

S.S. 398 "Via Val di Cornia"
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12
e il Porto di Piombino
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI2**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Luca Nani
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A2445

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.:

Dott. Ing.
Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri
Dott. Arch. N. Kamenicky
Dott. Ing. V. Truffini
Dott. Arch. A. Bracchini
Dott. Ing. F. Durastanti
Dott. Geol. G. Cerquiglini
Geom. S. Scopetta
Dott. Ing. L. Sbrenna
Dott. Ing. E. Sellari
Dott. Ing. E. Bartolucci
Dott. Ing. L. Dinelli
Dott. Ing. L. Nani
Dott. Ing. F. Pambianco
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carliaccini
Dott. Ing. S. Sacconi
Dott. Ing. G. Cordua
Dott. Ing. V. De Gori
Dott. Ing. C. Consorti
Dott. Ing. F. Dominici

Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Ing. F. Macchioni
Geom. C. Vischini
Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. G. Pulli
Geom. C. Sugaroni



GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE

Relazione geologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-GE00-GE0-RE01		
DPFI12	E	1801	CODICE ELAB. T00GE00GEORE01	A	-
A	Emissione		29/03/2019	A. Lisetti	G. Cerquiglini
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	INQUADRAMENTO GENERALE	5
4	RICERCA BIBLIOGRAFICA E DATI DI BASE.....	8
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	13
	5.1.1 Problematiche legate alla subsidenza.....	14
	5.1.2 La bonifica della valle del Cornia	19
	5.1.3 Reticolo idrografico	22
5.2	PRINCIPALI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI.....	22
	5.2.1 Forme naturali.....	23
	5.2.2 Forme legate all'idrografia e alla dinamica fluviale	23
	5.2.3 Forme antropiche.....	23
5.3	COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO.....	25
	5.3.1 Pericolosità geomorfologica.....	25
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	29
	6.1 ASSETTO TETTONICO-STRUTTURALE REGIONALE.....	29
7	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO.....	32
8	SCHEMA IDROGEOLOGICO.....	34
	8.1 IDROGEOLOGIA DI VASTA AREA.....	34
	8.2 PIEZOMETRIA.....	34
	8.3 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO.....	36
9	SISMICITA'.....	39
	9.1 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	39
	9.2 SISMICITÀ STORICA.....	41
	9.3 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	42
	9.4 VELOCITÀ SISMICA EQUIVALENTE $V_{s,EQ}$ E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018.....	50

10	INDAGINI GEOGNOSTICHE	54
10.1	INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	55
10.2	CAMPAGNA DI INDAGINE PROGETTO PRELIMINARE 2007 (SPEA).....	56
10.3	CAMPAGNA DI INDAGINE 2010-2012 (SPEA).....	57
10.4	CAMPAGNA DI INDAGINE 2017- DIMMS.....	58

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio geologico dell'area interessata dal progetto esecutivo della S.S.398 "Via Val di Cornia", bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino, in corrispondenza del Lotto 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno.

Lo studio comprende la caratterizzazione geologica, geomorfologica e idrogeologica della porzione di territorio interessata dal tracciato di progetto, ottenuta attraverso la ricerca bibliografica di dati pregressi e l'analisi multitemporale di ortofoto e immagini satellitari. In particolar modo lo studio si basa sui risultati di tutte le campagne geognostiche succedutesi a partire dagli anni '80 ad oggi, per le quali è stata affrontata una dettagliata analisi e rivalutazione dei termini litologici.

L'intera area di studio è stata descritta per ambiti omogenei dal punto di vista geologico e geomorfologico, con l'identificazione degli aspetti salienti in relazione alle interferenze con l'infrastruttura progettata.

Nell'ambito dello studio sono state appositamente realizzate le seguenti cartografie:

- T00_GEO00_GEO_PU01-02-03 - Mappa ubicazione indagini in scala 1:2000
- T00_GEO00_GEO_CG-01-02-03 - Mappa geologica in scala 1:2000
- T00_GEO00_GEO_CG04-05-06 - Mappa geomorfologica in scala 1:2000
- T00_GEO00_GEO_CI01-02-03 - Mappa idrogeologica in scala 1:2000
- T00_GEO00_GEO_FG01 - Profilo geologico longitudinale in scala H/V 1:2000/1:200
- T00_GEO00_GEO_PF01 - Planoprofilo geologico – Cavalcavia SP40 in scala H/V 1:1000
- T00_GEO00_GEO_PF02 - Planoprofilo geologico – Viadotto Cornia 1 in scala H/V 1:1000
- T00_GEO00_GEO_PF03 - Planoprofilo geologico – Viadotto Cornia 2 in scala H/V 1:1000
- T00_GEO00_GEO_SG01-02 – Sezioni geologiche trasversali in scala H/V 1:500

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'esecuzione delle indagini e la stesura della relazione con i rispettivi allegati tecnici, sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare è stato fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

- D.M. 17/01/2018 - "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»".
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D. Lgs. n.163 del 12 aprile 2006: "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".
- D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n.109 e successive modificazioni".
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. Variante adottata con deliberazione del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 25.02.2010;
- 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 (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;
- Eurocodice 8 (1998).
- Studio Geologico allegato al Piano Strutturale d'Area della Val di Cornia-Comuni di Campiglia M.ma, Piombino, Suvereto e suoi allegati. Marzo 2006.

Sono inoltre stati forniti dal cliente tutti i risultati delle campagne di indagine geognostica disponibili ad oggi.

3 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area oggetto di studio si situa sul litorale toscano e precisamente, nel Comune di Piombino in Provincia di Livorno,.

L'intervento in progetto prevede il prolungamento della statale esistente S.S. 398 "Via Val di Cornia" dall'intersezione con Via Geodetica fino al collegamento con Via dell'Unità d'Italia mediante l'adozione di una infrastruttura di tipologia B "strada Extraurbana principale" che si sviluppa per circa 3 km in direzione del Porto di Piombino (Figura 1). Il manufatto prevede una piattaforma pavimentata di larghezza minima pari a 22 metri a due carreggiate con due corsie di marcia ciascuna.



Figura 1- Ubicazione dell' area di intervento.

RELAZIONE GEOLOGICA

La zona, dal punto di vista morfologico, è caratterizzata da una superficie topografica prettamente pianeggiante con quote topografiche comprese tra il livello del mare e i 5 metri s.l.m., e dalla presenza di canali in parte navigabili che si sviluppano sia parallelamente (fosso Vecchia Cornia, fosso Corniaccia e Fosso Allacciante) che trasversalmente all'asse stradale (Fosso Montegemoli).

Ad Est del tracciato è presente un'attività industriale costituita dall'acciaieria ex Lucchini, Sito di Interesse Nazionale (SIN) istituito con la L. 426/98, perimetrato con il D.M. Ambiente 10 Gennaio 2000 e successivamente con il D.M. Ambiente e Tutela del Territorio 7 Aprile 2006 mediante l'individuazione delle aree da sottoporre a interventi di caratterizzazione e, in caso di inquinamento, ad attività di messa in sicurezza, bonifica, ripristino ambientale e monitoraggio. Inoltre, nella porzione più settentrionale dell'area ex Lucchini, in prossimità della nuova sede stradale, è attiva una discarica di rifiuti urbani.

Si segnala infine l'incrocio del tracciato stradale con la linea ferroviaria afferente allo stabilimento ex Lucchini.

L'opera in progetto nei primi 500 m si svilupperà a raso lungo la superficie topografica posta grossomodo alla quota di 3m s.l.m. fino alla progressiva 0+530 in cui è prevista un'intersezione a livelli sfalsati con la strada attuale S.P. 40 che comporta la realizzazione di quattro rampe di svincolo dirette, la realizzazione di un cavalcavia di 200 metri circa di lunghezza e due nuove rotatorie. Il sistema di fossi, in particolare quello del Vecchia Cornia, verrà deviato mediante nuovi percorsi e tombature scatolari per il sottopassaggio dell'asse viario e degli svincoli in progetto, per poi immettersi nel reticolo idrografico esistente al km. 1+150.

Il tracciato dell'asse principale, superata la zona di svincolo, si colloca nell'unico corridoio possibile tra il sedime industriale della ex Lucchini da un lato e il canale Vecchia Cornia dall'altro. Nel tratto di approccio al Viadotto Cornia 1 è stata prevista un'opera scatolare in cemento armato tale da minimizzare l'ingombro della sede stradale e garantire una distanza minima di 3.20 m dal binario ferroviario e una fascia libera tra il rilevato e il canale esistente, per inserire la pista di manutenzione lungo tutto il corridoio.

A partire dalla prg. 1+450 circa, la nuova infrastruttura si attesta in un tratto in viadotto tale da permettere, alla prg. 1+700 circa, lo scavalco del ramo ferroviario che dalla zona industriale della ex Lucchini si dirige verso Piombino: l'opera presenta una lunghezza totale di circa 471 m e un franco altimetrico al di sopra del binario ferroviario di 7.00 m.

Superato il tratto in viadotto, l'infrastruttura si colloca in rilevato correndo parallela al canale navigabile in direzione del Porto di Piombino. Nel tratto finale l'intervento di progetto prevede un attraversamento del canale, attraverso un viadotto (Viadotto Cornia 2) della stessa tipologia del precedente, ma di lunghezza 70 m da prg. 3+014.79 a prg. 3+083.54, garantendo un franco altimetrico di 4.65 m sul pelo libero dell'acqua.

La fine dell'intervento è prevista in corrispondenza dell'innesto sulla rotatoria in fase realizzativa, facente parte del piano di riqualificazione dell'area di competenza dell'Autorità Portuale.

4 RICERCA BIBLIOGRAFICA E DATI DI BASE

Lo studio è stato sviluppato a partire dalla acquisizione dei documenti di progetto e delle basi dati disponibili. Innanzitutto è stata elaborata la documentazione e gli allegati relativi ai progetti antecedenti forniti da ANAS:

- Studio Geologico allegato al Piano Strutturale dell'area della Val di Cornia, redatto dai Geol. Spinacci, Frullini, Sinatti – Marzo 2006.
- Progetto preliminare di ripristino ambientale e risagomatura sponde del Fosso Vecchia Cornia a seguito dell'evento del 15/03/2004, redatto dal Geol. Luca Mazzei;
- Bonifica area AFERPI e Analisi del Rischio Sanitario ed Ambientale sito-specifica redatta dallo Studio Sanitas – Maggio 2016-.
- Relazione geologica "S.S. 398 "Via Val di Cornia" Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino Lotto 1 – Svincolo di Geodetica – Gagno (ex Autostrada A12 Rosignano Marittimo – Civitavecchia Lotto 7 - Bretella Piombino - Tratto 1) – ANAS, Febbraio 2017.
- Relazione gestione materie, per il progetto definitivo del Lotto 1 - Svincolo Geodetica-Gagno – ANAS, Febbraio 2017

In aggiunta, sono stati esaminati i risultati delle campagne di indagine geognostica che hanno interessato il sito di progetto a partire dal 1980 e gli elaborati grafici prodotti nelle precedenti fasi (mappe geologiche, idrogeologiche e relative sezioni). Inoltre sono stati acquisiti una nuova serie di dati cartografici e satellitari che consistono in:

- Cartografia storica del Catasto Leopoldino datato 1765 disponibile on line presso i server della Regione Toscana (Progetto Castore). Tale cartografia ha permesso di individuare i settori storicamente occupati dall'area paludosa di Piombino, oggi bonificati mediante riporti di origine antropica.

