toscana. Fu Leonardo da Vinci a coniare per primo questo nome, ed il primo lavoro riguardante le Argille Azzurre risale a Brocchi (1814) che distinse due membri: uno inferiore argilloso (Argille Azzurre) ed uno sabbioso superiore costituito da sabbie giallastre attribuito all'Astiano.

Le Argille Azzurre compaiono in numerosi fogli della carta geologica d'Italia, e diverse sono le litofacies in esse riconosciute tanto che alcune, corrispondenti a corpi più o meno sabbiosi, in passato sono state elevate al rango formazionale, mentre oggi sono da considerare solo come membri o litofacies della formazione. Per questo motivo nella Carta geologica allegata al progetto, e con riferimento alla sola area indagata, i depositi Pliocenici sono identificati come Formazione delle Argille Azzurre, e come facies sabbiosa della Formazione delle Argille Azzurre.

Con riferimento al tratto in studio la formazione delle Argille Azzurre è stata riscontrata in tutti i sondaggi al di sotto dei depositi alluvionali.

Diverse sono le intercalazioni sabbiose segnalate in fase d'indagine, con potenze mediamente comprese fra 6 - 8m, colore grigio scuro e, talvolta, resti conchigliari prevalentemente concentrati in livelli orizzontali. Localmente a carico delle sabbie sono stati evidenziati fenomeni di cementazione (riferimento sondaggio S5) ed inclusi litoidi a composizione arenacea (riferimento sondaggio S4).

Sul terreno le Argille Azzurre sono osservabili in corrispondenza delle dorsali che circondano l'Elsa, dove affiorano prevalentemente in corrispondenza di scarpate naturali o artificiali. Le percentuali di affioramento sono comunque sempre modeste ed i materiali, causa una spiccata erodibilità da cui derivano le forme arrotondate e gibbose dei rilievi, soggiacciono una fitta vegetazione e/o coltri detritiche o colluviali di spessore variabile. La suddetta formazione è ben esposta sulle scarpate antropiche delle vecchie aree estrattive delle fornaci (ormai tutte chiuse) di laterizi.

Altri terreni rappresentati in carta sono costituiti da DEPOSITI DI VERSANTE e COLTRI ELUVIO COLLUVIALI, posti al piede dei versanti, la cui composizione prevalentemente limoso argillosa debolmente sabbiosa rispecchia i terreni da cui si sono originati. Si tratta di materiali che, in ogni caso, non interferiscono né con il tracciato e neppure con le opere.

Sulla base di quanto esposto si ritiene che le aree d'interesse progettuale possano ritenersi geomorfologicamente stabili ed inserite in un contesto privo di particolari elementi di criticità e pericolosità geologica. Fa eccezione solo una erodibilità diffusa che però, confinata sui rilievi, non interessa in alcun modo l'asse in progetto.

## 5 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

L'area di stretto interesse progettuale, compresa entro la piana alluvionale dell'Elsa, è sostanzialmente pianeggiante con un debole gradiente lungo l'asse dell'Elsa in direzione di Empoli (confluenza con l'Arno). La differenza di quota fra inizio tracciato (Certaldo) e fine tracciato (svincolo S.P. Volterrana – Gambassi Terme) riferita al piano campagna attuale è di circa 5 m in quota. Il corso d'acqua, come già precedentemente esposto, ha un andamento sinuoso, a tratti meandriforme, con direzione prevalente da SE verso NW.

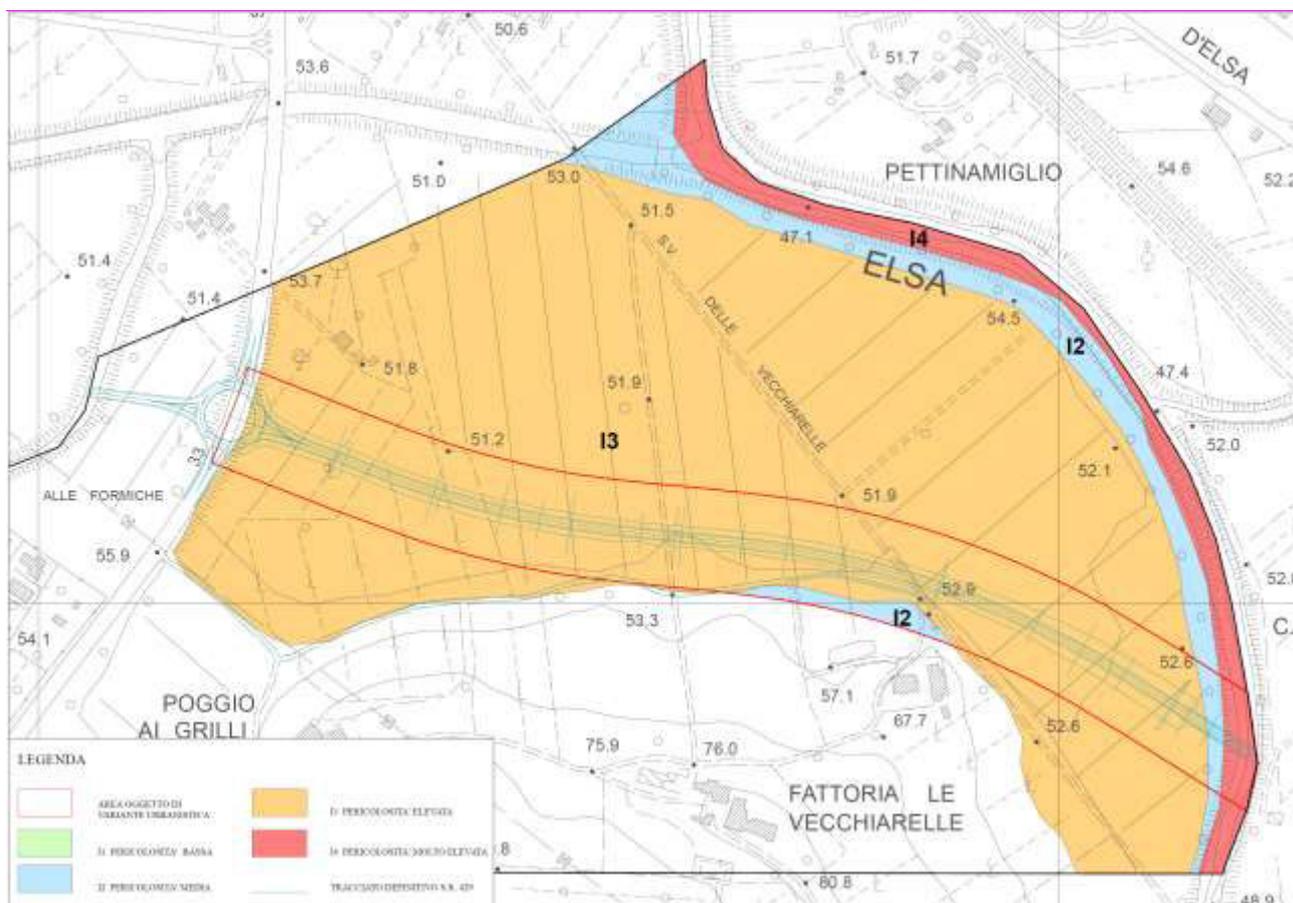
I corsi d'acqua secondari, provenienti dai rilievi collinari circostanti la piana, si gettano nell'Elsa con direzione ortogonale alla piana stessa. In destra idrografica essi sono il Borro della Corniola, una incisione senza nome ed il Torrente Pesciola; in sinistra il Rio di Valle ed il Rio di Campo.

Nella parte terminale del tracciato, verso Nord, dal Fiume Elsa si dirama un canale scolmatore. In esso confluisce anche il Rio Petroso, il cui alveo si trova a modesta distanza dalla rotonda di fine intervento sulla S.P. Volterrana.

Dall'esame della cartografia del PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'appennino Settentrionale, adottato con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 e approvato con la delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 03/03/2016) del Fiume Arno si evince che, nel tratto considerato, la piana alluvionale dell'Elsa è classificata nelle aree a pericolosità media (P.2) ed elevata (P.3), ovvero trattasi di aree rispettivamente a pericolosità idraulica media, con probabilità di accadimento  $100 \leq Tr \leq 200$  e a pericolosità elevata con probabilità di accadimento  $Tr \leq 50$ .

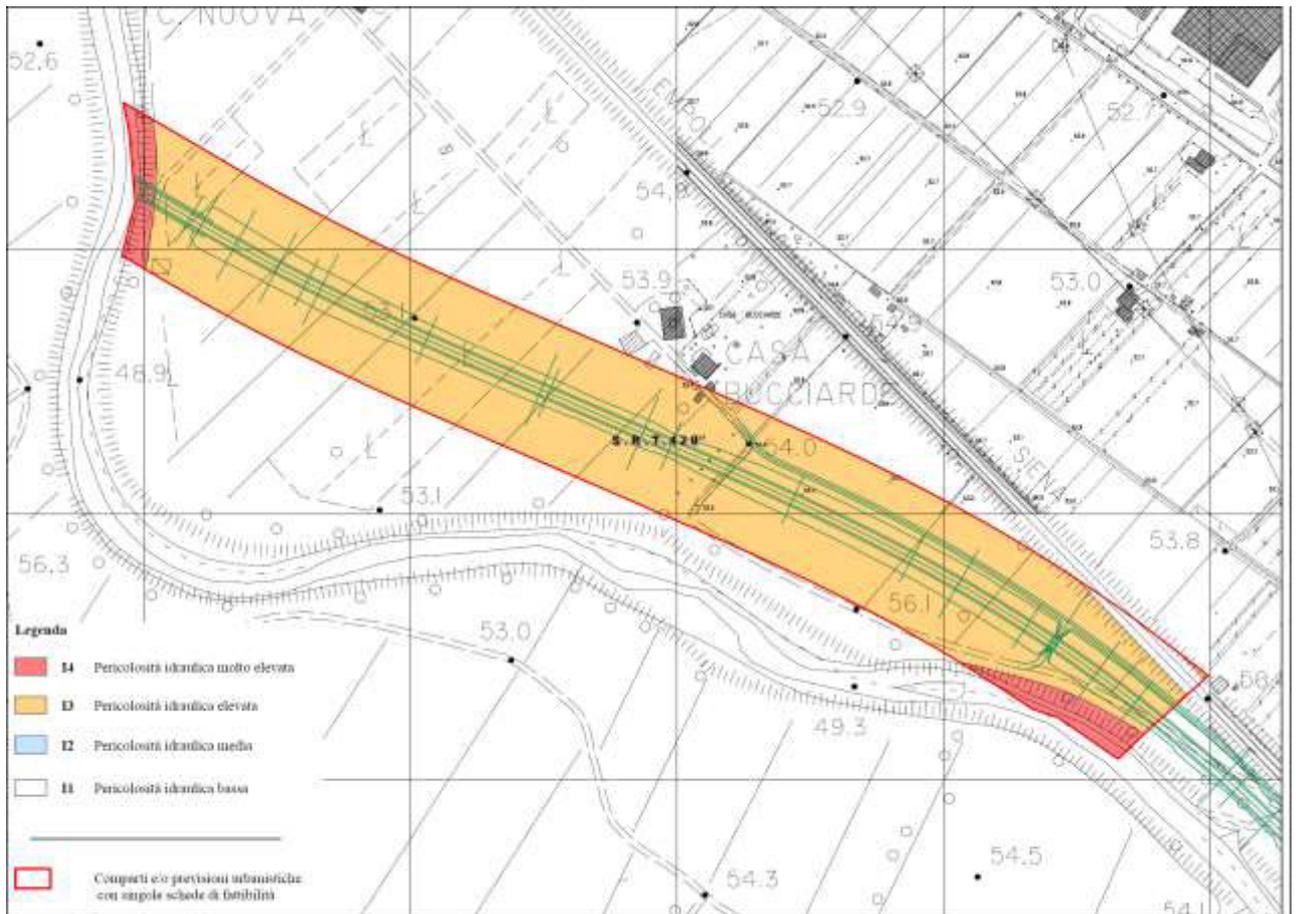
Dall'esame della suddetta carta, di cui uno stralcio con l'identificazione del tracciato stradale viene riportato in **Figura 8**, si evince che tutto il progetto insiste su aree inondabili.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA



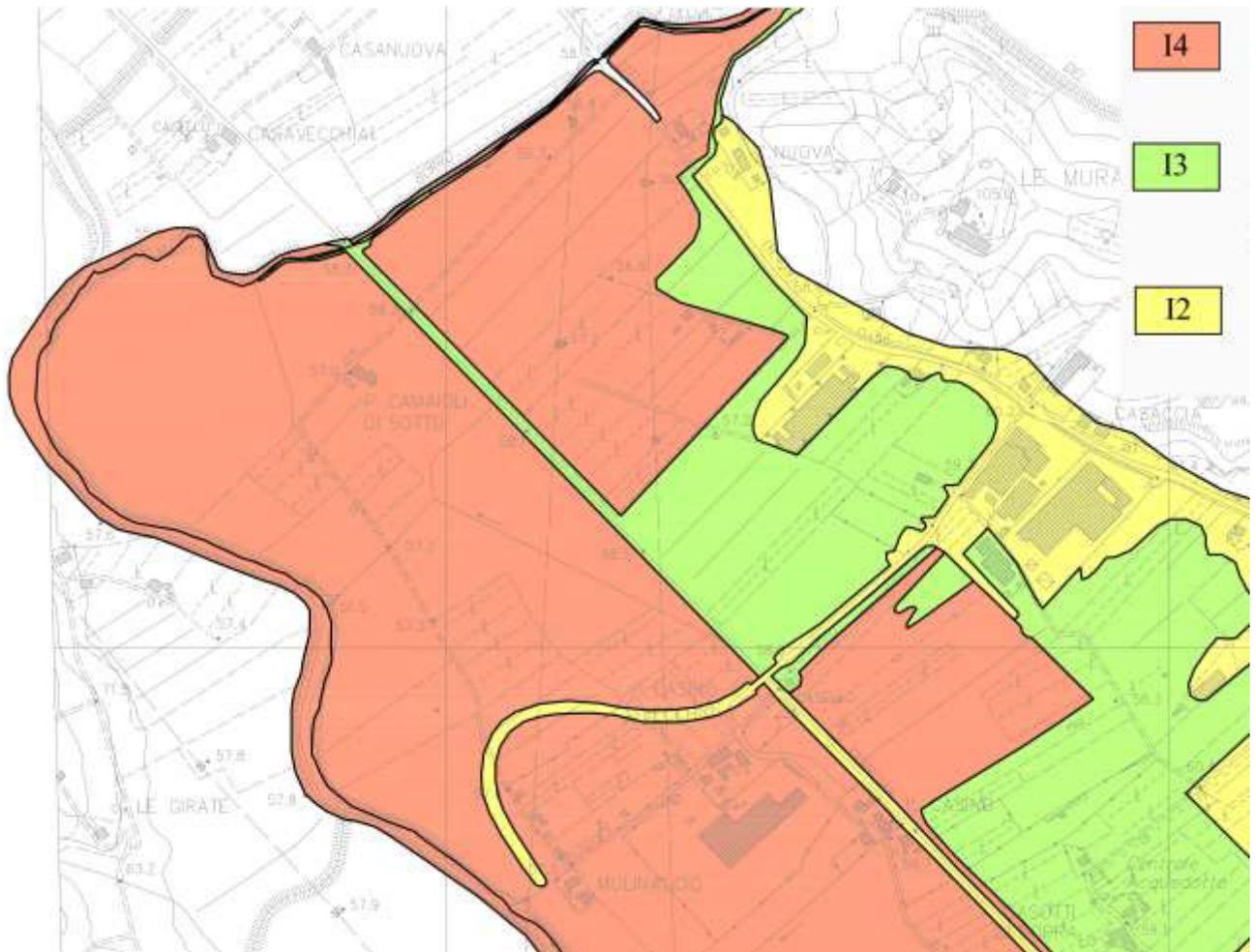
a

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA



b

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA



C

Figura 8. Estratto Carta pericolosità idraulica di Gambassi Terme (a), Castelfiorentino (b) e Certaldo (c)