RELAZIONE GEOLOGICA

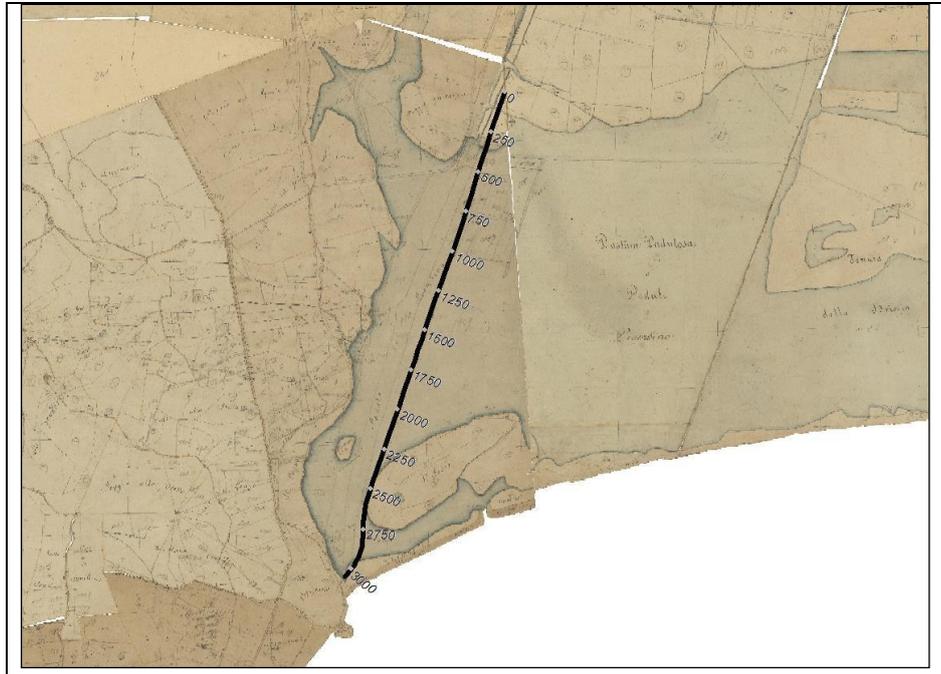


Figura 2-Estratto della cartografia storica Leopoldina dell'anno 1765.

- Immagini satellitari Landsat e ortofoto reperite dal catalogo del Geoportale Nazionale e dal USGS, utilizzate per la ricostruzione storica dell'uso del suolo tra il 1978 e il 2016 con risoluzione indicativa tra i 15 e i 5 m/pixel. Si segnala come molte di queste foto presentano aree classificate (potenziali obiettivi militari e quindi mascherate) in corrispondenza dell'acciaiera (anni 1978-1998).
- Modelli digitali del terreno (DTM e DSM) del progetto Lidar acquisiti dal Geoportale Nazionale riferiti al Luglio del 2014 (Figura 3). Le risoluzioni sono comprese tra 1m/pixel e 2m/pixel e hanno permesso il riconoscimento di dettaglio di elementi morfologici. Il profilo topografico rappresentato nelle sezioni geologiche deriva da tali modelli; inoltre le quote dei sondaggi eseguiti nel corso delle varie campagne geognostiche sono state aggiornate in base a questi dati.

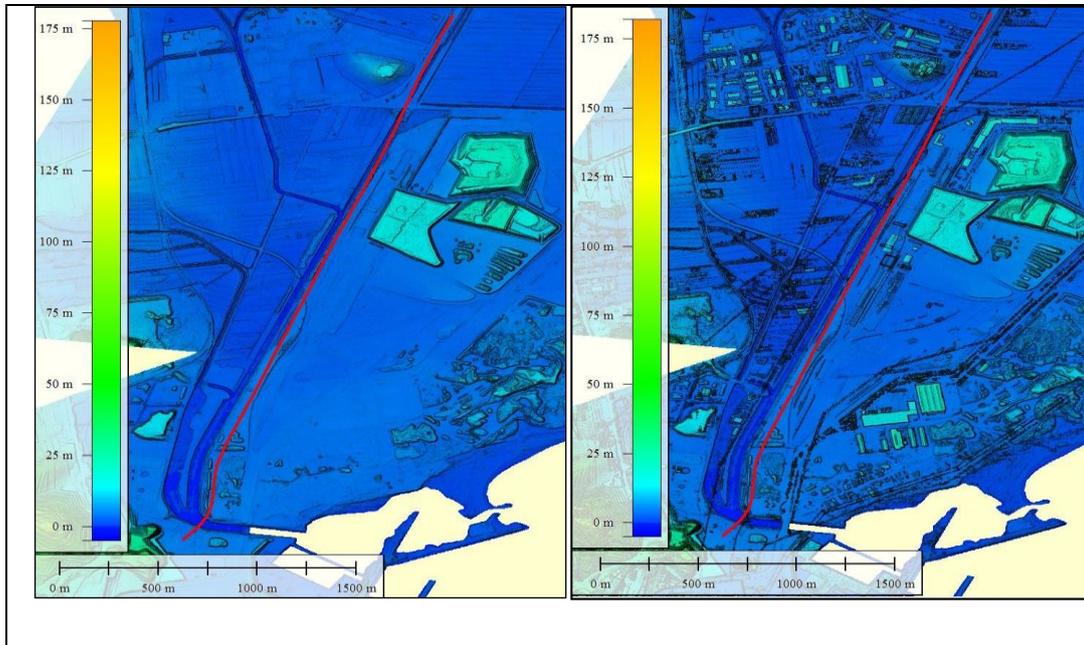


Figura 3- Modello Digitale del Terreno a sinistra e Modello Digitale di Superficie a destra

- Topografia della regione Toscana in scala 1:2000 in formato Autocad DXF rilasciata nel 2014 e utilizzata come base cartografica rappresentata in tutte le planimetrie allegate.

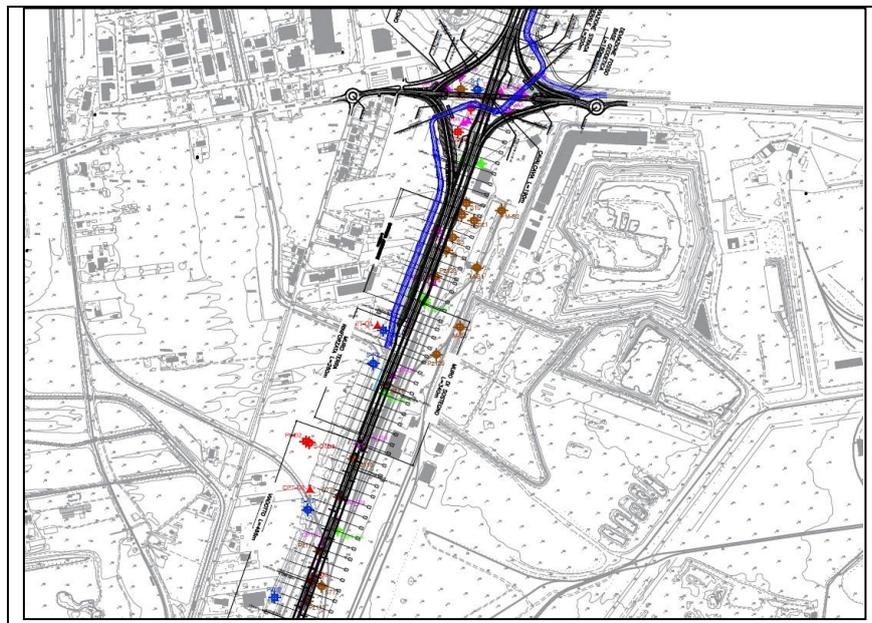


Figura 4-Topografia della Regione Toscana in scala 1:2000 utilizzata come base planimetrica per le cartografie prodotte.

RELAZIONE GEOLOGICA

- Cronologie di deformazione di oltre 12500 Permanent Scatterers distribuiti su un'area di 16 km² all'intorno del progetto, ottenuti da analisi interferometrica radar satellitare. I dati sono stati resi disponibili dal Ministero dell'Ambiente e del Territorio tramite il Geoportale Nazionale e riguardano i seguenti sensori:
 - ERS con orbita discendente (comprende 1500 dati registrati tra gli anni 1992 e 2000);
 - ENVISAT con orbita ascendente e discendente (comprende 11000 dati registrati tra gli anni 2003 e 2010).

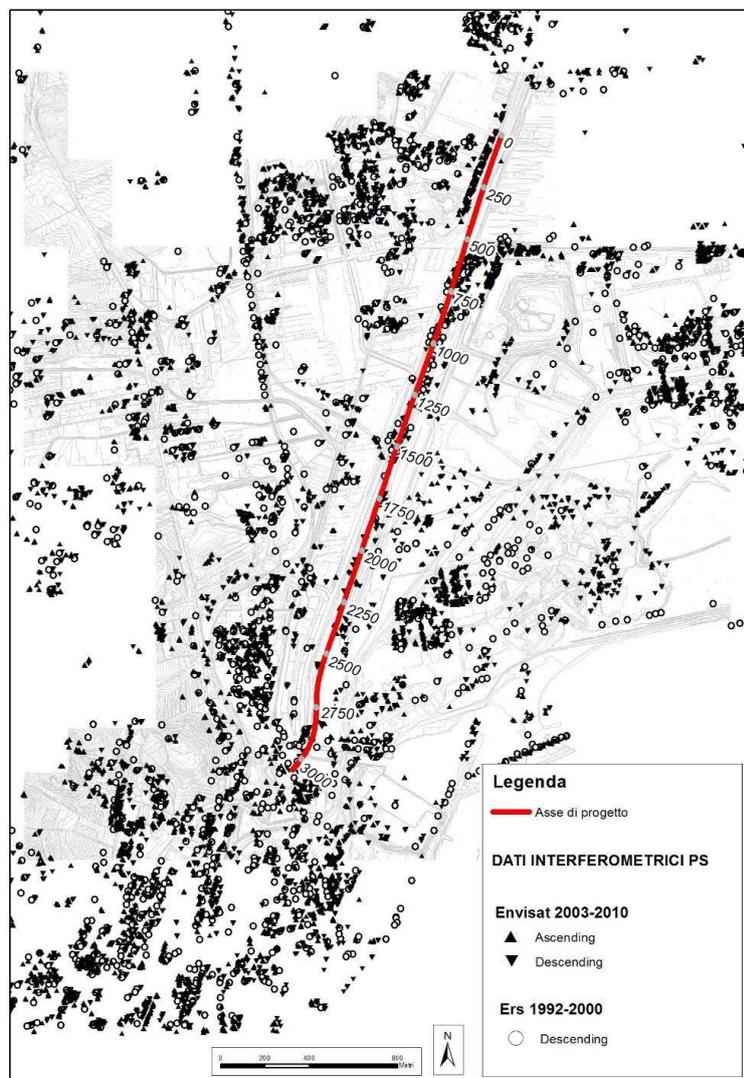


Figura 5- Distribuzione dei Permanent Scatterers reperiti dal Ministero dell'Ambiente e del Territorio.