Fermo restando le verifiche e competenze relative alla parte prettamente idraulica, il progetto in studio è sviluppato in maniera tale da non costituire alcun pregiudizio ed aggravio sulla pericolosità idraulica del Fiume Elsa. Pertanto, e fermo restando che l'asse stradale viene posto interamente su rilevato e ad una quota di sicurezza rispetto alla massima piena, lo stesso rilevato stradale dovrà essere completamente permeabile, in maniera tale da non costituire un effetto diga nei confronti degli eventi di piena del Fiume Elsa. Al tempo stesso, per non determinare un aggravio conseguente alla sottrazione delle aree direttamente occupate dall'opera, i volumi sottratti verranno compensati mediante scavi effettuati nell'intorno dell'asse stradale. Le ultime scelte progettuali prevedono che il rilevato stradale costituisca strada-

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

argine nel tratto in località Vecchiarelle, motivo per cui in tale tratto non potrà essere garantita la trasparenza idraulica. Inoltre, a seguito di specifiche indicazioni da parte dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale il progetto dell'opera prevede anche al suo interno la progettazione preliminare delle 2 casse d'espansione (Vecchiarelle Nord e Sud). In seguito alla presentazione del progetto di fattibilità si è aperto un ampio tavolo tecnico con gli Uffici del Genio Civile competente, con l'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale e con i Comuni interessati. Durante il suddetto contraddittorio si è potuto constatare che la realizzazione della sola "Cassa Sud" (denominata "Casino d'Elsa") è sufficiente a produrre un miglioramento complessivo in termini di rischio idraulico del territorio interessato dalla nuova variante alla S.R.T. 429 III lotto; conseguentemente è stato ritenuto di rimandare a tempi e contesti futuri la realizzazione della cassa Nord.

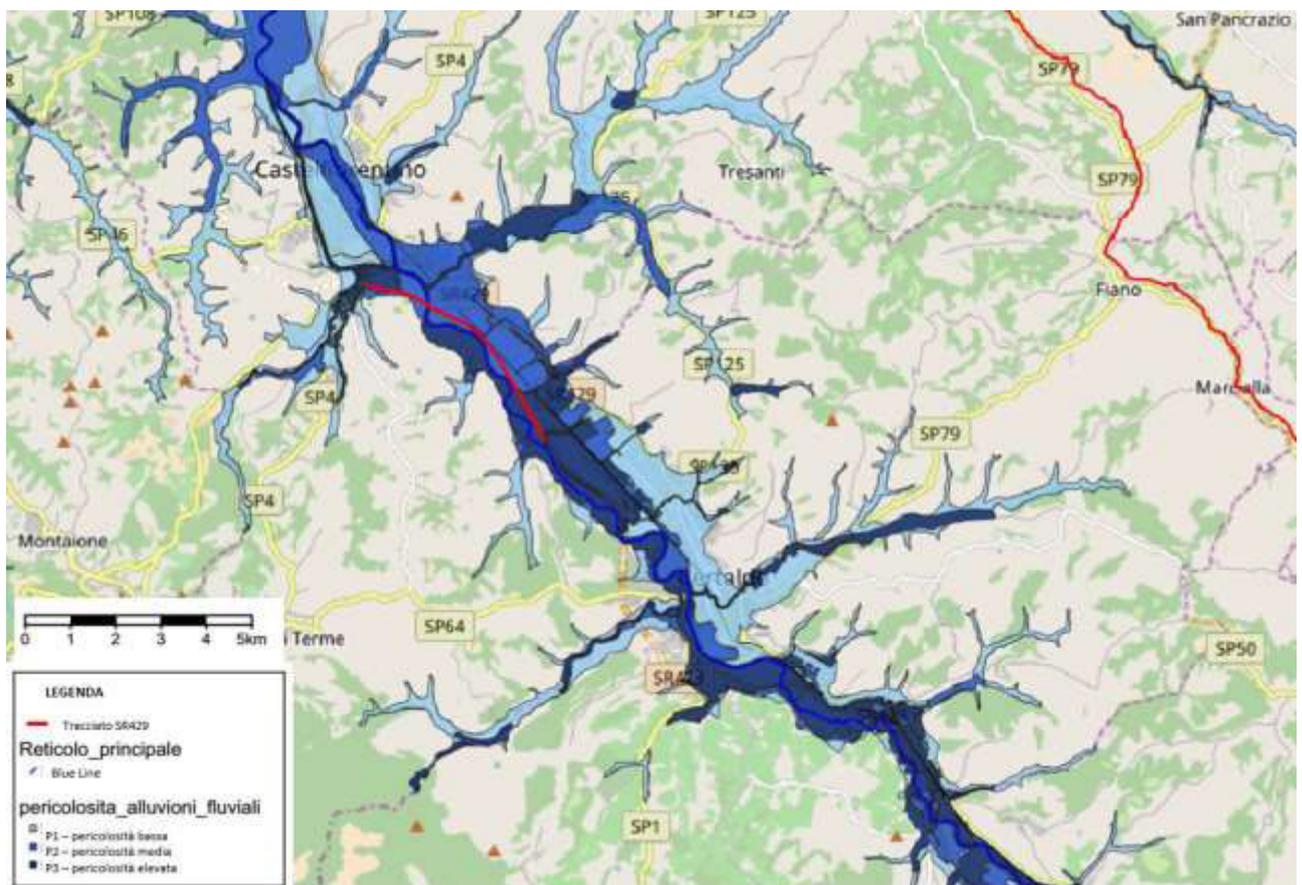


Figura 9 Pericolosità idraulica a livello di sintesi. Riferimento: PGRA Fiume Arno

Dal punto di vista idrogeologico all'interno dei depositi alluvionali è presente una falda idrica alimentata dalle precipitazioni dirette, da infiltrazioni di acque superficiali ruscellanti dai rilievi circostanti, e da acque incanalate in corrispondenza dei corsi d'acqua secondari e dell'Elsa.

Tale falda è sostenuta dai depositi Pliocenici argillosi che possono considerarsi sostanzialmente impermeabili, così come impermeabili sono gli stessi depositi argillosi affioranti estesamente sulle colline circostanti e che favoriscono il deflusso e l'erosione superficiale. Permeabili possono essere invece considerate le sabbie plioceniche, eteropiche alle sopraccitate argille, affioranti localmente in sinistra idrografica.

I sondaggi hanno messo in luce una stratigrafia della coltre alluvionale variabile lateralmente e verticalmente, con sabbie limose a tratti con ghiaia e limi sabbiosi a permeabilità variabile da media a moderata, e limi argillosi a permeabilità modesta. Anche se la maggior parte dell'acqua disponibile è concentrata nelle intercalazioni granulari e, specialmente, nel più profondo orizzonte ghiaioso limoso sabbioso, a livello di scala dell'opera si considera la presenza di un unico acquifero freatico, libero e non confinato.

Questo orizzonte poggia in unconformity sui depositi marini argillosi pliocenici ed è caratterizzato da uno spessore medio di circa 2,5 m. Esso si trova ad una profondità media di circa 17 m dal piano di campagna (ovvero attorno a quote di 40-50 m s.l.m.) e si estende trasversalmente attraverso tutta l'area indagata, fino a chiudersi in prossimità del contatto laterale con le argille plioceniche.

Tale corpo ghiaioso-sabbioso è riferibile ad un sistema fluviale di tipo braided che solcava la paleovalle del fiume Elsa e rappresenta la porzione più cospicua dell'acquifero oggetto di studio. Il suo spessore irregolare potrebbe essere legato sia ad ondulazioni della superficie deposizionale, per la presenza di barre fluviali all'interno del sistema braided, sia ad un'eventuale superficie erosiva sovrastante.

Per la valutazione della permeabilità dei terreni nel corso delle indagini sono state effettuate alcune prove tipo Lefranc i cui esiti sono riassunti nella tabella seguente.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

Sondaggio	Prova Lefranc	Profondità	Litotipo	Permeabilità (m/sec)
S1	LEF1	7,5 - 8,5	Alluvioni fini	3,81497E-08
S2	LEF2	4,5 - 5,5	Alluvioni granulari	6,81163E-07
S3	LEF3	4,5 - 5,5	Alluvioni medio fini	3,93434E-07
S3bis	LEF4	12,5 - 13,5	Alluvioni fini	1,58123E-07
S4	LEF5	4,5 - 5,5	Alluvioni medio fini	6,85605E-07
S5	LEF6	4,5 - 5,5	Alluvioni granulari	7,98839E-07
S6	LEF7	6,0 - 7,0	Alluvioni fini	4,41991E-08

**Tabella 1. Prove Lefranc in foro di sondaggio**

Unendo le informazioni ottenute con i risultati delle prove di laboratorio e con riferimenti bibliografici, ai vari terreni possono essere attribuiti i seguenti valori medi di permeabilità:

- depositi alluvionali prevalentemente limoso argillosi; permeabilità valutata mediamente in  $10^{-8}$  m/sec;
- intercalazioni sabbioso limose della coltre alluvionale; hanno permeabilità nell'ordine di  $10^{-5}$  m/sec con punte di  $10^{-4}$  m/sec per l'orizzonte ghiaioso limoso sabbioso posto alla base della successione;
- per il substrato si potrà considerare una permeabilità di  $10^{-9}$  m/sec.

Al fine di individuare e monitorare la falda tutti i sondaggi eseguiti in sede di progettazione definitiva sono stati attrezzati con piezometro. Le misurazioni sono state effettuate nel periodo compreso fra maggio e agosto 2010 e rinnovate misure sono state eseguite a giugno 2018. I risultati di tale monitoraggio sono riassunti in **tabella 2**.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

S	Prof (m)	Falda (m da p.c.)							
		19/05/2010	21/05/2010	26/05/2010	28/05/2010	09/06/2010	11/06/2010	10/07/2010	03/08/2010
S1	40,00					5,12		5,46	5,60
S2	40,00		4,81					4,76	4,60
S3	30,00	3,66						3,56	3,50
S3bis	32,50	3,81						3,66	3,30
S4	40,00			3,62				4,07	4,01
S5	40,00						4,88	4,76	4,70
S6	30,00				2,91			3,56	3,61

S	Prof (m)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)
		28.06.2018	30/06/2018
S1	40,00		
S2	40,00		
S3	30,00	3,40	
S3bis	32,50		4,10
S4	40,00	4,20	
S5	40,00		
S6	30,00	3,80	

Tabella 2. Monitoraggio piezometri

La **tabella 3** riporta i livelli di falda riscontrati in foro durante l'esecuzione delle prove penetrometriche, eseguite nelle varie fase d'indagini (CPTU e DPSH eseguite nel novembre 2018).

Prova	Profondità (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)
		22/06/2010	28/06/2010	30/06/2010	19/11/2018
CPT1	16,20	2,80	-	-	-
CPT2	18,80	4,60	-	-	-
CPT3	18,00	3,60	-	-	-
CPT4	16,40	3,20	-	-	-
CPT5	13,40	3,60	-	-	-
CPT6	18,60	3,60	-	-	-
CPT7	15,60	-	5,80	6,10	-
CPTU1	12,74	-	-	-	4,31
CPTU2	11,88	-	-	-	4,75
CPTU3	11,98	-	-	-	2,85
CPTU4	12,76	-	-	-	1,97
CPTU5	11,24	-	-	-	3,20
CPTU6	10,52	-	-	-	6,02
CPTU7	5,48	-	-	-	-
D	14,00	-	-	-	6,15

Tabella 3. Livelli di falda in corso d'opera nelle prove penetrometriche

Una diffusa presenza di falda a profondità nel complesso comprese fra 3,00 e 6,00 m da p.c. ha favorito la realizzazione di pozzi per acqua diffusi, almeno nell'ambito studiato, lungo tutta la piana dell'Elsa. Si tratta prevalentemente di pozzi privati utilizzati a scopo agricolo, talvolta domestico ed altri per il pubblico acquedotto gestito da Acque Spa. Alcuni pozzi privati ricadono entro i 200 m della fascia di rispetto dell'art. 94 del T.U.A., o addirittura in corrispondenza delle aree occupate dai rilevati stradali. È probabile che i pozzi attingano l'acqua all'interno dell'intera coltre alluvionale, anche se i livelli più produttivi sono rappresentati dall'orizzonte basale ghiaioso sabbioso limoso e dalle intercalazioni sabbioso limose.

Sono presenti anche n° 3 pozzi ad uso idropotabile:

- il primo ed il secondo, Malacoda 3 e Malacoda 4, sono nel territorio comunale di Gambassi Terme e sono posti rispettivamente ad una distanza di oltre 200 m e di circa 180 m dall'asse stradale;
- il terzo pozzo Malacoda 5 è nel Comune di Castelfiorentino e rimane ad una distanza di circa 100 m dall'asse stradale.

Da notizie raccolte sul posto sembra che sia prevista la realizzazione di altri pozzi a scopo idropotabile sempre in zona.