Tutti i dati precedentemente descritti sono stati acquisiti e gestiti all'interno di un sistema cartografico con coordinate nel sistema Gauss Boaga – Monte Mario, tuttavia utilizzando il progetto un sistema di coordinate di tipo rettilineo locale, si è dovuto procedere alla loro trasformazione geometrica.

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

La morfologia della linea costiera della regione toscana è stata influenzata da fenomeni evolutivi anche invasivi e dettati da fattori legati alle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni geologiche affioranti, alla intensità dell'attività tettonica dell'area unita all'azione repentina dei processi esogeni.

L'assetto geomorfologico dell'area evidenzia forme predominanti di paesaggio, riconducibili a differenti processi evolutivi e alle diverse caratteristiche litologiche dei terreni che costituiscono il substrato (Circondario di Val Cornia, 2006).

L'area in oggetto si caratterizza per la presenza di due unità fisiografiche:

- 1) **Pianura Alluvionale del Fiume Cornia** (dove al suo interno si sono sviluppate forme legate all'attività antropica) con il suo reticolo idrografico. In queste zone prevalgono i sedimenti alluvionali fini, argillosi, scarsamente compattati, che in prossimità della linea di costa costituiscono ampie fasce palustri e lacuali. La bonifica dell'area ha parzialmente obliterato l'assetto originario dello stato dei luoghi, che è possibile ricostruire attraverso analisi geomorfologiche ed agronomiche di dettaglio, i dati geognostici e geofisici del sottosuolo.
- 2) **Fascia Costiera**, comprende tratti di costa bassa del Golfo di Follonica, (dall'attuale foce del Fiume Cornia, sino alla Chiusa di Ponte d'Oro), tratti di costa alta del Promontorio di Piombino, particolarmente evidenti nella zona di Poggio Batteria, Punta Semaforo, più un tratto intermedio rappresentato dal porto industriale-commerciale turistico, della Città di Piombino.

La fascia costiera è caratterizzata da morfologie variabili in stretta dipendenza della natura dei terreni affioranti dove si distinguono coste alte con presenza di falesie e versanti ad elevata pendenza, esposti all'azione del mare e del vento e affioramento di materiali prevalentemente litoidi. Le coste basse, invece, risultano interessate sia da processi di erosione (con tassi di arretramento registrati raggiungono il valore di 1.2 cm/anno nei settori di mare prossimi al porto di Piombino) sia da fenomeni legati all'azione eolica con ripercussioni su sistema di dune associato: attualmente la zona delle dune risulta assai contenuta, limitata dall'azione antropica.

Si rileva nel tratto compreso fra la foce del Fiume Cornia e il settore della Chiusa di ponte d'Oro la presenza di un tratto di costa bassa costituito da una fascia di dune costiere con quote altimetriche variabili che generalmente si mantengono al di sotto dei 2 metri s.l.m. e si estendono per una larghezza di circa 30 metri.

RELAZIONE GEOLOGICA

L'arenile attuale è di dimensioni contenute, interessato da intensi fenomeni erosivi e caratterizzato da depositi di spiaggia attuale (sabbie grossolane) di spessore modesto che ricoprono, in discordanza, i terreni di natura limoso argillosa appartenenti ai depositi palustri e lacustri e delle colmate costiere di bonifica.

La pianura alluvionale del fiume Cornia si caratterizza per un andamento tipicamente pianeggiante e presenza di terreni a granulometria fine costituite da terreni alluvionali e/o di colmata alternate a zone palustri con vegetazione e sub-zone umide e/o idromorfe con quote altimetriche comprese entro 1/2 m slm; queste zone vengono utilizzati, data la fertilità dei suoli, a uso agricolo.

All'interno della pianura alluvionale sono state realizzate delle zone industriali urbanizzate in parte edificate, all'interno delle quali nel tempo sono stati accumulati materiali di riporto di varia natura, in gran parte costituiti da scarti delle lavorazioni siderurgiche. Questi terreni sono generalmente impostati sui terreni alluvionali e/o di colmata della pianura del Cornia e presentano un andamento irregolare, con rilievi (accumuli) talvolta di spessore consistente alternati a zone più depresse.

Il Reticolo Idrografico Superficiale costituito da numerosi fossi e canali artificiali per la bonifica dell'area (Fosso Cosimo, Fosso Tombolo, Fosso Cornia Vecchia), legati alle varie fasi della Bonifica, dove l'asta principale di deflusso è rappresentata dal Fiume Cornia, che presenta un alveo con arginatura artificiale.

5.1.1 Problematiche legate alla subsidenza

I fenomeni di subsidenza sono noti storicamente in tutta la Piana del Cornia. A partire dal 1891 sono state realizzate misurazioni da parte dell'IGM, misure che hanno avuto carattere di sistematicità nel periodo compreso fra il 1950 ed il 1987.

Le variazioni altimetriche imputabili alla subsidenza hanno evidenziato una notevole accelerazione nel periodo successivo al 1950, in particolare si sono registrate deformazioni da 2 a 6 volte più consistenti rispetto al periodo precedente, con gradienti anche molto significativi.

La distribuzione della velocità degli abbassamenti (mm/anno) ottenuta dalle misure di livellazione è tale per cui da valori di zero, in prossimità degli affioramenti collinari, si arriva fino a 8 mm/anno a Vignarca e 11 mm/anno a Campo all'Olmo, vale a dire alcuni km all'interno della Piana di Piombino, (circa 2-3 km più a W dal tracciato di progetto).

E' ampiamente documentato (v. bibliografia riportata nel Piano Strutturale d'Area, Circondario Val di Cornia) che la subsidenza è imputabile in massima parte alle attività antropiche (bonifica idraulica, emungimento della falda e conseguente regime piezometrico, consolidazione dei depositi di colmata) e solo subordinatamente a cause naturali (eustatismo). Significative inversioni di tendenza si sono comunque registrate negli ultimi anni a seguito di

una migliore gestione della risorsa idrica sotterranea, combinata all'entrata in funzione di nuovi sistemi acquedottistici distribuiti sul territorio. La necessità di effettuare emungimenti di acqua dal sottosuolo debbono essere valutati attentamente a condizione di mantenere inalterati i volumi totali emunti e non determinare un disequilibrio del bilancio idrogeologico della zona, estendendo le valutazioni idrogeologiche anche ai campi pozzi che servono le attività industriali insediate.

Al fine di valutare la distribuzione della subsidenza in prossimità dell'opera sono stati acquisiti presso il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e del Territorio i dati relativi a analisi interferometriche di immagini radar satellitari secondo la tecnica dei Permanent Scatterers.

La Tecnica PS (Permanent Scatterers Technique - PSInSARTM) è stata sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano e concessa in licenza esclusiva a TRE, spin-off commerciale del Politecnico. Si tratta di uno strumento molto efficace per il monitoraggio ad alta precisione di fenomeni di deformazione della superficie terrestre, basato sull'impiego di serie temporali d'immagini radar satellitari.

I Permanent Scatterers corrispondono tipicamente a parti di edifici, antenne, manufatti artificiali o rocce esposte, e per ciascuno di essi è stato possibile misurare, nell'intero arco temporale di osservazione, gli spostamenti relativi rispetto ad un punto di riferimento considerato stabile.

E' necessario tener conto del fatto che le tecniche interferometriche consentono di misurare la componente della deformazione relativa alla direzione che congiunge il sensore con il bersaglio a terra, ovvero la linea di vista del satellite (LOS). Le misure di spostamento fornite dai dati PS sono perciò una componente di deformazione del vettore reale dello spostamento. Quanto più la direzione del vettore di deformazione reale si discosta dalla linea di vista, tanto minore è la componente di deformazione rilevata dal satellite e, al limite, nel caso di deformazione che si sviluppa con direzione perpendicolare alla LOS (spostamenti in direzione N-S), il valore misurato risulta nullo.

La sovrapposizione contemporanea degli spostamenti misurati per lo stesso punto da orbite ascendenti e discendenti (23° di inclinazione ciascuna) per mette di determinare la reale componente del moto in direzione verticale.

I dati considerati, come indicato nel capitolo 4, hanno riguardato un totale di oltre 11500 punti distribuiti su un area di 16kmq.

Attraverso l'applicativo ADB Toolbox fornito dal Ministero dell'Ambiente è possibile osservare l'evoluzione temporale delle deformazioni di ogni PS. In vengono mostrate le serie temporali di due PS particolarmente interessanti, localizzati intorno alla progressiva km 1+500 ove sono state registrate le maggiori subsidenze, che evidenziano un trend costante di abbassamento

(allontanamento rispetto alla linea di vista del satellite) con valori compresi tra 70-90 mm in 7 anni.

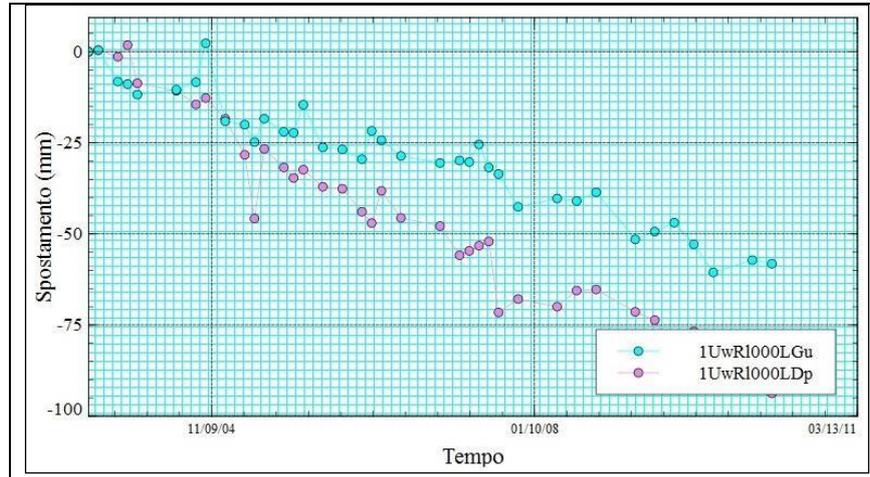


Figura 6- Spostamenti riferiti a due PS localizzati intorno al km. 1+500 (ENVISAT ascending) con trend di allontanamento rispetto alla distanza di misura del laser.

I valori di velocità media dei PS sono stati processati geostatisticamente attraverso il modulo Geostatistical Analyst del software ArcGIS utilizzando l'interpolazione per Inverse Distance Weighting (IDW) al fine di definire la distribuzione areale delle deformazioni. I risultati vengono illustrati in Figura 7 e Figura 8 che rappresentano rispettivamente le velocità di spostamento medie in mm/anno degli intervalli degli anni 1992-2000 (Dati satellite ERS) e tra il 2003-2010 (dati satellite ENVISAT).

E' possibile osservare come in entrambe le interpolazioni venga individuata una zona principale con abbassamenti compresa tra le progressive di progetto 1+500 e 1+900 in cui massimo di subsidenza apparente raggiunge i -16 mm/anno, che in valore assoluto potrebbero superare i 20 mm/anno. Si nota anche nei soli dati ERS (1993-2000), intorno alla progressiva 0+600, un settore in sollevamento con massimo di 12 mm/anno, che negli anni successivi pare stabilizzato. Nella Carta Geomorfologica è stato deciso di rappresentare le sole aree soggette a subsidenza calcolate dai dati ENVISAT per il periodo 2003- 2010 insieme ai singoli PS classificati in base all'orbita di acquisizione (ascendente o discendente) e alla velocità apparente di movimento.

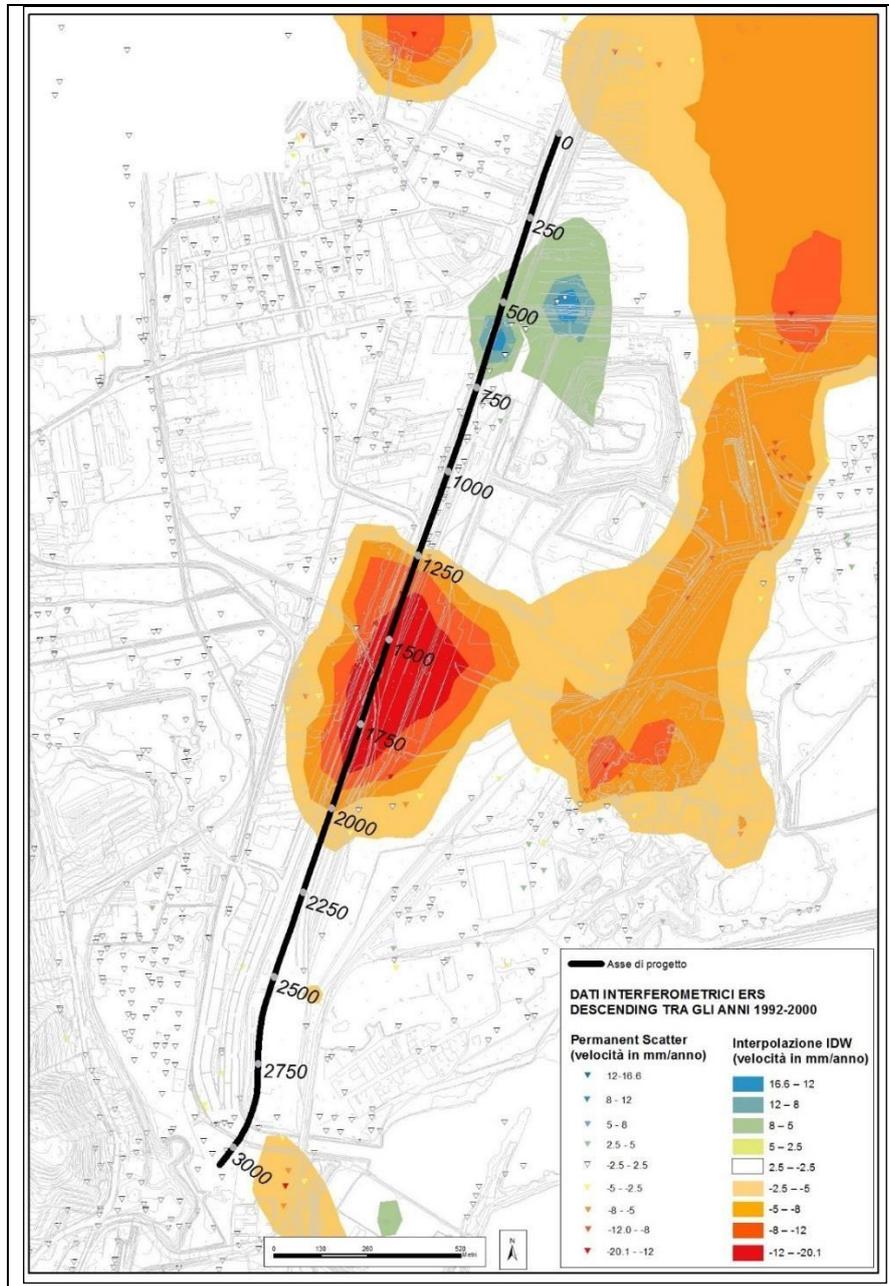


Figura 7-Interpolazione Inverse Distance Weighting dei Permanent Scatter misurati dal sensore ERS Descending tra gli anni 1992-2000.

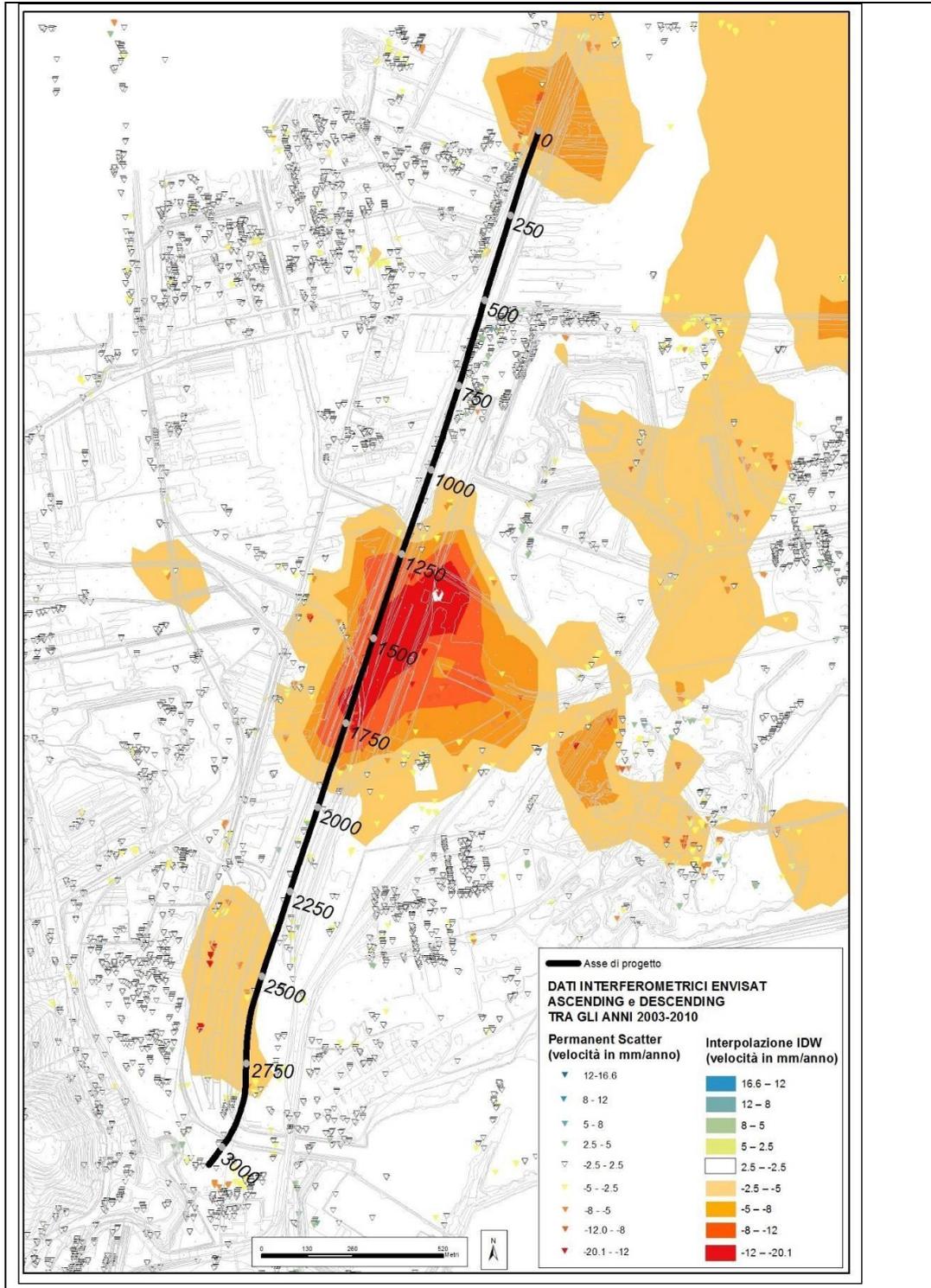


Figura 8-Interpolazione Inverse Distance Weighting dei Permanent Scatterer misurati dal sensore ENVISAT Ascending Descending tra gli anni 2003-2010.

5.1.2 La bonifica della valle del Cornia

La valle fluviale del Cornia è stata bonificata in più fasi nel corso del XIX secolo. In particolare, quasi tutta la fascia litorale compresa tra Piombino e Follonica è il risultato della colmata della "Padule di Piombino", avvenuta per fasi successive a partire dal 1832.

La situazione originaria della zona è stata desunta dal catalogo Castore in cui le mappe storiche del 1700 evidenziano come la totalità dell'area ricadeva appunto in un'antica palude che si spingeva fino a 2 km all'interno dell'attuale linea di costa (Figura 9); l'asse viario in progetto, ad eccezione dei primi 300 metri, e l'area Lucchini vi ricadono interamente. I limiti della carta sono stati impiegati per la perimetrazione dei depositi di colmata rappresentati nella Carta Geologica mediante barrato di colore blu.

A partire dalla seconda metà del 1800 il corso terminale del Cornia è stato progressivamente incanalato e successivamente deviato per facilitare il completamento delle opere di bonifica. Oggi sono ancora presenti sia aree umide, sia aree in cui la regimazione idraulica è affidata a sistemi di sollevamento meccanico, entrambe poste a quote prossime al livello medio marino.

In tutta questa zona prevalgono sedimenti alluvionali ricoperti superficialmente da sedimenti di colmata, caratterizzati da materiali con granulometrie che vanno dalle sabbie (da mediamente a poco addensate), ai limi, alle argille con elevata percentuale di sostanze organiche (altamente compressibili).