La prossimità della falda alla superficie, la presenza di depositi a media permeabilità e di diversi pozzi usati anche a scopo idropotabile determina condizioni di elevata vulnerabilità idrogeologica a carico della falda contenuta nei depositi alluvionali del Fiume Elsa. Da ciò è derivata l'opportunità di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse verranno quindi collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di sedimentazione e disoleazione (vasche di prima pioggia) prima della restituzione al collettore demaniale.

La carta idrogeologica allegata al progetto rappresenta i terreni in termini di permeabilità e vulnerabilità idrogeologica. In carta sono segnati anche i piezometri, i tre pozzi a scopo idropotabile sopra citati nonché i pozzi privati che ricadono entro 200 m dall'asse stradale in progetto. Sulla carta idrogeologica sono state riportate anche le curve isofreatiche relative alla ricostruzione della quota media della falda s.l.m. desunta dagli studi di supporto alla pianificazione urbanistica dei tre Comuni interessati dal tracciato stradale.

La ricostruzione della superficie freatica ben si sposa con i livelli misurati in situ all'interno dei sondaggi e penetrometrie.

Per quanto riguarda i rapporti tra il fiume Elsa e la falda viene ricordato, innanzi tutto, ciò che è emerso durante la definizione spaziale dell'acquifero descritta in precedenza; ovvero come il contatto fra i due oggetti in questione può esservi solamente quando il letto del fiume Elsa scorre a diretto contatto con i corpi lentiformi delle sabbie, posti sottostante alla copertura meno permeabile della pianura alluvionale, poiché la restante parte di acquifero, rappresentata dallo strato basale delle ghiaie, si trova mediamente 10 m più in basso del letto del corso d'acqua. I livelli freatici comunque in prossimità del corso d'acqua tendono quasi sempre ad identificarsi localmente con il perimetro bagnato dell'alveo.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato D\_GE\_0502\_2\_Relazione di approfondimento inerente gli impatti dell'opera per gli aspetti idrogeologici delle acque sotterranee.

## 6 INQUADRAMENTO TETTONICO E SISMICITÀ DELL'AREA

L'Appennino settentrionale rappresenta una catena orogenica di recente costruzione. Infatti, le sue più importanti fasi di strutturazione e di sollevamento sono occorse negli ultimi 35 milioni di anni (Boccatelli et al, 1982; Elter, 1984; Bortolotti et al, 1994; Vai e Martini 2001).

L'edificio geologico nord appenninico, assieme alle Alpi, fa parte di quell'importante e complessa fascia orogenica chiamata alpina che dalla Spagna/Africa settentrionale (Gibilterra) si prolunga, attraverso le Alpi e l'Himalaia, fino all'Indonesia. Secondo le teorie derivanti dalla tettonica a placche litosferiche (Borsellini, 1978) nell'area mediterranea questa fascia orogenica è il risultato dell'avvicinamento (Cretaceo sup – Eocene medio) e successiva collisione (Eocene sup – Oligocene) del paleocontinente africano (o della microplacca Adria) con quello europeo che produsse, per subduzione della crosta oceanica al di sotto del margine europeo, la scomparsa dell'oceano giurassico che li divideva, la Tetide.

Due sono, in particolare, gli stadi più importanti nella storia geologica dell'Appennino settentrionale:

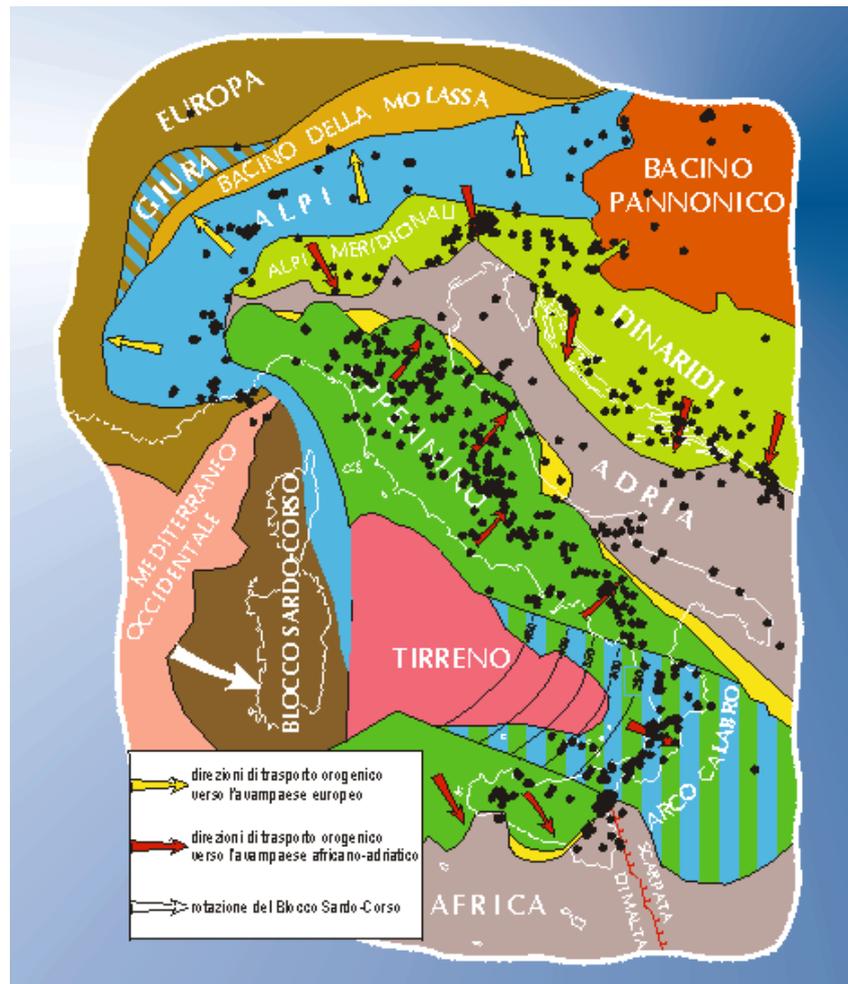
1. 27 – 10 Ma (Oligocene – Miocene). Costruzione della catena appenninica per effetto di fenomeni compressivi che hanno portato alla sovrapposizione di masse rocciose (unità strutturali o falde) di età mesozoica – terziaria appartenenti ad aree diverse di sedimentazione (domini paleogeografici) distanti fra loro anche oltre 150 Km da dove oggi le troviamo (unità alloctone);
2. 10 Ma – attuale. Innalzamento e rilassamento dell'edificio orogenico con la formazione di valli (graben) e dorsali (horst) orientate per lo più parallelamente allo sviluppo della catena (NW – SE) e delimitate da sistemi di faglie.

In questo quadro l'evoluzione strutturale dell'area compresa nel Foglio 113 della Carta geologica d'Italia avrebbe seguito le seguenti fasi:

1. a partire dall'Oligocene termina la deposizione considerata autoctona, in ambiente marino, della Serie Toscana. Contestualmente per trasporto orogenico iniziano ad arrivare i primi lembi dei Complessi Tosco Emiliani;
2. nella prima metà del Miocene giunge la massa principale dei Complessi Tosco Emiliani, che ricopre la Serie Toscana interrompendo la sedimentazione e portando ad una emersione, almeno nei quadranti occidentali;
3. nella seconda metà del Miocene si formano fosse tettoniche delimitate da faglie (graben e semigraben) ove riprende, almeno su parte del foglio, una sedimentazione in condizioni marine, salmastre e lacustri. Le condizioni paleogeografiche durante questo periodo risultano comunque difficili ed incerte;
4. nel Pliocene il mare torna ad invadere le terre emerse e si spinge ad oriente entro nuovi bacini. Si ha quindi una generalizzata subsidenza con annegamento della serie e deposizione di sedimenti essenzialmente sabbioso argillosi;
5. nel Pleistocene riprende un'orogenesi attenuata, forse secondo un modello ad horst e graben, con i primi lungo le dorsali mioceniche ed i secondi nelle strisce interposte. Il mare scompare verso SW ed il drenaggio avviene verso l'Arno a NW e l'Ombrone a SE. Solo in prossimità del mare, per movimenti tettonici verticali ed eustatismi legati alle glaciazioni, si hanno ancora parziali ingressioni marine.

Il quadro geostrutturale sopra descritto determina condizioni di sismicità lungo buona parte della catena appenninica, come rappresentato graficamente in Figura 10.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA



**Figura 10** Terremoti nella regione centro-mediterranea con intensità epicentrale superiore o uguale all'VIII grado MCS dall'anno 1000 ad oggi (da: Slejko D. et al., 1999. *Seismic hazard assessment for Adria*. *Ann.Geofis.*, 42(6), 1085-1107).

Con specifico riferimento alla Provincia di Firenze, la “*Carta delle faglie attive*” prodotta dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Firenze nell’ambito del Piano Provinciale di Emergenza, riportata in **Figura 11**, mostra strutture orientate prevalentemente NW-SE ed ubicate a Nord fra Barberino di Mugello e Dicomano, nell’intorno di Firenze, ed ancora fra Empoli e Montespertoli. A queste zone corrisponde una sismicità sottolineata da eventi con intensità sismica (MCS) compresa fra 5 – 9. Dalla stessa figura si evince anche come, procedendo da Nord verso Sud, diminuisca il numero di strutture potenzialmente attive, la frequenza ed il numero di eventi sismici di rilievo.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA



**Servizio Protezione Civile**  
**Provincia di Firenze**

**Piano Provinciale di  
 Emergenza - 1° stralcio**  
 Scenari di Evento e di Rischio

ALL. C9

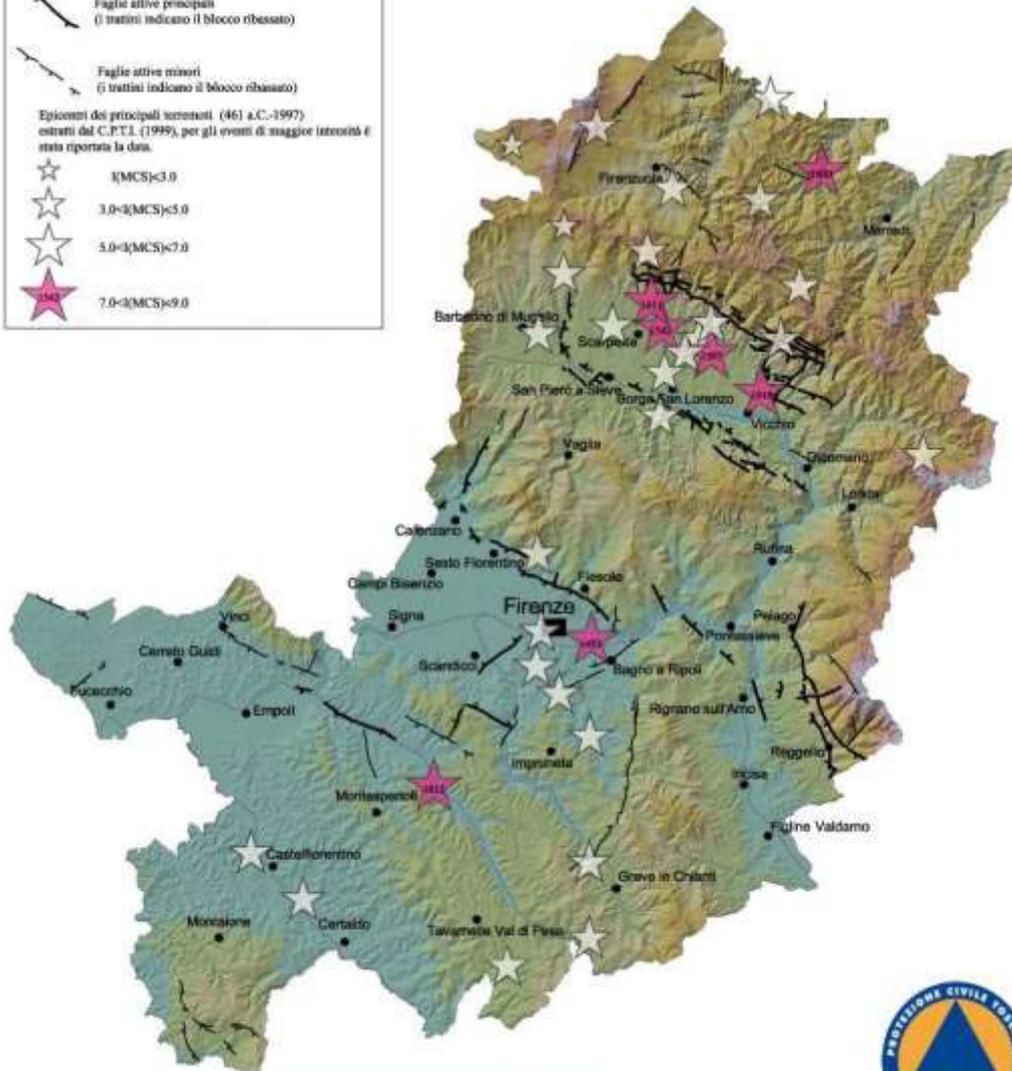
**Carta delle Faglie Attive**

**Legenda**

- Faglie attive principali (i trattini indicano il blocco ribassato)
- Faglie attive minori (i trattini indicano il blocco ribassato)

Epicentri dei principali terremoti (46) a.C.-1997 estratti dal C.P.T.1. (1999), per gli eventi di maggiore intensità è stata riportata la data.

- $1 < (MCS) < 3.0$
- $3.0 < (MCS) < 5.0$
- $5.0 < (MCS) < 7.0$
- $7.0 < (MCS) < 9.0$



Cartografia prodotta dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze



Figura 11. Carta delle Faglie attive. Fonte: Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze.

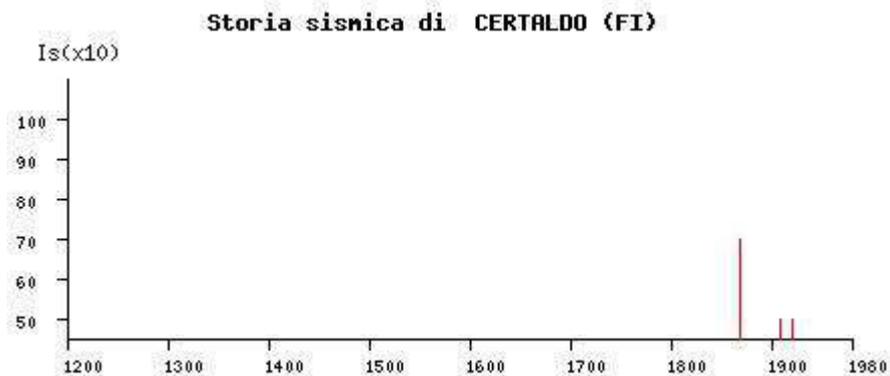
VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

Una ricerca effettuata tramite la banca dati del GNDT ha fornito, per Certaldo e Castelfiorentino, la seguente storia sismica:

CERTALDO (FI) [43.547, 11.041]

Data					Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1869	09	26	20	45	70	SAN GIMIGNANO	70 50
1909	08	25	00	22	50	MURLO	75 51
1920	09	07	05	55	50	GARFAGNANA	100 65
1914	10	27	09	22	45	GARFAGNANA	70 58
1899	06	26	23	18	40	PISTOIESE	75 50
1929	07	18	21	02	20	MUGELLO	70 47
1959	03	24	10	24	20	FIorentINO	70 47
1970	02	09	07	39	NF	MERCATO SARACENO	55 45

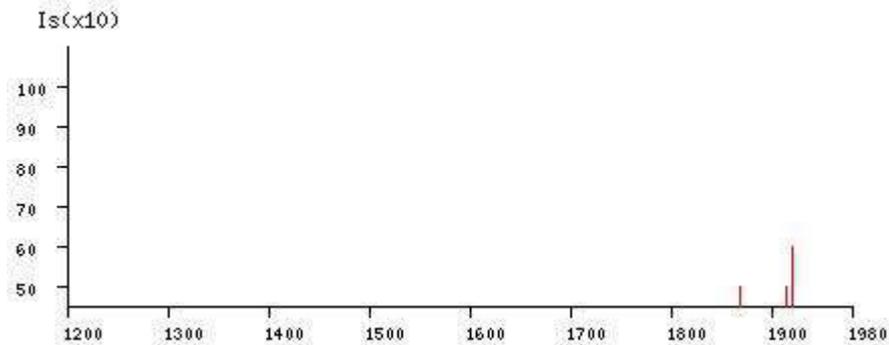


VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

CASTELFIORENTINO (FI) [43.605, 10.97]

Data					Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1920	09	07	05	55	60	GARFAGNANA	100 65
1869	09	26	20	45	50	SAN GIMIGNANO	70 50
1914	10	27	09	22	50	GARFAGNANA	70 58
1909	08	25	00	22	45	MURLO	75 51
1904	11	17	05	02	40	PISTOIESE	70 50
1909	01	13	00	45	40	BASSA PADANA	65 54
1911	09	13	22	29	35	CHIANTI	75 47
1906	04	21	06	35	F	VAL D'ELSA	65 47
1971	07	15	01	33	30	PARMENSE	80 54

Storia sismica di CASTELFIORENTINO (FI)



Questi eventi farebbero pensare, più che ad una sismicità avente una sorgente locale, ad una sismicità indotta derivante da sismi originati in aree più o meno limitrofe, in sostanziale coerenza con i contenuti della Figura 11.

In ogni caso, con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, è stata approvata la classificazione sismica regionale, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato

2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, che classifica tutto il territorio regionale in zone a diverso grado di pericolosità, prende atto della sismicità (diretta o indiretta) del territorio classificando Certaldo, Castelfiorentino e Gambassi Terme in zona 3.

Secondo le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al Decreto del 17/1/2018, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/02/2018, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$ , che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , a sua volta funzione della classe d'uso come da tabella 2.4.II delle N.T.

Nel caso in argomento si è considerata una vita nominale "VN", ai sensi del par. 2.4.1 delle sopraccitate NTC, pari a 50 anni. La classe d'uso, ai sensi del par. 2.4.2, è la III. Si ha quindi:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1,5 = 75 \text{ anni}$$

### **6.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED AZIONI SISMICHE**

Al punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche), per la definizione dell'azione sismica di progetto si afferma che:

*L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.*

*I valori di VS 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.*

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:  
 $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;  
 $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;  
 $N$  numero di strati;  
 $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

In base ai risultati della campagna geognostica ed in particolare delle specifiche indagini in sito con tecnica MASW, misurando la velocità delle onde di taglio in corrispondenza di n° 2 siti ubicati in prossimità delle opere principali, il volume di terreno indagato risulta costituito da terreni a grana grossa addensati o terreni a grana fine consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità. Inoltre, il profilo di velocità delle onde S mostra una profondità del substrato sismico  $H > 30$  m, pertanto, ponendo  $H = 30$  m in base a quanto specificato al punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018, è stato calcolato il parametro:

$VS,30 = 279$  m/s per il profilo Ps1

$VS,30 = 332$  m/s per il profilo Ps2

In riferimento al D.M. 17/01/2018, per il terreno indagato, dall'analisi della VS,eq considerata a partire dall'intradosso della fondazione e verificando la congruenza con la descrizione stratigrafica della tabella sopra (3.2. Il NTC 2018), è stato stimato in via cautelativa un **sottosuolo di categoria "C"**, ovvero si tratta di *"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."*

Per quanto attiene le condizioni topografiche, con riferimento alla tabella 3.2 III delle N.T.C., considerando un territorio sostanzialmente pianeggiante, si considera una **categoria T1**.

Per la valutazione dell'azione sismica sono state individuate, in seno all'area in studio, le coordinate geografiche di due punti rispettivamente:

1. rotonda svincolo di Certaldo: 43.566611 lat; 11.007411 long;
2. rotonda innesto sulla SP Volterrana: 43.589366 lat; 10.971688 long;

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

Successivamente è stato possibile ottenere i valori dei parametri spettrali  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ , propri del sito, tramite una media pesata effettuata con i valori relativi ai 4 più vicini nodi della griglia di accelerazioni mediante il programma “Spettri di risposta”, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (ver. 1.0.3), così come rappresentato in Figura 12. Tali valori sono ottenuti per un periodo di ritorno  $T_r$ , per lo Stato di Salvaguardia della Vita (SLV), pari a 712 anni ( $P_{vr} = 10\%$ ).



Figura 12. Identificazione del sito all'interno della maglia di appartenenza nel reticolo di riferimento (programma: spettri di risposta del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ver. 1.0.3)

Sempre mediante il suddetto programma si ottengono i seguenti valori di riferimento:

$$a_g = 0,156 \text{ (rotonda Certaldo)}$$

$$a_g = 0,157 \text{ (rotonda SP Volterrana)}$$

Constatato che c'è un incremento delle accelerazioni procedendo da sud verso nord, si procede considerando il valore più elevato. L'accelerazione massima attesa in superficie deriva quindi dalla:

$$a_{max} = S \times a_g = S_s \times S_T \times a_g$$

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica  $S_s$  e quella topografica  $S_T$

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima sul sito di riferimento rigido.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

---

Sulla base delle formule riportate in tabella 3.2.V delle NTC il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  (per suolo di categoria C) nel caso in studio vale 1,464, mentre quello topografico  $S_t$  vale 1,00. Considerando  $a_g = 0,157$  si ha che:

$$a_{\max} = 0,2298$$

## **7 INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO**

Preliminarmente alla progettazione definitiva le aree di stretto interesse progettuale sono state oggetto di una prima specifica campagna geognostica e geotecnica condotta nel periodo compreso fra maggio - giugno 2010, ed una seconda campagna nel mese di maggio 2018, articolate attraverso sondaggi a carotaggio continuo, prove in sito e di laboratorio su campioni, pozzetti esplorativi con prove di carico con piastra, prove penetrometriche statiche con punta meccanica, indagini sismiche con tecnica MASW.

Le indagini, per la cui ubicazione si rimanda alla specifica planimetria in scala 1:5.000 allegata al progetto, sono state eseguite dalla ditta Geotecnica Lavori di Ponte San Giovanni (Pg) e dalla ditta GEA di Montelupo Fiorentino (Fi).

Per le stratigrafie dei sondaggi con risultanze delle prove in sito, stratigrafie dei pozzetti con risultati delle prove di carico con piastra, per i grafici delle prove penetrometriche, per le risultanze delle indagini sismiche e per le risultanze delle prove di laboratorio si rimanda allo specifico elaborato "Risultati indagini geognostiche" allegato al progetto.

Di seguito si fornisce una descrizione delle varie indagini e relativi risultati.

### **7.1 SONDAGGI**

Rappresentano l'elemento essenziale della campagna geognostica. Si tratta di n° 6 sondaggi a carotaggio continuo del diametro 101 mm, per complessivi 252,50 m di perforazione, eseguiti mediante sonda cingolata tipo CMV 600 Modello MK 600 avente le seguenti caratteristiche:

- Motore HP 81 con 56 KNm di coppia;
- Velocità rotazione della testa min/max 0-140 rpm;
- Peso 6750 Kg;
- Pompa scarotatrice lt/bar 15-150.

La presenza di materiali sciolti ha determinato l'utilizzo sistematico, almeno entro la coltre alluvionale, di un rivestimento metallico provvisorio diametro 127 mm.

Le ubicazioni dei sondaggi sono state definite sulla base di specifici e preventivi sopralluoghi, della reale accessibilità dei siti e delle ubicazioni delle opere d'arte principali. Così i sondaggi S1 e S2 sono posti in corrispondenza del Ponte sull'Elsa, mentre i sondaggi S4 ed S5 sul Viadotto Borro della Corniola. Le perforazioni rimanenti (S3 – S3bis – S6) costituiscono indagini finalizzate ad una migliore interpretazione stratigrafico geotecnica dell'area in studio, al prelievo di campioni, all'approfondimento degli studi relativi al comportamento dei rilevati stradali e ad una migliore taratura delle prove penetrometriche.

In corrispondenza di tutti i sondaggi è stato installato un piezometro a tubo aperto tipo Norton, adeguatamente protetto da pozzetto metallico chiuso con lucchetto, per il monitoraggio della falda nel tempo.

La **tabella 5** seguente elenca i sondaggi con relative profondità. Accanto a ciascun sondaggio è riportata la profondità della falda misurata in corso d'opera.

Sondaggio	Profondità (m)	Falda (m da p.c.)
S1/Pz	40,00	5,12
S2/Pz	40,00	4,81
S3/Pz	30,00	3,66
S3bis/Pz	32,50	3,81
S4/Pz	40,00	3,62
S5/Pz	40,00	4,88
S6/Pz	30,00	2,91
Totale	252,50	

Tabella 4. Elenco sondaggi

## 7.2 PROVE PENETROMETRICHE

Ad integrazione dei sondaggi sono state condotte n° 7 prove penetrometriche statiche con punta meccanica. Le prove erano previste di profondità variabile fra 30 – 40 m da p.c., ma sono state interrotte a profondità comprese fra 13 e 19 m per l'insorgenza di condizioni di rifiuto in corrispondenza o in prossimità dell'orizzonte

granulare sabbioso ghiaioso limoso posto alla base della coltre alluvionale. Al termine della prova si è misurata la profondità della falda idrica in foro.

Per le prove è stato usato un penetrometro statico olandese tipo Gouda, marca Pagani modello TG 63-200 Kn.

Si specifica che la CPT7 è stata realizzata a maggio 2018 sul tratto di argine in Comune di Castelfiorentino dove l'asse stradale corre limitrofo alla suddetta opera idraulica ed ha avuto lo scopo proprio di caratterizzarla dal punto di vista meccanico (anche con prelievo di un campione indisturbato nel corpo del rilevato) per poter poi sviluppare adeguate verifiche statiche nell'assetto post-operam così come richiesto dall'autorità idraulica competente.

Inoltre, a seguito delle più recenti modifiche progettuali (novembre 2018) che hanno previsto la realizzazione di una sola cassa di espansione nell'area sud delle Vecchiarelle, sono state recentemente eseguite n. 7 CPTU ed una penetrometria dinamica (DPSH) al fine di approfondire la condizione litostratigrafica che caratterizza l'area interessata dal progetto della "Cassa Sud - Casino d'Elsa" ed inoltre, nella stessa area, sono ancora in fase di esecuzione le indagini sismiche, e geognostiche comprensive di saggi con escavatore meccanico, prelievo di campioni per le successive analisi chimiche e di laboratorio delle terre.

La **tabella 10** riassume le prove eseguite, le profondità raggiunte ed il livello di falda riscontrato.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)
CPT1	16,20	2,80
CPT2	18,80	4,60
CPT3	18,00	3,60
CPT4	16,40	3,20
CPT5	13,40	3,60
CPT6	18,60	3,60
CPT7	15,60	5,80
CPTU1	12,74	4,31
CPTU2	11,88	4,75
CPTU3	11,98	2,85
CPTU4	12,76	1,97
CPTU5	11,24	3,20

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

---

CPTU6	10,52	6,02
CPTU7	5,48	-
D	14,00	6,15

Tabella 5. Elenco prove CPT, CPTU e DPSH

La prova penetrometrica statica fa parte dei metodi d'indagine indiretti. Permette infatti di relazionare la variazione dei parametri misurati durante la prova con la variazione delle caratteristiche del terreno indagato. La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$ ).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste dotata di cavo di trasmissione dati. È presente inoltre un manicotto per la misura dell'attrito laterale.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura collegato sia alla punta che al manicotto laterale.

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate e precisamente:

- diametro di base del cono  $f = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono  $B = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto  $A_m = 150 \text{ cm}^2$

I dati rilevati dal penetrometro, registrati su supporto magnetico, sono i seguenti:

- $z \text{ (m)} =$  profondità dal piano campagna;
- $q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} =$  resistenza alla punta (conica);
- $f_s \text{ (kg/cm}^2\text{)} =$  resistenza laterale (manicotto);
- $i \text{ (}^\circ\text{)} =$  inclinazione della batteria di aste rispetto alla verticale.

Particolare attenzione viene posta all'esecuzione delle misure in maniera corretta. In particolare, all'inizio della prova, con la punta a piano campagna, il penetrometro deve fornire le seguenti letture:

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
CON LA S.P. VOLTERRANA

---

$q_c = f_s = 0,00$  = misura corrispondente all'azzeramento dei manometri di lettura.

In caso diverso bisogna correggere la misura per il valore di fondo scala.

In presenza di una spiccata variabilità laterale e verticale, con litotipi che spaziano dalla sabbia all'argilla, la prova penetrometrica si dimostra di valido aiuto per meglio comprendere e verificare l'esatta successione verticale dei terreni attraversati.