RELAZIONE GEOLOGICA

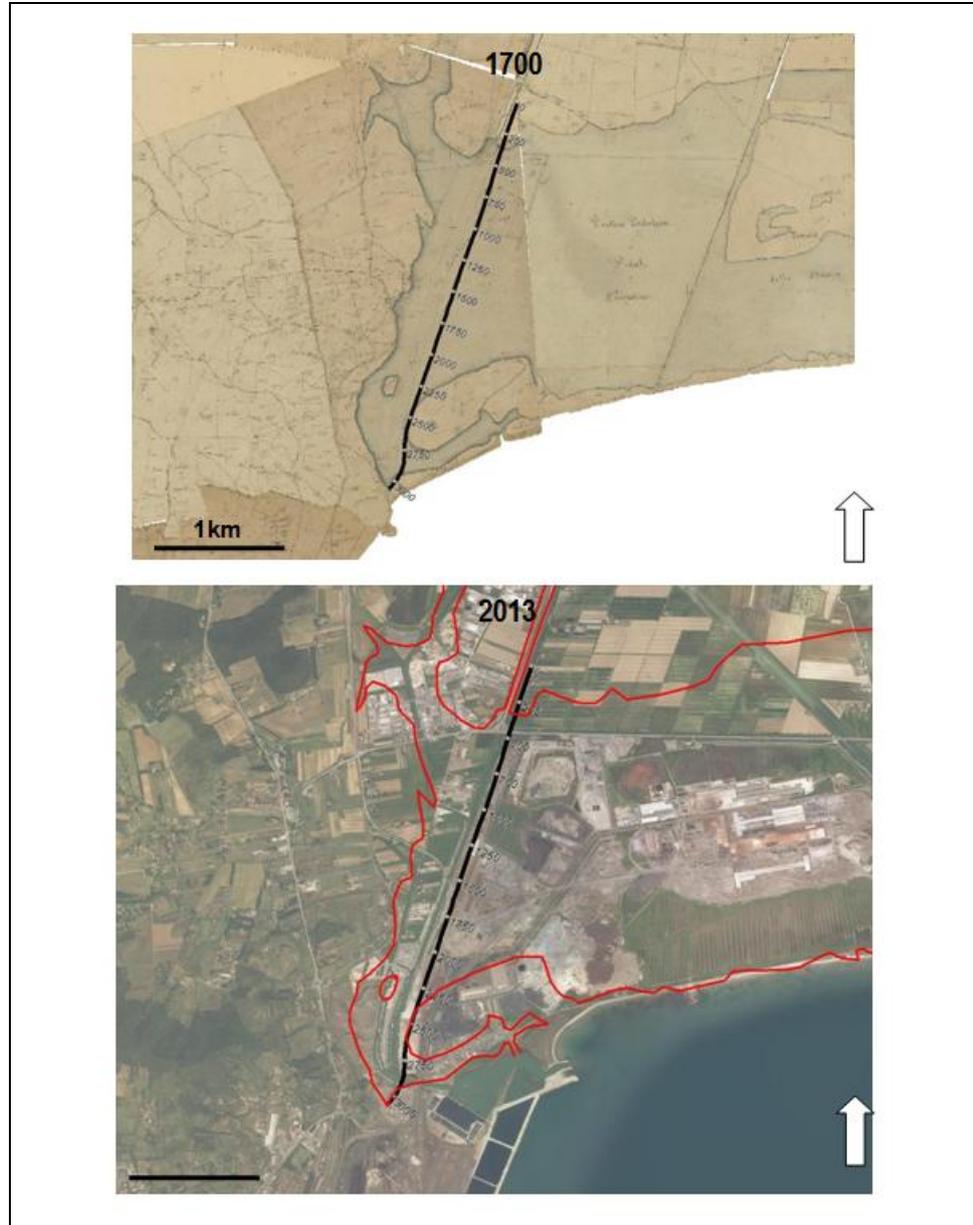


Figura 9- Confronto della Pianura del Cornia nel 1700 (sopra - Catalogo Castore) con la situazione attuale (sotto - ortofoto Digital Globe). Con la linea nera si rappresenta il tracciato in progetto.

RELAZIONE GEOLOGICA

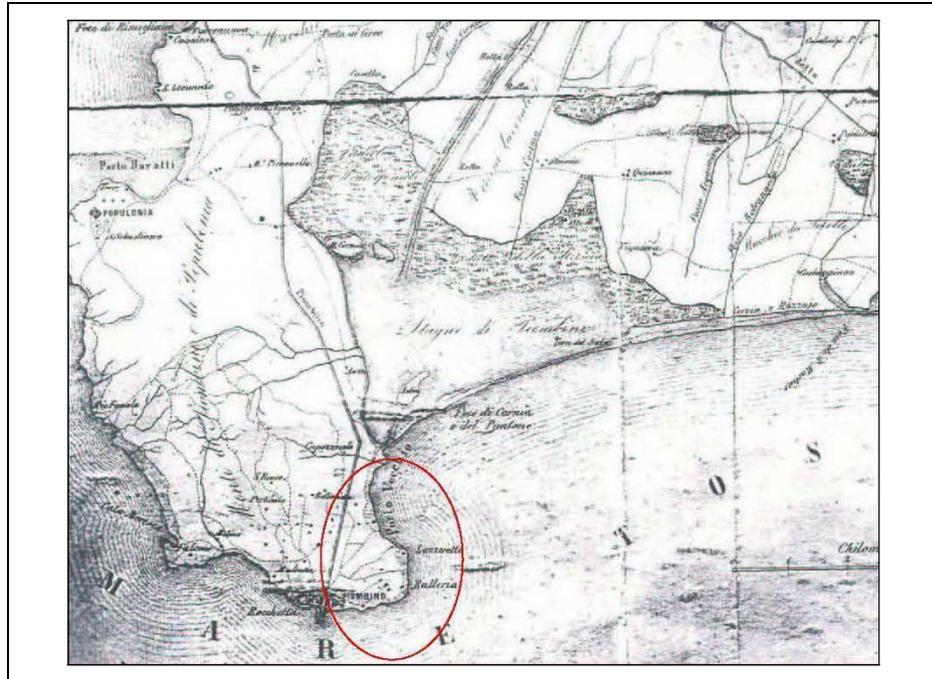


Figura 10-Pianura del Cornia nel 1830, precedente la bonifica (estratto da Circondario Val di Cornia, 2006). In rosso è evidenziata l'area di interesse progettuale.

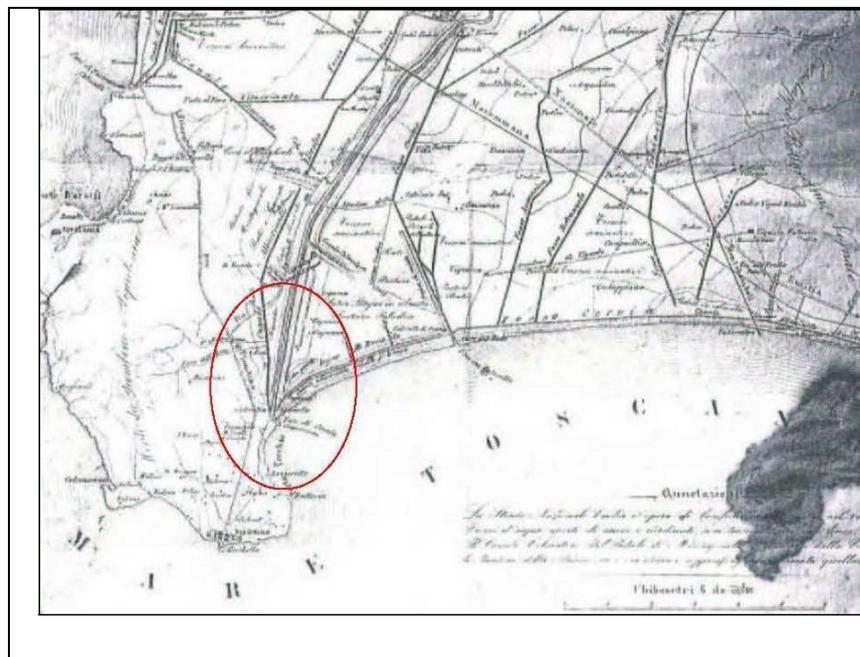


Figura 11-Pianura del Cornia nel 1864, a bonifica ultimata (estratto da Circondario Val di Cornia, 2006). In rosso è evidenziata l'area di interesse progettuale.

5.1.3 Reticolo idrografico

L'assetto del sistema idrografico locale appare di fondamentale importanza per la caratterizzazione geomorfologica del territorio, in quanto condiziona la presenza degli altri processi evolutivi, sia antropici, che naturali (v. l'evoluzione dei dissesti gravitativi).

La zona di studio si inserisce interamente all'interno del bacino idrografico del Fiume Cornia, esteso in tutta la piana tra Piombino e Follonica. L'area di interesse progettuale abbraccia la parte terminale di detto bacino, laddove il Cornia è canalizzato nei due rami principali denominati "Cornia Vecchia" (a ridosso del tracciato di progetto), e "Cornia s.s.", che sfocia nel Tirreno un chilometro circa più a Est dell'area di studio. Entrambi i canali sono artificiali per oltre 3 km a partire dalla foce, e scorrono all'interno dell'area di colmata che, prima delle bonifiche operate nel secolo XIX, rappresentava la Padule di Piombino ed era interamente coperta da acque lagunari e acquitrinose a profondità ridotta.

L'unico affluente di rilievo presente nella zona di studio è costituito da un fosso minore (Montegemoli) canalizzato in sponda destra.

In prossimità della foce, il Cornia Vecchia è affiancato a Ovest dal Canale Allacciante e dai relativi affluenti di destra (fosso Cagliana, fosso Nuovo, canale Maestro), che raccolgono le acque provenienti dalle pendici collinari prospicienti la piana alluvionale, e la cui configurazione attuale è legata alle opere di bonifica.

Il Cornia Vecchia e il Canale Allacciante sono stati recentemente scavati e vistosamente allargati in sezione, il che ha generato un arretramento della foce di oltre 500 m ed ha creato lo spazio per la realizzazione di un porto turistico.

Procedendo più a Sud della foce del Cornia Vecchia, l'area costiera è inserita completamente nel tessuto urbano ed industriale di Piombino, nel quale la rete idrografica naturale è pressoché inesistente e sostituita dalla regimazione urbana delle acque di scolo.

5.2 PRINCIPALI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Il promontorio di Piombino presenta una morfologia caratterizzata da pendii mediamente acclivi, le cui quote più elevate (mai superiori a 300 m s.l.m.) si trovano a ridosso del margine costiero occidentale. Nella porzione sud-orientale, dove si è sviluppato maggiormente il centro urbano e industriale di Piombino, i pendii sono invece piuttosto blandi, complice l'assetto strutturale Est - vergente delle formazioni stratificate; questi versanti si raccordano con regolarità alla piana alluvionale e costiera del fiume Cornia.

Buona parte delle aree pianeggianti sono destinate a coltivazione estensiva di tipo seminativo mentre nelle aree a morfologia più acclive e a ridosso dei corsi d'acqua secondari, si rinvencono frequentemente residui di vegetazione boschiva ed arbustiva.

Gli elementi naturali identificati interessano la piana alluvionale e costiera, mentre nelle aree collinari il substrato delle rocce stratificate ha influenza diretta sulle geometrie di versante. Va comunque sottolineato che la quasi totalità delle forme individuate in prossimità del tracciato di progetto risulta influenzata dai processi antropici, presenti indistintamente su tutti i tipi di substrato.

Di seguito vengono descritti in dettaglio gli elementi geomorfologici salienti che sono rappresentati nella Carta Geomorfologica.