La valutazione della litologia passa usualmente attraverso il rapporto  $F = (q_c/f_s)$  secondo Begemann 1965 – raccomandazioni AGI 1977 – in accordo con il seguente schema:

<b>F=q<sub>c</sub>/f<sub>s</sub></b>	<b>NATURA LITOLOGICA</b>	<b>PROPRIETA'</b>
F<15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15<F≤30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30<F≤60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LILOSE	GRANULARI
F>60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

ed ancora, nei casi dubbi:

$q_c \leq 20 \text{ kg/cm}^2$ : possibili terreni coesivi (anche se  $q_c/f_s > 30$ )

$q_c \geq 20 \text{ kg/cm}^2$ : possibili terreni granulari (anche se  $q_c/f_s < 30$ ).

Oppure, nel penetrometro a punta meccanica, in base a Schertmann (1978) tramite i valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s/q_c) \%$  ed al grafico di Figura 13.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

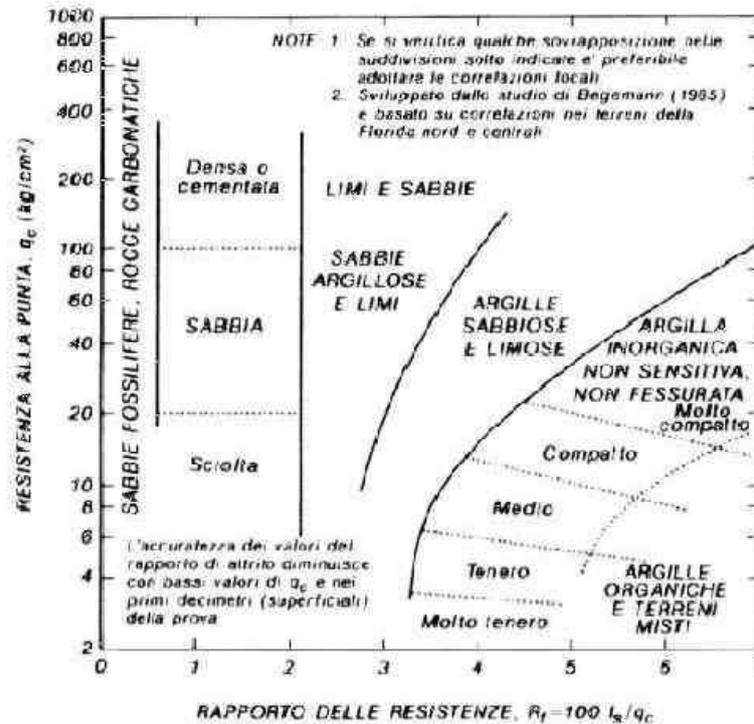


Figura 13. Identificazione del tipo di terreno da prove eseguite con punta meccanica (J.H. Schertmann 1978)

I risultati delle prove penetrometriche sono riportati nell'elaborato progettuale "Risultati indagini geognostiche". Comprendono anche valutazioni litologiche sulla base del principio di Begemann e di Schertmann.

Per un maggiore dettaglio in **allegato 1** al presente documento sono riportati i diagrammi redatti dagli scriventi e riferiti alla correlazione di Begemann. Si può osservare come la coltre alluvionale sia costituita da prevalenti depositi limoso argillosi, o argillo limosi, a tratti più o meno sabbiosi, con intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose. Un riscontro del tutto analogo si ha con la correlazione di Schertmann, per la quale si rimanda comunque alla documentazione geognostica.

Le prove giungono sistematicamente a rifiuto in corrispondenza dell'orizzonte ghiaioso sabbioso limoso posto alla base delle alluvioni.

Nel complesso le informazioni sono congruenti con i risultati delle analisi granulometriche, e permettono una più precisa identificazione e classificazione dei materiali rispetto alle stratigrafie dei sondaggi.

Nella relazione geotecnica, cui si rimanda per maggiori dettagli, sono riportate anche le valutazioni e correlazioni utilizzate per la determinazione, sulla base delle stesse prove penetrometriche, dei parametri di resistenza e deformabilità dei terreni attraversati.

### **7.3 PROVE DI LABORATORIO**

I campioni prelevati nel corso dei sondaggi e, con fustella infissa staticamente lungo l'argine del fiume Elsa (C1\_argine) in prossimità della prova penetrometrica statica CPT7, sono stati sottoposti, presso il laboratorio autorizzato IGETECMA di Montelupo Fiorentino, alle seguenti prove di caratterizzazione fisica e meccanica:

- contenuto naturale d'acqua;
- peso di volume naturale;
- limiti di Atterberg;
- analisi granulometrica con vagliatura meccanica;
- analisi granulometrica per sedimentazione;
- prova di compressione con espansione laterale libera;
- prova edometrica ad incrementi di carico controllati;
- prova di taglio diretto consolidata e drenata;
- prova triassiale consolidata e drenata.

Nel complesso sono stati prelevati 45 campioni rimaneggiati e 22 campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili tipo Shelby. L'elenco completo dei campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati in corrispondenza dei sondaggi eseguiti è riportato in **tabella 6**.

Le analisi granulometriche, i cui esiti sono riassunti in **tabella 7** mostrano, all'interno della **coltre alluvionale**, la prevalenza di limi argillosi (passante al vaglio 200 compreso fra 70 e 99%) con intercalazioni di sabbie limose o più spesso limi sabbiosi (passante al vaglio 200 compreso fra il 30 e 50%). Nella componente fine l'indice di

consistenza è inferiore all'unità, il contenuto naturale d'acqua prossimo o superiore al limite di plasticità, la classificazione CNR UNI 10006 prevalentemente A7 o A6. Si ha invece A4 o A2-6 per le intercalazioni limoso sabbiose.

I depositi del **substrato** granulometricamente rispecchiano le alluvioni, ed infatti sono ancora limi argillosi a tratti sabbiosi (passante al vaglio 200 compreso fra il 70 e 99%) con classificazione CNR UNI 10006 prevalentemente A7 o A6. La facies sabbioso limosa mostra un passante al vaglio 200 mediamente compreso fra il 30 ed il 50%, con la frazione granulare costituita quasi esclusivamente da sabbie e classificazione prevalente A4. La diversa struttura rispetto alle alluvioni è percepibile attraverso l'indice di consistenza, sempre superiore all'unità, ed il contenuto naturale d'acqua sempre inferiore al limite di plasticità.

La Figura 14 mostra il diagramma di plasticità di Casagrande. Mentre le alluvioni fini sono prevalentemente argille di media o alta plasticità, quelle del substrato sono prevalentemente a media o bassa plasticità.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

Sondaggio	Campione rimaneggiato	Campione indisturbato	Profondità	Sondaggio	Campione rimaneggiato	Campione indisturbato	Profondità
S 1	R1		6,3 - 6,6	S 4	R1		3,5 - 3,7
	R2		8,5 - 8,75		R2		5,5 - 5,8
	R3		11,5 - 11,95		R3		12,5 - 12,8
	R4		21,45 - 21,75		R4		16,7 - 17,0
	R5		28,0 - 28,4		R5		23,1 - 23,4
	R6		32,6 - 33,0		R6		29,0 - 29,4
	R7		36,6 - 37,0		R7		38,0 - 38,4
		C1	7,4 - 7,9			C1	7,5 - 8,0
		C2	13,0 - 13,4			C2	18,5 - 19,0
		C3	26,0 - 26,5			C3	32,8 - 33,1
S 2	R1		4,8 - 5,0	S 5	R1		2,5 - 3,0
	R2		6,5 - 7,0		R2		6,5 - 7,0
	R3		9,6 - 10,0		R3		9,5 - 10,0
	R4		12,0 - 12,4		R4		13,7 - 14,0
	R5		24,0 - 24,3		R5		19,7 - 20,0
	R6		27,55 - 28,0		R6		34,0 - 34,4
	R7		33,0 - 33,5			C1	17,0 - 17,5
		C1	2,5 - 2,8			C2	20,0 - 20,5
		C2	8,5 - 9,0			C3	36,0 - 36,5
		C3	14,5 - 15,0				
S 3	R1		3,6 - 4,0	S 6	R1		9,3 - 9,5
	R2		8,7 - 9,0		R2		10,0 - 10,3
	R3		14,5 - 14,9		R3		15,0 - 15,4
	R4		23,1 - 23,4		R4		19,5 - 20,0
	R5		28,7 - 29,0		R5		21,5 - 21,8
		C1	2,5 - 3,0		R6		29,0 - 29,5
		C2	12,0 - 12,5			C1	3,0 - 3,5
S 3 bis	R1		2,5 - 3,0	Argine (CPT7)		C1	1,2 - 1,7
	R2		9,6 - 10,0				
	R3		14,0 - 14,5				
	R4		19,6 - 20,0				
	R5		23,5 - 24,0				
	R6		25,5 - 25,9				
	R7		29,7 - 30,0				
		C1	4,0 - 4,5				
		C2	8,0 - 8,5				
		C3	13,0 - 13,5				

Tabella 6. Elenco dei campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati nel corso delle indagini

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

Sondaggio	Campione rimaneggiato	Campione indisturbato	Profondità	PROVE DI CARATTERIZZAZIONE FISICA												
				P/V (kN/mc)	Granulometria				W (%)	Limiti Atterberg			Indice consistenza	Indice attività	Class. Casagrande	Class. UNI 10006
					Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla		LL (%)	LP (%)	IP				
S 1		C1	7,4 - 7,9	18,40	0,10	0,70	99,20		35,40	54,40	22,70	31,70	0,60		CH	A7-6
		C2	13,0 - 13,4	18,10	1,40	1,00	97,50		33,00	51,10	24,00	27,10	0,67		CH	A7-6
		C3	26,0 - 26,5	21,00	0,30	5,10	62,90	31,70	14,80	36,30	24,00	12,30	1,75	0,38	CL	A6
		R1	6,3 - 6,6		2,80	5,90	45,30	46,00		53,10	24,00	29,10		0,61	CH	A7-6
		R2	8,5 - 8,75		0,50	5,40		94,20		54,80	25,80	29,00			CH	A7-6
		R3	11,5 - 11,95		0,30	0,80	45,20	53,70		59,60	25,50	34,10		0,63	CH	A7-6
		R4	21,45 - 21,75		1,60	4,00		94,40		33,40	20,60	12,80			CL	A6
		R5	28,0 - 28,4		0,10	0,90		99,00		34,40	20,00	14,40			CL	A6
S 2		C1	2,5 - 2,8	17,50					14,45	NP	NO	NP			CL	A7-6
		C2	8,5 - 9,0	19,10	0,00	11,30	47,20	41,40	40,68	47,20	25,10	22,10	0,30	0,52	CL	A7-6
		C3	14,5 - 15,0	19,60	1,10	6,10	46,30	46,50	23,76	51,40	22,50	28,90	0,96	0,61	CH	A7-6
		C4	18,5 - 19,0													
		R1	4,8 - 5,0		0,10	14,60		85,20		41,10	24,20	16,90			CL	A7-6
		R2	6,5 - 7,0		26,60	42,60		30,70		20,30	15,90	4,40			ML-CL	A2-4
		R3	9,6 - 10,0		0,70	1,30	49,40	48,60		55,70	25,90	29,80		0,61	CH	A7-6
		R4	12,0 - 12,4		0,00	3,30		96,70		57,70	26,10	31,60			CH	A7-6
S 3		C1	2,5 - 3,0	18,30	0,00	22,10	77,90		29,80	37,90	20,90	17,00	0,48		CL	A6
		C2	12,0 - 12,5	17,90	0,60	6,30	93,20		33,16	40,90	24,00	16,90	0,46		CL	A7-5
		R1	3,6 - 4,0							51,10	26,10	25,00			CH	A7-6
		R2	8,7 - 9,0		0,20	0,80	65,50	33,60		38,60	21,70	16,90		0,50	CL	A6
		R3	14,5 - 14,9		0,00	63,50	36,50			NP	NP	NP				
		R4	23,1 - 23,4		0,00	11,10	67,40	21,50		30,50	20,20	10,30		0,48	CL	A4
		R5	28,7 - 29,0		0,00	1,90	44,40	53,70		61,10	29,10	32,00		0,60	CH	A7-6
	S 4		C1	7,5 - 8,0	19,50	0,00	13,90	49,46	36,67	15,60	45,20	22,20	20,00	0,86	0,55	CL
		C2	18,5 - 19,0	20,70	0,00	2,30	53,90	43,80	17,30	57,90	28,10	29,80	1,23		CH	A7-6
		C3	32,8 - 33,1	19,70	0,00	20,00	48,20	31,90	15,60	30,10	21,00	9,10	1,84	0,29	CL	A4
		R1	3,5 - 3,7		2,10	25,20		72,70		32,00	20,20	11,80			CL	A6
		R2	5,5 - 5,8		0,80	11,30		87,90		35,20	24,50	10,70			ML-OL	A4
		R3	12,5 - 12,8		0,00	26,50	45,50	28,00		31,30	19,80	11,50			CL	A6
		R4	16,7 - 17,0		0,10	3,30		96,60		52,30	24,40	27,90			CH	A7-6
		R5	23,1 - 23,4		0,20	60,00		39,70		22,90	19,90	3,00			ML	A4
S 5		C1	17,0 - 17,5	20,10	0,00	0,80	36,00	63,20	22,80	66,20	32,80	33,40	1,30	0,53	MH-OH	A7-6
		C2	20,0 - 20,5	20,40	0,00	3,70	59,30	37,00	18,50	61,70	29,90	31,80	1,36	0,86	CH	A7-6
		C3	36,0 - 36,5	20,70	0,00	2,60	45,50	51,80	15,40	59,00	28,10	30,90	1,41	0,59	CH	A7-6
		R1	2,5 - 3,0		0,10	42,60		57,30		29,30	22,00	7,30			CL	A4
		R2	6,5 - 7,0		0,00	6,40		93,60		51,60	26,40	25,20			CH	A7-6
		R3	9,5 - 10,0		7,70	62,80		29,50		15,90	14,80	1,10			ML	A2-4
		R4	13,7 - 14,0		0,30	2,30		97,40		36,00	19,70	16,30			CL	A6
		R5	19,7 - 20,0		0,00	21,30		78,60		38,20	20,10	18,10			CL	A6
S 6		C1	3,0 - 3,5	19,60	0,00	6,00		94,00	24,70	49,00	25,10	23,90	1,02		CL	A7-6
		C2	12,5 - 13,0	19,50	0,90	1,10	49,70	48,40	25,97	53,80	26,90	26,90	1,03	0,55	CH	A7-6
		C3	26,5 - 26,9	18,90	0,00	44,80	43,10	12,40	15,53	26,40	20,90	5,50	1,98	0,44	ML-CL	A4
		R1	9,3 - 9,5		0,10	2,20	53,70	44,00		53,40	27,80	25,60		0,58	CL	A7-6
		R2	10,0 - 10,3		0,70	4,20		95,00		40,40	28,10	12,30			ML-OL	A6
		R3	15,0 - 15,4		0,00	34,80		65,20		31,90	21,80	10,10			CL	A4
		R4	19,5 - 20,0		0,00	1,10		98,80		66,20	23,30	42,90			CH	A7-6
		R5	21,5 - 21,8		0,50	11,10		88,40		54,80	19,80	35,00			CH	A7-6
	R6	29,0 - 29,5		0,20	46,80		52,90		28,00	19,80	8,20			CL	A4	
Argine (CPT7)		C1	1,20 - 1,70	17,9	0,2	51,3	36,8	11,6		27	21	6	2,11	0,51	ML-CL	A4

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

LEGENDA SIMBOLI	
	Campione riferibile alla coltre alluvionale
	Campione riferibile al substrato

Tabella 7. Analisi granulometriche su campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi.

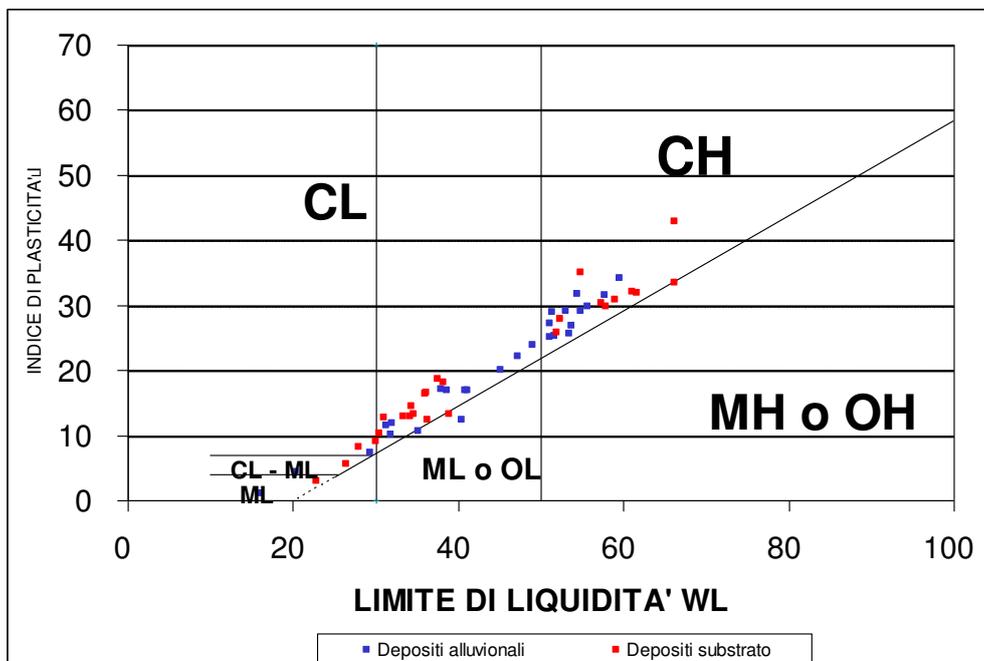


Figura 14. Diagramma di Plasticità di Casagrande. In rosso campioni riferibili al substrato, in blu ai depositi alluvionali

Nel maggio/giugno 2018 sono state svolte anche specifiche indagini geotecniche di caratterizzazione dei terreni di scavo delle casse di compensazione idraulica per la valutazione della loro idoneità prestazionale all'utilizzo per la costruzione del rilevato stradale. La caratterizzazione geotecnica ha riguardato le aree di compensazione idraulica che erano già state individuate nel progetto definitivo 2013 ma vista l'omogeneità sostanziale dei terreni per lo meno a livello del primo orizzonte subito sottostante il terreno vegetale, i risultati ottenuti sono stati adattati anche alle modifiche progettuali che avevano comportato l'inserimento nel quadro progettuale dell'opera anche delle due casse di espansione in sinistra idraulica Elsa delle Vacchiarelle, in maniera da avere conforto tecnico sulle caratteristiche dei terreni oggetto di riutilizzo per l'opera stradale.

A seguito delle più recenti modifiche progettuali (novembre 2018) che hanno previsto la realizzazione di una sola cassa di espansione nell'area sud delle Vecchiarelle,

sono state recentemente eseguite n. 7 CPTU ed una penetrometria dinamica (DPSH) al fine di approfondire la condizione litostratigrafica che caratterizza l'area interessata dal progetto della "Cassa Sud - Casino d'Elsa" ed inoltre, nella stessa area, sono ancora in fase di esecuzione le indagini sismiche, e geognostiche comprensive di saggi con escavatore meccanico, prelievo di campioni per le successive analisi chimiche e di laboratorio delle terre.

Di seguito si riportano i tabulati dei punti di prelievo e delle relative analisi svolte, per l'ubicazione si rimanda alla "Planimetria con ubicazione delle indagini".

I risultati delle prove di caratterizzazione geotecnica sono discussi all'interno della Relazione Geotecnica.

#### **7.4 PROVE IN SITO**

Nel corso dei sondaggi sono state effettuate regolari prove SPT in avanzamento. Tali prove avrebbero dovuto essere eseguite all'interno delle intercalazioni prevalentemente sabbiose, o limoso sabbiose della coltre alluvionale. La presenza di una variabilità verticale, ed il preciso riscontro delle analisi granulometriche su campioni, dimostrano come tali prove siano invece talvolta ricadute in depositi limoso argillosi.

I risultati delle prove con riferimento al sondaggio ed alla profondità di esecuzione sono riportati in **tabella 8**.

Sempre in foro di sondaggio sono state eseguite prove tipo Lefranc a carico variabile per la valutazione della permeabilità dei terreni. Le prove sono state condotte in corrispondenza di una tasca da 1,00 m posta al di sotto della tubazione di rivestimento, opportunamente riempita con ghiaietto per evitare il franamento del foro. Gli intervalli di prova ed i relativi risultati sono riepilogati in **tabella 9**.

Sondaggio	Nspt	Profondità	Sondaggio	Nspt	Profondità
S1	13	2,50	S3bis	10	5,50
	20	5,20		23	11,50

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

	17	10,00		53	17,50
	48	16,00	S4	5	4,00
	46	22,50		12	8,00
	45	32,50		20	11,00
S2	23	5,50		29	16,00
	18	18,00	S5	9	5,00
	43	43,00		6	8,00
S3	19	7,50		59	17,50
	32	10,50		33	25,00
	20	16,50	46	29,00	
	36	20,00	S6	20	6,50
		18		11,50	
		36		17,00	
		55		23,00	

Tabella 8. Valori degli SPT misurati nel corso dei sondaggi

Sondaggio	Prova Lefranc	Profondità	Permeabilità (m/sec)	Falda (m da p.c.)
S1	LEF1	7,5 - 8,5	3,81497E-08	5,21
S2	LEF2	4,5 - 5,5	6,81163E-07	4,81
S3	LEF3	4,5 - 5,5	3,93434E-07	3,66
S3bis	LEF4	12,5 - 13,5	1,58123E-07	3,81
S4	LEF5	4,5 - 5,5	6,85605E-07	3,62
S5	LEF6	4,5 - 5,5	7,98839E-07	4,88
S6	LEF7	6,0 - 7,0	4,41991E-08	2,91

Tabella 9. Prove Lefranc a carico variabile.

### 7.5 POZZETTI ESPLORATIVI

Al fine di meglio comprendere e valutare l'interazione fra i rilevati ed i terreni di sedime, lungo l'asse stradale in progetto sono stati eseguiti n° 5 pozzetti esplorativi profondi 2,00 m da p.c. Alla profondità di 50 cm e 1,00 m da p.c. si sono eseguite prove di carico con piastra su n° 2 cicli (rispettivamente carico – scarico – carico). I risultati di tali prove sono riassunti in **tabella 11**.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

<b>Prova di carico I Profondità</b>	<b>Modulo 1° ciclo fra 0,15 - 0,25 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Modulo 2° ciclo fra 0,15 - 0,25 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Prova di carico II Profondità</b>	<b>Modulo 1° ciclo fra 0,15 - 0,25 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Modulo 2° ciclo fra 0,15 - 0,25 N/mm<sup>2</sup></b>
50 cm	7,7 MPa	55,9 MPa	100 cm	7,7 MPa	25,7 Mpa
50 cm	13,2 Mpa	245,2 Mpa	100 cm	4,4 Mpa	56,2 Mpa
50 cm	17,7 Mpa	114,7 Mpa	100 cm	9,8 Mpa	81,8 Mpa
50 cm	10,5 Mpa	70,1 Mpa	100 cm	13,2 Mpa	36,6 Mpa
50 cm	12,4 Mpa	76,1 Mpa	100 cm	6,4 Mpa	63,5 Mpa

**Tabella 10. Prove di carico con piastra**

Dalle prove si evince la presenza di valori più elevati alla profondità di 50 cm piuttosto che di 1,00 m. tale contesto, peraltro evidenziato anche dalle prove penetrometriche, si giustifica con la presenza di una crosta superficiale essiccata.

I valori al secondo ciclo di carico, e talvolta anche al primo, sono sempre superiori al minimo di capitolato. Pertanto, la profondità dei piani di posa dovrà essere la minima possibile, e lo scotico/bonifica dovrà essere limitato alla sola asportazione della coltre di terreno vegetale.

Nuovi pozzetti esplorativi, come accennato in precedenza, sono stati eseguiti per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre in laboratorio a delle specifiche prove per poter valutare la loro idoneità per la costruzione del rilevato stradale.

In tabella 11 si riportano i dati dei punti di prelievo, le caratteristiche salienti della caratterizzazione granulometrica, della classificazione ASHOO e delle prove Proctor. Dai dati si rileva come i terreni di scavo presentino contenuti di terreni fini (limo+argilla) molto alti che non consentirebbero un loro utilizzo tal quali per la costruzione del rilevato stradale che deve avere caratteristiche tali non solo di esser compattabile ed avere caratteristiche di resistenza alla compressione nel breve termine, ma soprattutto deve essere durabile e non aver cambiamenti di resistenza nel lungo termine soprattutto a causa della variabilità del contenuto in acqua a causa delle piogge.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

Campione	Granulometria			Classificazione ASHOO	Proctor 3% CaO	
	Ghiaie (%)	Sabbia (%)	Limo e argilla (%)		Wn (%)	gn (%)
B1	0.0	39.2	60.8	A4	12.47	18.74
B2	0.0	36.0	64.0	A4	13.20	18.90
D1	3.3	41.4	55.3	A6	13.10	18.12
F1	1.0	40.8	58.2	A6	12.13	18.30
F1-1	1.0	40.8	58.2	A6	12.13	18.39
G1	0.0	42.2	57.8	A4	13.40	18.77
H1	0.0	21.5	78.5	A6	12.46	18.14
C1V1	0.9	16.4	82.7	A6		
C2V2	0.1	25.1	74.8	A6		
C3V2	0.1	29.9	70.0	A6		

Tabella 11. Risultati analisi su campioni prelevati da scavo

Vista la caratterizzazione preliminare e definitiva dei terreni di scavo è stato condotto uno specifico Studio per il Trattamento a Calce che ha consentito di stabilire il miglioramento indotto sui terreni a seguito del trattamento con Calce e poter conseguentemente stabilire la loro utilizzabilità con requisiti prestazionali più che sufficienti per il tipo di opera. Lo studio ha anche permesso di stabilire il contenuto percentuale in peso ottimale della Calce per i suddetti terreni (3%).

I risultati delle prove di caratterizzazione geotecnica/stradale dei terreni sono discussi in maniera più estesa all'interno della Relazione Geotecnica.

## 7.6 INDAGINE SISMICA

Come esposto al capitolo precedente, ed al fine di individuare la categoria di suolo di fondazione *in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), come stabilito al capitolo 3.2.2 del D.M. 17/01/2018*, sono state condotte n° 2 traverse sismiche con tecnica MASW in

corrispondenza delle opere principali, ovvero Ponte sull'Elsa e Viadotto sul Borro della Corniola.

I risultati ottenuti, riportati nello specifico allegato e riassunti in **tabella 12**, identificano i terreni di fondazione come appartenenti alla categoria C.

Traversa sismica	Ubicazione	Valore di Vs 30	Categoria di suolo di fondazione
Ps1	Viadotto Elsa	279	C
Ps2	Viadotto Borro della Corniola	332	C

Tabella 11. Risultati MASW (il calcolo della Vs30 è riferito a partire dalla profondità di 2, da p.c.)

## 7.7 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Rimandando alle stratigrafie dei sondaggi ed ai grafici delle prove penetrometriche per un maggiore dettaglio, le indagini eseguite hanno messo in luce una situazione stratigrafica relativamente semplice ed omogenea lungo l'intero asse progettuale. Al di sotto di una coltre di terreno vegetale potente circa 50 cm (anche se localmente variabile in spessore all'interno di tale massimo) si riscontrano depositi alluvionali costituiti da limi argillosi da poco a debolmente sabbiosi di colore prevalentemente grigio. Il materiale si dimostra normal consolidato, o debolmente sovraconsolidato, da consistente o mediamente consistente, con locali e sottili (decimetrici) passaggi di argille organiche. La sequenza viene interrotta da alternanze irregolari costituite da sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore mediamente variabile da 50 a 150 cm e colore bruno marrone, più raramente grigio.

Localmente (zona del viadotto Elsa) si rinviene uno strato di spessore medio circa 6 m che, lateralmente, riduce il suo spessore ai valori sopra indicati.

La coltre alluvionale termina con un orizzonte potente da 0,5 a 4,0 m, continuo almeno a livello di area studiata, costituito da ghiaie da fini a grossolane prevalentemente arrotondate o subarrotondate in matrice sabbioso limosa a tratti abbondante.

Una maggiore precisione e dettaglio stratigrafico viene fornito dalle prove penetrometriche statiche mentre le stratigrafie, redatte in campagna, non sempre riconoscono con esattezza il litotipo prevalente (limo argilloso piuttosto che limo sabbioso); in tal caso di notevole aiuto si dimostrano le analisi granulometriche, i cui esiti permettono di ricondurre i rilievi stratigrafici ad un'ottima congruenza con le prove penetrometriche statiche.

Lo spessore del materasso alluvionale è compreso fra un massimo di circa 20 m dei sondaggi S1, S3, S6 ed un minimo di 12,6 m del sondaggio S5.