5.2.1 Forme naturali

Si tratta di elementi di origine naturale rappresentati da:

- Orlo di scarpata morfologica, lungo le pendici dei principali rilievi topografici costituiti dal substrato arenaceo in cui si osserva una rottura del profilo con aumento della pendenza.
- Corpi di frana, identificati nella porzione SW del tracciato, comunque non interferenti con le opere in progetto, reperiti dal catalogo IFFI, le cui caratteristiche vengono descritte in dettaglio nel paragrafo 5.3.1.

5.2.2 Forme legate all'idrografia e alla dinamica fluviale

I notevoli interventi antropici perpetrati nell'area costiera hanno spesso obliterato le originarie forme naturali ascrivibili ai processi fluviali. In cartografia sono rappresentati:

- i corsi d'acqua canalizzati;
- l'antica linea di costa ricostruita lungo il margine orientale del promontorio; si tratta di morfologie costiere precedenti all'estensione dell'area industriale portuale avvenuta nella seconda metà del '900;
- l'argine fluviale lungo i principali corsi d'acqua e fossi che solcano l'area.
- i depositi di colmata delle antiche aree acquitrinose precedenti alla bonifica ottocentesca, la cui origine è dovuta comunque a processi antropici.

5.2.3 Forme antropiche

Numerose sono le forme derivanti dalle trasformazioni del paesaggio naturale a seguito dell'attività umana, storica e recente. In particolare nella Carta Geomorfologica si fa riferimento ai seguenti elementi:

- Cave: una serie di cave dismesse, legate all'estrazione delle arenarie di Suvereto, sono ubicate nella porzione centro orientale dell'area rilevata. Sono delimitate da scarpate verticali alte 4-8 m circa.
- Terrazzamenti: sui versanti prospicienti la piana alluvionale si rinvengono numerosi terrazzamenti di origine antropica lungo i rilievi collinari ricoperti dalle sabbie di Donoratico. Si tratta di morfologie realizzate in epoca storica per permettere lo

sviluppo di colture arbustive in aree acclivi e che hanno contribuito alla stabilizzazione morfologica di aree con medio-alta propensione al dissesto. Non interessano la zona oggetto dell'intervento.

- Scarpate e superfici di spianamento: Queste aree sono piuttosto estese e rappresentano le porzioni di versante soggette a recente risistemazione morfologica operata mediante importanti movimenti terra. In queste zone sono comprese anche le più estese ed antiche aree di cava, nonché le forme legate al parziale spianamento e risagomatura dei promontori costieri che si affacciano lungo l'area siderurgica ed il porto: in particolare, il promontorio che si sviluppa subito a Sud della foce del Cornia.
- Discariche e riporti: in corrispondenza del margine nord-orientale dell'area rilevata sono presenti due discariche RSU; una di queste è ormai dismessa e appare legata all'area industriale siderurgica; mentre l'altra è di pertinenza comunale, occupa un'area maggiormente estesa della precedente ed è tutt'ora in evoluzione. All'interno dell'area siderurgica buona parte del piano di calpestio giace su metri di materiale riportato. Si individuano inoltre vari e vasti cumuli di riporto, parte dei quali collocati in posizione intermedia tra il tracciato di progetto e la costa; si tratta di materiali che intervengono nel processo siderurgico (minerale ferroso, calcare, loppe di altoforno) che vengono stoccati in via temporanea sui piazzali. Come descritto nel capitolo di geologia, ad Ovest del Cornia Vecchia, all'altezza del porto turistico in loc. Terre Rosse, è stata rilevata la presenza relitta di altri cumuli di riporto, che rappresentano i residui di più ampie colline artificiali costituite da scorie di altoforno, realizzate in passato e successivamente parzialmente rimosse.
- Orlo di scarpata antropica: rappresenta il cambio netto di pendenza in corrispondenza di sbancamenti eseguiti per la realizzazione dei tracciati stradali e i bordi riprofilati degli accumuli di discarica.

5.3 COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO

5.3.1 Pericolosità geomorfologica

Il PAI

Il Piano di Assetto Idrogeologico del bacino Toscana Costa, adottato con delibera regionale dalla Regione Toscana n. 831/2001, comprende al suo interno l'intero bacino idrografico del Cornia.

Il PAI suddetto individua i seguenti criteri di rischio finalizzati alla redazione di strumenti di pianificazione per la salvaguardia del territorio:

- Pericolosità per instabilità geomorfologica, intesa come frane s.s., processi di erosione da versante, subsidenza. Identificazione delle aree P.F.E., (Pericolosità da Frana Elevata) e P.F.M.E. (Pericolosità da Frana Molto Elevata).
- Pericolosità idraulica, intesa come inondazione dal reticolo principale e secondario, ristagno, inondazione connessa all'insufficienza delle reti di drenaggio, inondazione connessa all'evoluzione dei fenomeni di dinamica d'alveo. Identificazione delle aree con pericolosità idraulica P.I.E. (Pericolosità Idraulica Elevata) e P.I.M.E. (Pericolosità Idraulica Molto Elevata).

Limitatamente agli aspetti di pericolosità geomorfologica, le indicazioni del PAI sono state recepite nel corso del presente studio, unitamente alle informazioni provenienti dal Piano Strutturale d'Area del Bacino del Cornia, che ne adotta ed elabora i criteri di base attraverso numerosi elaborati tematici, cartografici e descrittivi.

Il PAI evidenzia delle aree di pericolosità (P.F.E., Pericolosità da Frana Elevata) disposte lungo il versante orientale del promontorio di Piombino, a margine dell'area investigata dal presente studio e in posizione marginale rispetto alla zona oggetto di studio e comunque in una posizione da non interferire con l'infrastruttura stradale di progetto.

Le evidenze geomorfologiche di campagna e la fotointerpretazione non sembrano confermare peraltro la presenza di aree instabili, che viceversa appaiono piuttosto improbabili.

Si ritiene opportuno osservare che la maggior parte dei versanti costieri ha subito significative trasformazioni antropiche legate ad attività agricole, testimoniate in primo luogo dalla diffusa presenza di terrazzamenti.

Carta geomorfologica

Nella Carta Geomorfologica di Progetto Esecutivo sono riportate le forme e i processi morfologici che hanno determinato l'attuale assetto del territorio. In particolare, si riscontra la presenza di dissesti che si sviluppano sulle testate degli impluvi e dei corsi d'acqua favoriti dai fenomeni di arretramento morfologico causati a loro volta dal progressivo approfondimento ed erosione dei corsi d'acqua.

La carta geomorfologica riporta i dissesti presenti sui versanti attigui alla piana alluvionale; tali fenomeni non interessano direttamente il tracciato di progetto.

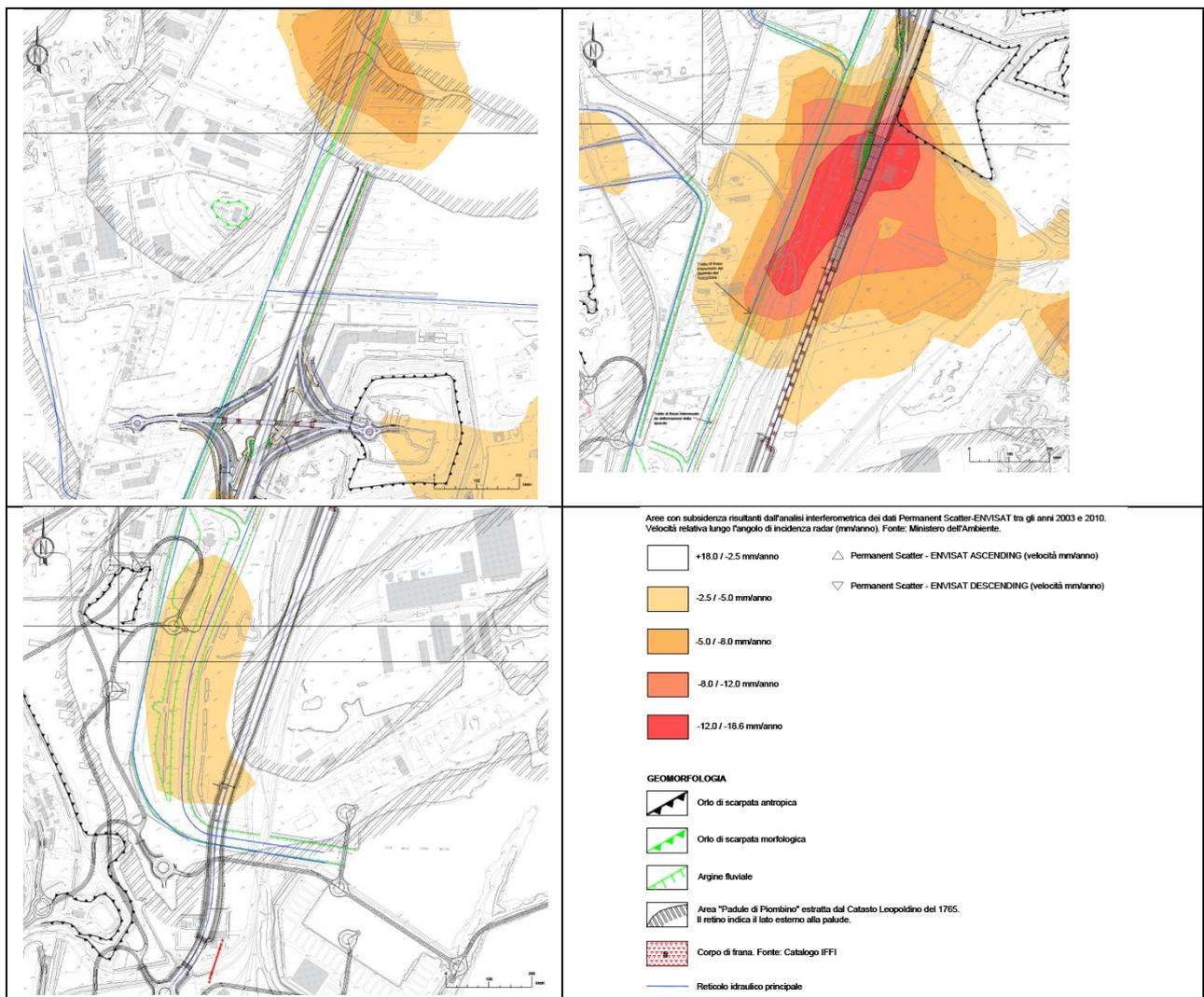


Figura 12- Estratti della carta geomorfologica

Dissesto del 2004

Per completezza nei riguardi delle condizioni d'instabilità strettamente connesse alle caratteristiche geotecniche dei depositi lacustri sottostanti i terreni di riporto, si ritiene utile illustrare un fenomeno di collasso spondale avvenuto in prossimità del tracciato di progetto, la cui ubicazione precisa è indicata nella Carta Geomorfologica.

Il giorno 15/03/2004 alle ore 13.00 circa si è verificato lo smottamento della riva sinistra del Fosso Vecchio Cornia, nel tratto prospiciente lo specchio acqueo in concessione alla Coop. Circolo Nautico Pontedoro. L'evento, ampiamente documentato nella Relazione Tecnica del Geol. Mazzei (Maggio 2005), ha interessato una fascia longitudinale di circa 240 mt di fosso posta in posizione intermedia tra il ponte ferroviario di accesso allo stabilimento Lucchini e gli uffici della Cooperativa.

La situazione riporta un sollevamento del terreno di fondo alveo che è emerso oltre il livello medio marino, formando un accumulo di materiale con altezza massima di circa 1,5 mt lungo l'asse del canale e progressivo abbassamento verso il pelo dell'acqua in senso longitudinale e verso le sponde in senso trasversale (Figura 13).



Figura 13-complete otturazione del canale causata dalla traslazione del materiale argilloso a seguito del cedimento della sponda sinistra del Fosso Cornia (sinistra); fratture generate nel livello di riporto industriale prospiciente il fosso all'indomani del dissesto (destra). Le fratture permangono tuttora.

La situazione stratigrafica locale è caratterizzata da uno strato ben addensato di riporti di altoforno, poggianti su un substrato fine argilloso-limoso e saturo. Ad aumentare l'incidenza del sovraccarico è inoltre stata l'installazione di barriere frangivento provvisorie (H 4 m, base minore 3 m, base maggiore 15 m) ora rimosse, a 20 m di distanza dall'argine sinistro.

L'abbassamento dell'argine sinistro ha causato una compressione volumetrica sull'argilla sottostante con rifluimento del materiale nell'alveo del fosso oltre alla formazione di nuove fratture di collasso subparallele. Le sezioni in Figura 13 esplicano graficamente la dinamica del dissesto.

RELAZIONE GEOLOGICA

Le cause del dissesto identificate dal tecnico sono da imputare a:

- drenaggio delle acque piovane direzionate verso il fosso e le venute a giorno di acqua dal terreno industriale, con formazione di settori impaludati e pozzanghere;
- rottura plastica del substrato argilloso a seguito di consolidazione della porzione terminale di terreno industriale che ha compresso il substrato argilloso verso il settore ove minore era la pressione di confinamento, cioè l'alveo del fosso, ad opera degli accumuli terrigeni delle barriere frangivento, meno incisivi di quelli indotti dal riporto industriale "storico" e dai carichi intensi indotti nei settori di stoccaggio di merci e materiali e dalle attività pesanti di di passaggio carri ferroviari sui piazzali limitrofi.

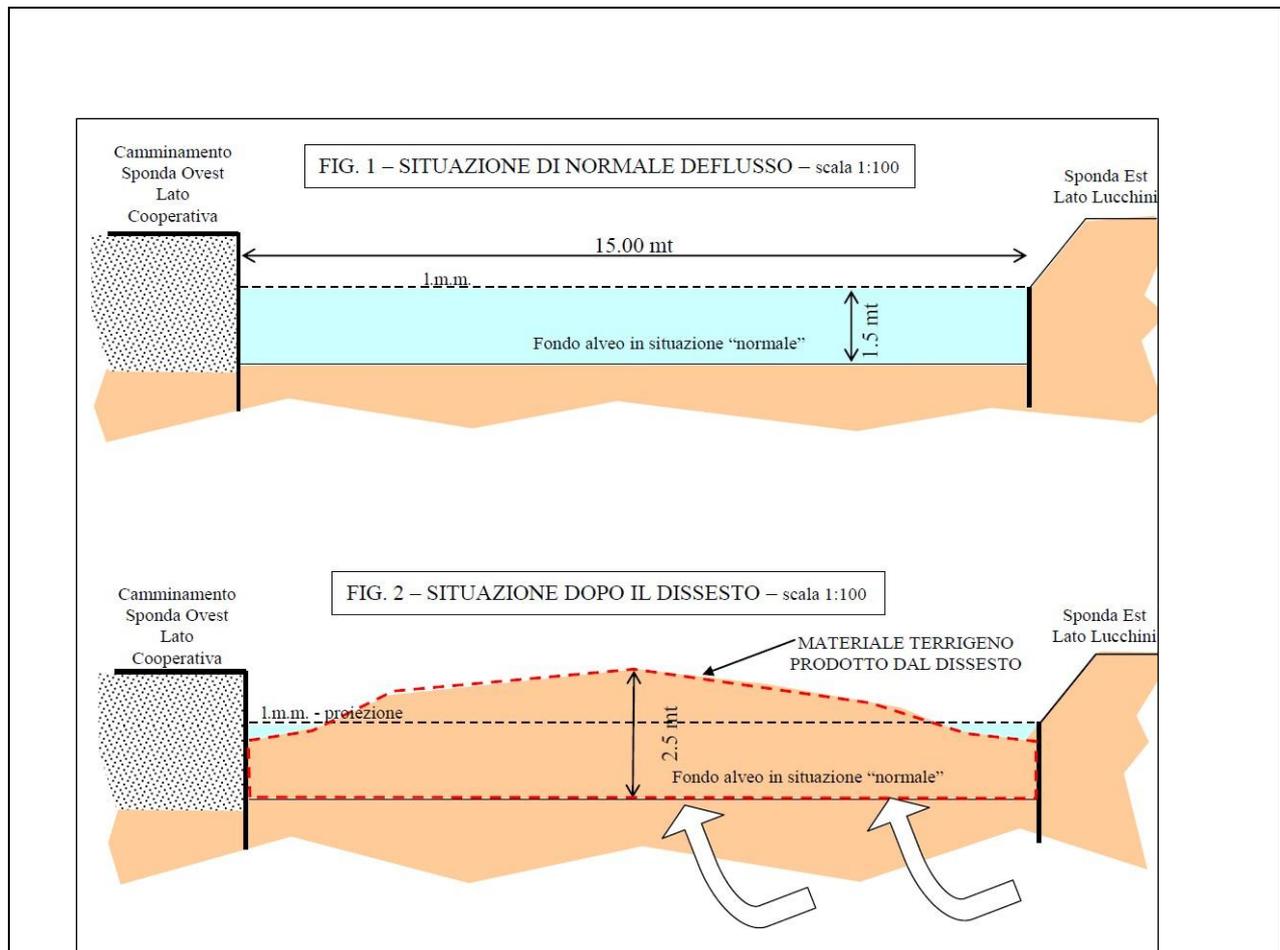


Figura 14-Sschematizzazione del dissesto del 2014 (estratto da geol. Mazzei).

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

6.1 ASSETTO TETTONICO-STRUTTURALE REGIONALE

Le formazioni affioranti nei settori costieri della Toscana meridionale sono riferibili ad un arco temporale che va dal Triassico all'attuale e sono ascrivibili alle unità dell'Appennino Settentrionale.

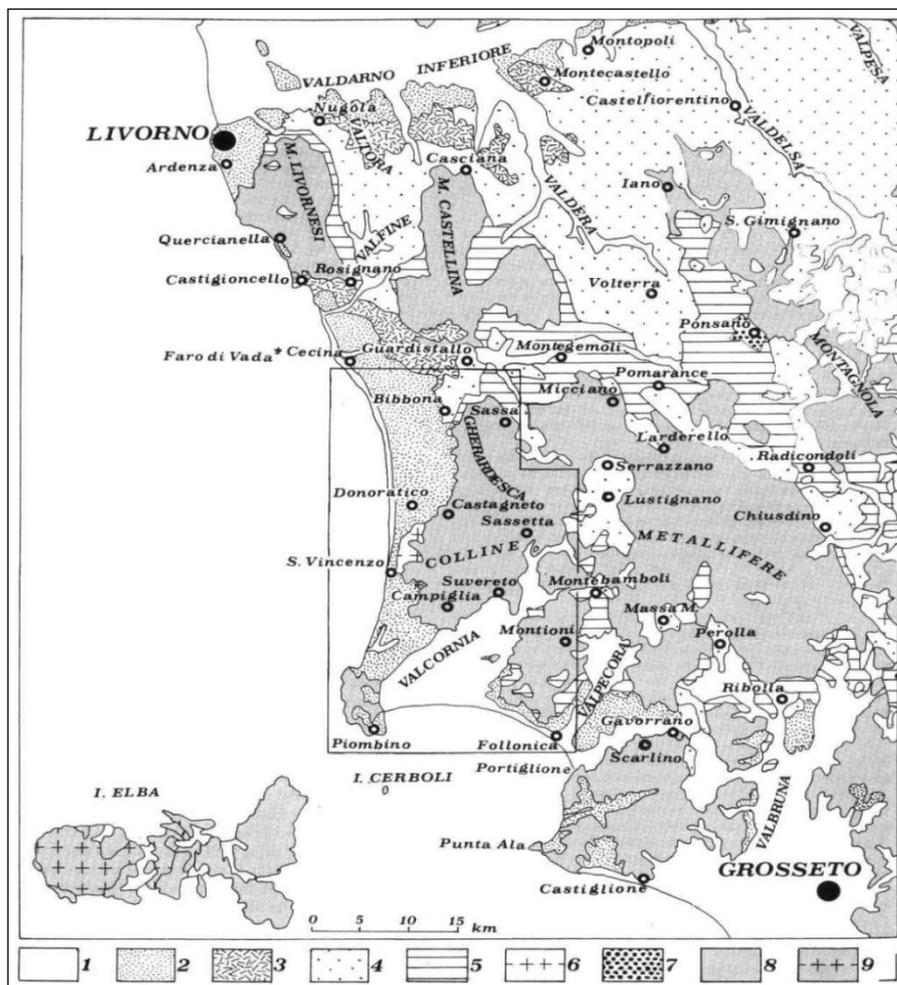
Tali unità corrispondono a diversi domini paleogeografici, che devono essere intesi come i diversi ambiti in cui esse si sono sedimentate prima di venire coinvolte nei processi di dislocazione tettonica dell'orogenesi appenninica.