Le alluvioni poggiano su di un substrato, attraversato dai soli sondaggi, costituito da argille grigio azzurre molto consistenti e ben sovraconsolidate, con abbondanti frammenti conchigliari. Anche in questo caso, ed in congruenza con i dati geologici disponibili a livello locale e regionale, sono evidenti intercalazioni metriche di sabbie medie e grossolane e sabbie limose, dello stesso colore, con rari frammenti conchigliari ed occasionali elementi litici arenacei.

Il profilo geologico/geotecnico redatto in scala 1:5.000/500 illustra, sulla base delle indagini geognostiche puntualmente eseguite e della parametrizzazione geotecnica discussa nella relazione geotecnica, il modello geologico e geotecnico di riferimento per la progettazione delle opere.

## 8 INTERAZIONE TRA LE OPERE ED IL TERRENO

L'asse stradale in progetto ha uno sviluppo complessivo pari a circa 3.900 m ed è impostato su rilevati di altezza media pari a 3 m, con punte massime di 5 - 7 m in corrispondenza dei tratti di approccio ai due viadotti.

Le opere principali sono rappresentate dal Viadotto sul Fiume Elsa e dal viadotto sul Borro della Corniola. Le opere minori sono costituite da una serie di manufatti idraulici che rendono permeabile l'opera nei confronti di possibili fenomeni di espansione del Fiume Elsa (ad eccezione del tratto strada/argine nella zona delle Vecchiarelle), un sottopasso stradale, due rotonde rispettivamente ad inizio e fine intervento, ed alcune sistemazioni/deviazioni a carico della viabilità locale.

Per il **ponte sull'Elsa e per il viadotto sul Borro della Corniola** le caratteristiche dei terreni, costituiti da depositi alluvionali limo argilloso sciolti per spessori compresi mediamente fra 15 – 18 m circa in appoggio su argille consistenti, impongono il ricorso a fondazioni indirette su pali di grande diametro  $\geq 1.000$  mm. La falda staziona stabilmente a profondità modeste e mediamente comprese fra 3 e 6 m da p.c.. Per la realizzazione di eventuali palancole necessarie per gli scavi sull'impronta delle pile del ponte sull'Elsa si indica una profondità di infissione delle stesse almeno fino a 8-9 m dal p.c. in maniera che siano ammorsate bene all'interno dell'orizzonte francamente argilloso che si incontra a partire da tale profondità (riferimento sondaggio S2).

Per quanto attiene i **rilevati** stradali, le prove eseguite dimostrano che le caratteristiche di portanza degli strati più superficiali non sono minori rispetto agli strati più profondi. Pertanto, il piano di posa potrà essere impostato appena al di sotto del vegetale, il cui spessore dovrà essere puntualmente verificato in corso d'opera. Data la vocazione prettamente agricola dell'area sulla base delle indagini eseguite si è previsto, in fase di stima, uno spessore di terreno vegetale pari mediamente a 50 cm. Allo scotico (valore di capitolato 20 cm) dovrà pertanto seguire una bonifica da 30 cm permettendo così l'asportazione del vegetale in loco.

Si avrà pertanto, lungo tutto il sedime dei rilevati stradali:

scotico 20 cm + bonifica 30 cm. Significa: piano di posa a -50 cm da p.c.

La presenza di rilevati di altezza metrica potrà determinare l'insorgenza di cedimenti dell'ordine di 20-30 centimetri. Rimandando alla relazione geotecnica per maggiori approfondimenti, in progetto si è prevista l'immediata realizzazione dei rilevati di approccio ai viadotti ed al sottopasso stradale, in maniera tale da accelerare il decorso degli stessi cedimenti garantendone l'esaurimento nell'ambito dei tempi di realizzazione dell'opera.

La modesta profondità della falda da piano campagna e la natura prevalentemente limoso argillosa dei sedimenti consiglia la previsione, in corrispondenza dei piani di posa dei rilevati, di un anticapillare. Data la scarsità di cave e materiali naturali in zona, si potrà adottare un geosintetico in neopropilene costituito da un'anima in materiale agugliato compresa fra due strati di tessuto non tessuto (o un prodotto analogo).

Tecnicamente una volta effettuati scotico e bonifica si dovrà porre in opera materiale idoneo sino a riportarsi alla quota del terreno originaria, sagomando la nuova superficie con una leggera pendenza verso l'esterno (a dorso di montone). Sul piano così ottenuto va steso l'anticapillare procedendo poi al completamento del rilevato stradale vero e proprio sino al raggiungimento delle quote di progetto.

Il corpo del rilevato dovrà essere realizzato con materiale appartenente alle categorie A1; A2-4; A2-5 della CNR UNI 10006, riportata in **tabella 13**. In merito a questo punto si è sviluppato nel periodo aprile-giugno 2018 uno specifico Studio per il Trattamento a Calce dei Terreni di scavo (casse di compensazione e casse di espansione) che ha dimostrato come, una volta trattati a Calce con percentuali in peso del 3% i suddetti terreni raggiungano requisiti prestazionali ampiamente sufficienti per l'opera.

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

CLASSIFICAZIONE H. R. B. (AASHO M 145-49)	MATERIALI GRANULARI (Passante al setaccio N° 200 uguale o minore al 35%)							MATERIALI LIMOSI E ARGILLOSI (Passante al setaccio N° 200 superiore al 35%)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
ANALISI GRANULOMETRICA % passante al setaccio N° 10 (2 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40 (0,42 mm)	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200 (0,075 mm)	15 max	25 max	13 max	25 max	35 max	35 max	35 max	36 max	36 max	36 max	35 min
CARATTERISTICHE DELLE FRAZIONI PASSANTI AL N° 40											
LIMITE DI LIQUIDITÀ %L	-	-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
INDICE DI PLASTICITÀ Ip	6 max	N. P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min	11 min*
INDICE DI GRUPPO	0	0	0	0	4 max	4 max	4 max	12 max	12 max	15 max	20 max
TIPI USUALI DEI MATERIALI PRINCIPALI	Frammenti di roccia, ghiaia e sabbia		Sabbia fine	Ghiaia limosa e argillosa e sabbia				Terre limose		Terre argillose	
GIUDIZIO PER IMPIEGO COME SOTTOFONDO	DA ECCELLENTE A BUONO					DA BUONO A POVERO					
* L'indice di Plasticità del sottogruppo A-7-5 è uguale o minore del Limite di Liquidità %L meno 30 mentre per il sottogruppo A-7-6 detto limite è maggiore del Limite di Liquidità %L meno 30											

Tabella 12 CNR UNI 10006/63

Gli unici scavi previsti nell'ambito dei lavori sono rappresentati dalla preparazione del piano di posa dei rilevati (scotico e bonifica), e dagli sbancamenti previsti a compensazione dei volumi occupati entro la piana del fiume Elsa dall'opera in progetto e per la realizzazione della cassa di espansione delle Vecchiarelle. Nel primo caso il materiale sarà costituito da terreno vegetale, che dovrà essere stoccato in cantiere per essere poi interamente riutilizzato a copertura delle scarpate, nelle rotonde e più in generale per le opere a verde. Nel secondo e terzo caso sarà costituito prevalentemente da limi argillosi classificabili, ai sensi della predetta CNR UNI 10006, come A6 o A7-6, ovvero materiali non reimpiegabili tal quali per opere strutturali. Il relativo reimpiego a rilevato potrà avvenire solo a seguito di opportuna stabilizzazione a calce in ragione di una percentuale che specifico studio di caratterizzazione ha valutato dell'ordine del 3%.

Il materiale necessario per il completamento dei rilevati stradali, esaurito il volume reimpiegabile ottenuto dai lavori, dovrà provenire eventualmente da una fonte esterna.

Dovendo prevedere la realizzazione dei rilevati stradali mediante utilizzo sia di materiale provenienti da scavi trattato a calce sia di materiale arido di buona qualità, si dovrà fare in modo di intervenire per sezioni omogenee. Vale a dire tratte ben distinte con rilevati con materiale corretto a calce e rilevati solo con eventuale materiale da cava. In particolare, si prevede di realizzare interamente con materiale fine (A6 – A7) proveniente da scavi addizionato con calce il rilevato stradale compreso fra le progressive Km 2.940 - 3.710, che costituisce il limite meridionale della futura cassa di espansione del Fiume Elsa.

Sul punto è bene chiarire che per ciò che riguarda l'impermeabilità di tale tratto per la sua funzionalità idraulica (tratto di strada/argine cassa espansione) già i materiali del terreno di scavo sono di per se idonei in quanto rispondenti ai requisiti prestazionali per gli argini (classificazione A4-A5-A6-A7), se a questo aggiungiamo anche il trattamento a calce degli stessi si otterranno sicuramente valori di permeabilità addirittura inferiori e caratteristiche meccaniche senz'altro superiori ed in grado di garantire la durabilità del tempo dell'opera.

Possiamo quindi affermare che per quanto attiene **le casse di compensazione idraulica**, in destra idraulica, nel Comune di Certaldo, si segnala che i massimi scavi da prevedersi in tali aree per non avere interferenza con la falda anche nei periodi di morbida più spinti non debbano essere superiori ai 2 m dal p.c..

Per ciò che riguarda invece **la cassa di espansione in sinistra idraulica (cassa sud Casino d'Elsa)** i massimi scavi medi da prevedersi non devono essere superiori ai 2,5 m da p.c.. Localmente per questa opera, in prossimità del margine collinare si possono anche considerare come ammissibili scavi superiori ai 2,5 m da p.c. in ragione dell'assottigliarsi dei sedimenti alluvionali che passano ai sedimenti marini impermeabili.

La situazione locale di dettaglio andrà comunque approfondita con le indagini già programmate di supporto al progetto esecutivo.

Relativamente poi alle **opere di sottosuolo (palificazioni dei ponti)** si segnala che tali opere non interessano direttamente le aree di rispetto della risorsa idropotabile di

cui all'art.94, D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.. È utile comunque evidenziare che le attività di scavo più vicine alle opere di captazione a profondità di interesse della falda idropotabile sono quelle relative alle spalle ed alle pile del "viadotto Elsa". Visto che tali palificazioni si trovano comunque a monte delle opere di captazione della risorsa idropotabile nell'area delle Vecchiarelle, in favore di sicurezza si prescrive che i suddetti pali debbano essere realizzati senza l'utilizzo di fanghi bentonitici e che i calcestruzzi siano dotati di viscosità sufficiente ad evitare il trascinamento, in fase di getto, dal flusso della falda.

## 9 CONCLUSIONI

L'area in studio è riferibile al settore centrale della Val d'Elsa.

Il tracciato, che ha uno sviluppo di circa 3.900 m, si sviluppa con direzione circa NW – SE entro la piana alluvionale del fiume Elsa fra gli abitati di Certaldo e Castelfiorentino, in provincia di Firenze.

Geomorfologicamente il tratto di territorio attraversato è sostanzialmente pianeggiante, con quote del terreno mediamente comprese fra 58,00 m.s.l.m. circa nel tratto meridionale, e 51,00 m.s.l.m. in quello settentrionale.

Il fiume Elsa ha una direzione tipicamente appenninica (NW – SE) così come i rilievi collinari che lo bordano da entrambi i lati, ed un percorso tortuoso a tratti meandriforme.

L'alveo è ubicato in un solco profondo alcuni metri re-inciso nelle proprie alluvioni.

Dall'esame della cartografia allegata al PAI del Fiume Arno ed al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), e dalla documentazione del catalogo IFFI, si evince che nei rilievi collinari circostanti la piana sono presenti solo locali, circoscritti e limitati fenomeni di dissesto in aree, peraltro, non di competenza progettuale. Nessuna criticità geomorfologica reale o potenziale viene segnalata entro la piana alluvionale e in corrispondenza dell'asse di progetto.

Geologicamente l'asse stradale in progetto ricade interamente entro al Bacino Pliocenico Marino ed interessa i depositi alluvionali terrazzati Quaternari (Olocene) dell'Elsa, potenti 16 – 20 m, a composizione limoso argillosa con intercalazioni sabbioso limose. Al di sotto il substrato, costituito dalla Formazione delle Argille Azzurre plioceniche. Si tratta di argille consistenti e sovraconsolidate con frammenti conchigliari anche abbondanti, intercalazioni metriche sabbiose o sabbioso limose e rari blocchi litici. Il passaggio fra la coltre alluvionale e substrato argilloso pliocenico è contrassegnato da un orizzonte di ghiaie in matrice sabbioso limosa di spessore variabile fra 50 cm e 4 m.

Dal punto di vista idrogeologico la coltre alluvionale è costituita da materiali a diverso grado di permeabilità (da media a modesta) poggianti su un substrato sostanzialmente impermeabile. È quindi sede di un acquifero che, a scala dell'opera, può essere ritenuto indifferenziato e freatico nel quale trovano sede numerosi pozzi privati ed alcuni pozzi usati a scopo idropotabile.

I riscontri sui piezometri installati durante la campagna geognostica hanno localizzato tale falda fra le profondità di 3 – 6 m da p.c.

Dal punto di vista sismico al tratto di territorio in studio viene attribuita una media sismicità inquadabile, nella Classificazione sismica della Toscana approvata con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, in zona 3.

Secondo le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al Decreto del 17/1/2018, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 18/02/2008, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$ , che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , a sua volta funzione della classe d'uso come da tabella 2.4.II delle N.T. Nel caso in argomento si è considerata una vita nominale "VN", ai sensi del par. 2.4.1 delle sopraccitate NTC, pari a 50 anni. La classe d'uso, ai sensi del par. 2.4.2, è la III. Si ha quindi:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1,5 = 75 \text{ anni}$$

In ottemperanza alle NTC (capitolo 3.2.2) sono state eseguite traverse sismiche, con tecnica MASW, per l'identificazione della categoria di suolo di fondazione. Le prove, condotte in corrispondenza delle opere d'arte principali, hanno portato all'attribuzione di una categoria C.

Per quanto attiene le condizioni topografiche essendo la zona pianeggiante si è assunto il coefficiente T1.

Dal punto di vista geognostico la presente fase progettuale si è avvalsa di una serie di indagini geognostiche specificamente eseguite dalla ditta Geotecnica Lavori di Ponte S. Giovanni (Pg) nel maggio giugno 2010 e dalla ditta GEA di Montelupo

Fiorentino (Fi) nel maggio 2018. La campagna si è articolata attraverso n° 7 sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito (SPT e Lefranc) e prelievo di 45 campioni rimaneggiati e 22 indisturbati su cui si sono eseguite, presso una struttura autorizzata, le usuali prove di caratterizzazione e classificazione geotecnica.

Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto, potetti da pozzetti, per il monitoraggio della falda nel tempo.

Ad integrazione dei sondaggi sono state eseguite n° 7 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) che hanno attraversato la coltre alluvionale raggiungendo condizioni di rifiuto in corrispondenza dell'orizzonte ghiaioso sabbioso limoso inferiore.

Sono altresì disponibili 5 pozzetti esplorativi con prove di carico con piastra che hanno permesso di meglio definire lo spessore del terreno vegetale e valutare il comportamento dei piani di posa dei rilevati stradali.

Nuovi pozzetti esplorativi, come accennato in precedenza, sono stati eseguiti per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre in laboratorio a delle specifiche prove per poter valutare la loro idoneità per la costruzione del rilevato stradale. Dai dati si rileva come i terreni di scavo presentino contenuti di terreni fini (limo+argilla) molto alti che non consentirebbero un loro utilizzo tal quali per la costruzione del rilevato stradale che deve avere caratteristiche tali non solo di esser compattabile ed avere caratteristiche di resistenza alla compressione nel breve termine, ma soprattutto deve essere durabile e non aver cambiamenti di resistenza nel lungo termine soprattutto a causa della variabilità del contenuto in acqua a causa delle piogge.

Vista la caratterizzazione preliminare e definitiva dei terreni di scavo è stato condotto uno specifico Studio per il Trattamento a Calce che ha consentito di stabilire il miglioramento indotto sui terreni a seguito del trattamento con Calce e poter conseguentemente stabilire la loro utilizzabilità con requisiti prestazionali più che sufficienti per il tipo di opera. Lo studio ha anche permesso di stabilire il contenuto percentuale in peso ottimale della Calce per i suddetti terreni (3%).

A seguito delle più recenti modifiche progettuali (novembre 2018) che hanno previsto la realizzazione di una sola cassa di espansione nell'area sud delle Vecchiarelle,

sono state recentemente eseguite n. 7 CPTU ed una penetrometria dinamica (DPSH) al fine di approfondire la condizione litostratigrafica che caratterizza l'area interessata dal progetto della "Cassa Sud - Casino d'Elsa" ed inoltre, nella stessa area, sono ancora in fase di esecuzione le indagini sismiche, e geognostiche comprensive di saggi con escavatore meccanico, prelievo di campioni per le successive analisi chimiche e di laboratorio delle terre.

Nel complesso non sussistono condizioni geologiche o geomorfologiche tali da determinare impedimenti o vincoli nella progettazione dell'opera.

Dal punto di vista idraulico la totalità dell'asse stradale insite su aree a pericolosità media P.2 ed elevata P.3 (riferimento PGRA fiume Arno), ovvero trattasi di aree rispettivamente a pericolosità idraulica media, con probabilità di accadimento  $100 \leq Tr \leq 200$  e a pericolosità elevata con probabilità di accadimento  $Tr \leq 50$ .

Dal punto di vista idrogeologico la presenza di terreni a permeabilità da modesta a media, e di falda a modesta profondità da piano campagna, determina condizioni di elevata vulnerabilità a carico della risorsa idrica sotterranea.

Quanto sopra determina la necessità di realizzare un rilevato idraulicamente trasparente, di provvedere ad una compensazione per le aree sottratte dalle opere entro la piana alluvionale, prevedere un sistema di protezione spondale del rilevato stradale, ed ancora un sistema di vasche di prima pioggia per evitare/ridurre i rischi derivanti da sversamenti accidentali sul terreno.

Si specifica che, le ultime scelte progettuali prevedono che il rilevato stradale costituisca strada-argine nel tratto in località Vecchiarelle, motivo per cui in tale tratto non potrà essere garantita la trasparenza idraulica. Inoltre, a seguito di specifiche indicazioni da parte dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale il progetto dell'opera prevede anche al suo interno la progettazione preliminare delle 2 casse d'espansione (Vecchiarelle Nord e Sud). In seguito alla presentazione del progetto di fattibilità si è aperto un ampio tavolo tecnico con gli Uffici del Genio Civile competente, con l'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale e con i Comuni interessati. Durante il suddetto contraddittorio si è potuto constatare che la

realizzazione della sola "Cassa Sud" (denominata "Casino d'Elsa") è sufficiente a produrre un miglioramento complessivo in termini di rischio idraulico del territorio interessato dalla nuova variante alla S.R.T. 429 III lotto; conseguentemente è stato ritenuto di rimandare a tempi e contesti futuri la realizzazione della cassa Nord.

Lo spessore del terreno vegetale riscontrato in sito è pari mediamente a 50 cm. Pertanto, nella preparazione dei piani di posa dei rilevati ad uno scotico da 20 cm (come da capitolato) dovrà seguire un'ulteriore bonifica (30 cm) per l'asportazione totale del vegetale rimasto. Tali valori dovranno comunque essere verificati in corso d'opera.

I risultati delle prove di carico con piastra mostrano valori di modulo al primo o al secondo ciclo di carico (quindi dopo adeguata rullatura) compatibili con i valori prestazionali previsti in capitolato.

La presenza di falda a modesta profondità e di terreni prevalentemente limoso argillosi consiglia la previsione di un geosintetico con funzione anticapillare e di separazione da porre alla base dei rilevati.

Infine, le caratteristiche dei terreni impongono il ricorso, per i viadotti, a fondazioni su pali trivellati di diametro non inferiore a 1.000 mm.

## 10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA.VV. Piano di bacino del Fiume Arno, approvato con DM 06/05/2005 e pubblicato sulla GU n° 230 del 03/10/2005.

AMBROSETTI P et AL. Evoluzione paleogeografia e tettonica dei bacini toscano – umbro – laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore. Mem. Soc. Geol. It. 19:573 – 581 (1978).

APAT – CNR – COMMISSIONE ITALIANA DI STRATIGRAFIA. Argille Azzurre. Scheda allegata alla carta d'Italia delle formazioni in scala 1:50.000. Falorni P., Petti F, D'Ambrogio C.

BARTOLINI C & PRANZINI G. Plio Quaternary evolution of Arno basin drainage. Z. Geomorph. N.F. Suppl Bd40, 77 – 91 (1981).

BOCCALETTI et AL. Evoluzione dell'Appennino Settentrionale secondo un nuovo modello geostrutturale. Mem. Soc. Geol. It. 21: 359 – 373 (1980).

BORTOLOTTI. L'Appennino Tosco Emiliano. Guide Geologiche Regionali S.G.I. Vol 4, BEMA editrice, 329 pp (1992).

BOSSIO A et AL. Evoluzione tettonico sedimentaria neo-genica lungo una trasversale ai bacini di Volterra e della Val d'Elsa. Studi geol. Camerti, Vol I, Spec. 1:93-104, Camerino 1994.

CHANNEL et AL. Magnetic stratigraphy and biostratigraphy of Pliocene "Argille Azzurre" (Northern Appennines – Italy). Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. 110: 83-102. Amsterdam (1994).

ELTER P. Introduzione allo studio dell'Appennino settentrionale nel quadro del Sistema Alpino. Suppl. 1 ai Quad. Museo Storia Naturale Livorno, 6: 1 – 21 (1984).

MERLA G & BORTOLOTTI V. Foglio 113 "Castelfiorentino" della carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, con relative note illustrative. Nuova Tecnica Grafica – Roma (1967)

PANDELI E. La pianura di Firenze – Prato – Pistoia nel quadro dell'evoluzione geologica dell'Appennino settentrionale. Atti del Convegno : Un piano per la piana: idee e progetti per un parco 2008.

PANDELI E. Sedimentary – tectonic evolution of the Tuscan area (Northern Appennines – Italy) from late Autunian to Carnian. Boll. Soc. Geol. It. Vol. Spec. 1: 251 – 262 (2002).

Regione Toscana, Servizio Geologico Regionale. Coordinatore prof. SANDRELLI F. Carta geologica regionale in scala 1:10.000, e relativa simbologia geologica e geomorfologica. Sezione 286010. Foglio 286.

Regione Toscana, Servizio Geologico Regionale. Coordinatore prof. LAZZAROTTO A. Carta geologica regionale in scala 1:10.000, e relativa simbologia geologica e geomorfologica. Sezione 285040. Foglio 285.

# **ALLEGATO**

## **Coordinate geografiche delle indagini geognostiche**

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**PROVE CPT - Coordinate Piane UTM - WGS84**

<b>ID punto</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>ZONA</b>	<b>EST [m]</b>	<b>NORD [m]</b>	<b>QUOTA [m]</b>
CPT 1	16.2	32 T	659 590	4 828 049	55
CPT 2	18.8	32 T	660 107	4 827 846	52
CPT 3	18	32 T	660 205	4 827 812	51
CPT 4	16.4	32 T	660 606	4 827 616	57
CPT 5	13.4	32 T	661 276	4 827 037	66
CPT 6	18.6	32 T	661 748	4 826 270	64
CPT 7	15.6	32 T	661 076	4 827 554	55

**PROVE CPT - Coordinate Piane Gauss-Boaga**

<b>ID punto</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>EST [m]</b>	<b>NORD [m]</b>	<b>QUOTA [m]</b>
CPT 1	16.2	1 659 618	4 828 063	55
CPT 2	18.8	1 660 135	4 827 860	52
CPT 3	18	1 660 233	4 827 826	51
CPT 4	16.4	1 660 634	4 827 630	57
CPT 5	13.4	1 661 304	4 827 051	66
CPT 6	18.6	1 661 780	4 826 287	64
CPT 7	15.6	1 661 022	4 827 370	55

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**PROVE CPTU e DPSH- Coordinate Piane UTM - WGS84**

ID punto	Profondità [m]	ZONA	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
CPTU 1	12,74	32 T	660 202	4 827 491	53
CPTU 2	11,88	32 T	660 563	4 827 485	54
CPTU 3	11,98	32 T	660 799	4 827 251	56
CPTU 4	12,76	32 T	660 834	4 826 834	56
CPTU 5	11,24	32 T	661 151	4 826 765	59
CPTU 6	10,52	32 T	661 415	4 826 457	57
CPTU 7	5,48	32 T	661 045	4 827 175	56
D	14,00	32 T	661 043	4 827 165	56

**PROVE CPTU e DPSH- Coordinate Piane Gauss-Boaga**

ID punto	Profondità [m]	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
CPTU 1	12,74	1 660 225	4 827 509	53
CPTU 2	11,88	1 660 586	4 827 501	54
CPTU 3	11,98	1 660 831	4 827 276	56
CPTU 4	12,76	1 660 901	4 826 825	56
CPTU 5	11,24	1 661 173	4 826 810	59
CPTU 6	10,52	1 661 444	4 826 482	57
CPTU 7	5,48	1 661 070	4 827 195	56
D	14,00	1 661 067	4 827 182	56

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**SONDAGGI A CAROTAGGIO - Coordinate Piane UTM - WGS84**

<b>ID punto</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>ZONA</b>	<b>EST [m]</b>	<b>NORD [m]</b>	<b>QUOTA [m]</b>
SN 1	40	32 T	660 107	4 827 846	52
SN 2	40	32 T	660 183	4 827 812	51
SN 3	30	32 T	661 001	4 827 370	58
SN 3 bis	32.5	32 T	660 606	4 827 616	57
SN 4	40	32 T	661 579	4 826 575	65
SN 5	40	32 T	661 620	4 826 487	61
SN 6	30	32 T	661 855	4 826 044	62

**SONDAGGI A CAROTAGGIO - Coordinate Piane Gauss-Boaga**

<b>ID punto</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>EST [m]</b>	<b>NORD [m]</b>	<b>QUOTA [m]</b>
SN 1	40	1 660 135	4 827 860	52
SN 2	40	1 660 211	4 827 826	51
SN 3	30	1 661 029	4 827 384	58
SN 3 bis	32.5	1 660 634	4 827 630	57
SN 4	40	1 661 611	4 826 592	65
SN 5	40	1 661 652	4 826 504	61
SN 6	30	1 661 887	4 826 601	62

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**POZZETTI - Coordinate Piane UTM - WGS84**

ID punto	ZONA	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
PZ 1	32 T	659 463	4 828 057	56
PZ 2 (SN 1)	32 T	660 107	4 827 846	52
PZ 3	32 T	660 623	4 827 637	58
PZ 4	32 T	661 319	4 827 024	59
PZ 5	32 T	661 681	4 826 401	60

**POZZETTI - Coordinate Piane Gauss-Boaga**

ID punto	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
PZ 1	1 659 491	4 828 071	56
PZ 2 (SN 1)	1 660 135	4 827 860	51
PZ 3	1 660 651	4 827 651	58
PZ 4	1 661 347	4 827 038	59
PZ 5	1 661 713	4 826 418	60

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**PROVE SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE SH - Coordinate Piane UTM - WGS84**

ID punto	ZONA	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
Ps1_g1	32 T	660 022	4 827 901	52
Ps1_g24	32 T	660 081	4 827 865	52
Ps2_g1	32 T	661 601	4 826 514	57
Ps2_g24	32 T	661 639	4 826 456	57

**PROVE SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE SH - Coordinate Piane Gauss-Boaga**

ID punto	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
Ps1_g1	1 660 050	4 827 915	52
Ps1_g24	1 660 109	4 827 879	52
Ps2_g1	1 661 633	4 827 882	57
Ps2_g24	1 661 671	4 826 473	57

VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA

---

**POZZETTI PER TRATTAMENTO A CALCE - Coordinate Piane UTM - WGS84**

ID punto	ZONA	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
B1	32 T	661 619	4 826 557	56
B2	32 T	661 716	4 826 467	57
D1	32 T	661 433	4 827 010	56
F1	32 T	660 309	4 827 855	53
F1-1	32 T	660 648	4 827 794	54
G1	32 T	660 330	4 828 092	53
H1	32 T	660 302	4 828 273	51
C1V2	32 T	660 553	4 827 641	53
C2V2	32 T	660 802	4 827 512	55
C3V2	32 T	660 985	4 827 400	54

**POZZETTI PER TRATTAMENTO A CALCE - Coordinate Piane Gauss-Boaga**

ID punto	EST [m]	NORD [m]	QUOTA [m]
B1	1661568.23	4826374.76	56
B2	1661665.48	4826284.64	57
D1	1661380.48	4826825.65	56
F1	1660256.47	4827670.66	53
F1-1	1660595.47	4827609.66	54
G1	1660277.47	4827907.67	53
H1	1660249.47	4828088.67	51
C1V2	1660499.77	4827457.14	53
C2V2	1660749.31	4827327.97	55
C3V2	1660932.31	4827215.42	54