L'assetto geologico - strutturale che si riscontra nel settore tirrenico - appenninico deriva dai processi di rifting terziari, i quali hanno frammentato l'edificio a falde formato dall'impilamento di unità appartenenti a diversi domini strutturali, di seguito riportati (Costantini et al., 1993):

- **Complesso Neoautoctono:** è costituito da una successione di formazioni mioceniche, plioceniche e quaternarie deposte in bacini di sprofondamento tettonico, collegati allo sviluppo di eventi distensivi post-collisionali neogenici e quaternari, nonché allo sviluppo di cicli stratigrafici legati alle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino, riconosciute nell'ambito dei depositi del Pleistocene medio e superiore, fino all'Olocene.
- **Dominio Ligure:** è rappresentato da ofioliti giurassiche e da prodotti di sedimentazione pelagica, con a tetto una sequenza flyschoidale calcareo-marnosa cretacea. Gli ambiti di sedimentazione, tra il Cretacico sup. e l'Eocene medio, subiscono un'evoluzione che li portò dagli ambienti di piana sottomarina, a quelli di bassofondo pelagico, oppure a quelli tipici delle conoidi sottomarine soggette ad ingenti apporti detritici. Le sequenze ofiolitiche giurassiche, costituite da gabbri, serpentiniti, basalti, assumono il significato di magmi sub-crosta di tipo oceanico, sormontati dai ricoprimenti pelagici profondi riconducibili al Cretacico inferiore.
- **Dominio Subligure:** rappresenta la transizione tra il dominio oceanico e quello continentale Toscano, e comprende le sequenze calcareo-arenacee di età Cretacico superiore- Oligocenica. Gli ambienti deposizionali delle formazioni Subliguri sono rappresentati da bacini terrigeni (v. formazione di Canetolo) ubicati in posizione esterna rispetto a una dorsale intracontinentale (zona insubrica) oltre la quale, in posizione interna, si sono deposte successioni continue di piana sottomarina con ampio sviluppo di conoidi, specialmente nei livelli superiori.
- **Dominio Toscano:** è costituito da sequenze deposizionali in cui si può distinguere un dominio Toscano rappresentato da termini non metamorfici, e un dominio costituito da terreni metamorfici (non rappresentati nell'area di studio). Gli ambienti di

RELAZIONE GEOLOGICA

sedimentazione ebbero un'evoluzione da quelli di laguna e piattaforma carbonatica iperalina del Trias sup a quelli di piattaforma carbonatica del Lias sup. Durante tutto il Giurassico sup. e medio si svilupparono successioni lacunose e condensate in ambiente costantemente pelagico; a partire dal Giurassico sup. l'ambiente pelagico si approfondì in ambito bacinale epicontinentale, nel quale la deposizione carbonatica diminuì progressivamente nei confronti di quella silicoclastica. Con l'Eocene medio sup. l'ambiente di sedimentazione iniziò a risentire dell'apporto di clasti più grossolani, a causa del sempre più frequente arrivo di onde torbiditiche, la cui deposizione continuò fino all'oligocene sup., con l'instaurarsi di un ambiente di conoide esterna, seguita dal colmamento del bacino per il sopraggiungere delle Unità alloctone del Dominio Subligure. Ai domini suddetti occorre inoltre aggiungere il complesso magmatico neogenico, costituito sia da rocce intrusive, sia effusive.



Il contesto in cui si sviluppa il tracciato in oggetto è caratterizzato da distinguere due ambiti geologici fondamentali:

- Il **Promontorio di Piombino** (che occupa l' area a sud-overt rispetto al tracciato), dove si rilevano essenzialmente sovrapposizioni di Unità Sub – Liguri sulla Formazione del Macigno appartenente alla Unità della Falda Toscana. Esso costituisce una zona sollevata tettonicamente da faglie, rispetto al canale di Piombino e alla piana del Fiume Cornia. Questa struttura positiva è rappresentata da una monoclinale, la cui immersione raggiunge i 30°- 40° vicino alla città, presso l'estremità meridionale, debolmente ondulata e scomposta da faglie secondarie, di non grande rigetto. Su questo edificio strutturale si imposta successivamente l'evoluzione sedimentaria neogenica-quadernaria in gran parte condizionata dai movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post-collisionale.
- La **Pianura Del Cornia**, in cui si sviluppa l'asse stradale stesso compresa tra il Promontorio di Piombino ed i rilievi più interni, che rappresenta il punto di congiunzione tra la valle fluviale del Fiume Cornia e la zona retrodunale e palustre della campagna piombinese, bonificata nel corso del XIX secolo.

7 DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Attraverso l'analisi dei risultati delle diverse campagne geognostiche, è stato possibile ricostruire il modello geologico per il tracciato in esame. Come si evince dal profilo geologico e dalle sezioni geologiche realizzate, l'area in cui si sviluppa il tracciato, è caratterizzata da una struttura a graben ribassata nella parte centrale da faglie dirette con direzione appenninica.

Nel Pliocene, la pianura del Cornia risultava moderatamente sommersa ed il promontorio di Piombino rappresentava un'isola situata tra l'Elba e le Colline metallifere; il mare occupava per la quasi totalità la Bassa Val di Cornia fino a Suvereto e Riotorto. Successivamente, dal Pleistocene medio si sono instaurate condizioni tettoniche che hanno portato al congiungimento del promontorio di Piombino con i rilievi della zona di Campiglia Marittima.

La sutura definitiva è avvenuta con l'accumulo di cordoni sabbiosi litoranei ad opera del moto ondoso, sia a Nord che ad Est; tale processo ha portato alla delimitazione di bacini lacustri e lagunari colmati successivamente dagli apporti terrigeni dei corsi d'acqua e dagli apporti marini di transizione a partire dall'Olocene.

In particolare sono presenti le seguenti formazioni geologiche:

- **Terreni di riporto:** costituiti da materiale eterogeneo, tra cui residui di prodotti di altoforno e materiali di cava. Tali terreni sono presenti lungo tutto il tracciato stradale e costituiscono lo strato geologico più superficiale, presentano uno spessore variabile da pochi metri a 7 m.
- **Depositi alluvionali, lagunari e deltizi - Qa (Olocene)** Sono rappresentati dalle alluvioni attuali e recenti della piana costiera del Cornia e presenti con continuità lungo tutta l'area pianeggiante posta a nord-Est dell'abitato di Piombino. Le alluvioni sono costituite da sedimenti piuttosto eterogenei, in relazione alla evoluzione storica del territorio e della rete idrografica principale: in superficie, per i primi 3-6 m di spessore, prevalgono i depositi di colmata, la granulometria risulta molto variabile, ma generalmente si tratta di terreni compressibili e poco addensati di colore variabile da nocciola marrone a grigio.

A profondità maggiori si rinvencono i depositi continentali, alluvionali, lagunari e di palude retrocostiera, variabili in spessore da 10 -15 m fino a circa 30 -35 m (v. sondaggi SP7, SD2).

Sono costituiti da alternanze di argille limose e sabbie limose, con locali intercalazioni di ghiaie evolute in profondità, di spessore metrico; il colore è prevalentemente grigio e grigio scuro, solo localmente nocciola e ocraceo. Nella porzione medio alta i depositi sono teneri o poco addensati, sovente ricchi di resti conchigliari e organici (frammenti fibrosi o torbosi nerastri); sono generalmente sterili oltre i 20 m di profondità circa, caratterizzati da consistenza localmente più elevata.

- **Depositi sabbiosi pleistocenici - Qsu (Pleistocene medio sup.)** Sono costituite da sabbie medio fini, da rosso vivo a nocciola giallastre, generalmente addensate e accompagnate da abbondante scheletro limoso e argilloso. Sono alternate localmente ad argille limose molto consistenti/dure, presenti generalmente nelle porzioni più profonde. Si riscontra anche la presenza di clasti arenacei sparsi e livelli di calcareniti (ambiente deposizionale continentale e retrocostiero).

- **Arenarie di Suvereto - Su (Oligocene - Miocene inf.)**. Si tratta di arenarie quarzoso feldspatiche a granulometria prevalentemente medio - fine, organizzate in strati medi e subordinatamente in strati spessi o in banchi; vi possono essere rare intercalazioni conglomeratiche. Tale formazione costituisce il bedrock litoide e si rinviene a partire da circa 22-24 m di profondità.
Nell'ambito dei banchi si rinvencono orizzonti gradati a granulometria grossolana. Il colore è grigio, giallastro per alterazione, con interstrati grigio scuri. Questa formazione appartiene alle Unità Sub-liguri e risulta coeva alla formazione del Macigno, che invece fa parte della Falda Toscana. Le due unità non sarebbero facilmente distinguibili, se non in ragione della diversa posizione nell'orogene. Le Arenarie di Suvereto affiorano estesamente lungo i rilievi collinari costieri; nell'ambito delle aree di pertinenza progettuale sono state cartografate presso l'intersezione dell'asse 0 con la SS 389 e nella parte iniziale dell'asse 1b, lungo un vasto promontorio roccioso, oggi parzialmente spianato per esigenze antropiche. In perforazione la formazione è stata individuata in diversi sondaggi, a profondità differenti. Le arenarie sono a tratti compatte e poco fratturate; spesso, nella parte alta della formazione si individuano alcuni metri di materiale detritico, costituito da frammenti arenacei di varia pezzatura, fortemente degradati, in matrice sabbiosa limosa (v. SD1 e SD4). Tale porzione più superficiale costituisce lo strato di alterazione (alt).

A corredo della presente relazione, sono stati redatti, oltre che al profilo geologico e alla carta geologica, anche delle sezioni geologiche trasversali e dei plano-profili geologici in corrispondenza delle opere significative quali:

- Cavalcavia Sp 40
- Viadotto Cornia 1
- Viadotto Cornia 2.

8 SCHEMA IDROGEOLOGICO

8.1 IDROGEOLOGIA DI VASTA AREA

Nell'area della Val di Cornia, che comprende Piombino, Suvereto, San Vincenzo e Campiglia Marittima, vengono riconosciute in letteratura due unità idrogeologiche principali:

- *l'Unità dei Calcari dei Monti di Campiglia*, che rappresenta un sistema idrotermale totalmente esterno all'area di interesse progettuale,
- *l'Unità dell'acquifero Multistrato della Pianura del Cornia*.

Quest'ultimo acquifero occupa tutta l'area di pianura ed è costituito da depositi alluvionali, lagunari, deltizi e costiero-dunari, a granulometria alquanto eterogenea. Esso rappresenta una struttura di grande importanza per l'approvvigionamento idrico della regione. Nella sua porzione meridionale, più prossima all'area di studio, può essere descritto come un acquifero multistrato, in quanto contiene frequenti elementi lentiformi a permeabilità maggiore rispetto ai terreni circostanti; tali lenti maggiormente trasmissive sono generalmente residui di antichi alvei fluviali.

Il forte sfruttamento delle risorse idriche ha indotto variazioni piezometriche che hanno determinato il progressivo abbassamento della falda. Recenti studi hanno quantificato un deficit idrico accumulatosi negli ultimi decenni pari a svariati milioni di metri cubi.

8.2 PIEZOMETRIA

I livelli piezometrici nell'area in esame sono stati desunti dalle misure acquisite nel corso degli anni durante le diverse fasi d'indagine eseguite a corredo del progetto del nuovo tracciato stradale e per l'intervento di bonifica della area Lucchini.

I valori di falda utilizzati come riferimento sono riportati nella Carta Idrogeologica in prossimità di ciascun punto di misura e vengono espressi in metri sul livello del mare. Essendo le misure eseguite in ambiti e periodi molto differenti, i dati risultano frammentari e scostanti, pertanto per la definizione della piezometria della prima falda, quella che interessa direttamente le opere in progetto, ci si è basati in primo luogo sulla distribuzione dei livelli idrogeologici certi quali quelli connessi alle linee di costa, alle darsene e ai canali scolmatori che risultano ovviamente tutti al livello del mare.

A partire da questi punti fissi sono eseguite interpolazioni manuali tra le varie misure che hanno permesso di definire in via preliminare la forma della piezometria superficiale.

I livelli considerati sono inferiori ai 2 m s.l.m. e le direzioni di flusso risultano ortogonali al fosso Cornia in primis e la linea di costa in secondo luogo. Il gradiente medio è inferiore allo

RELAZIONE GEOLOGICA

0.5%. Si segnala la presenza di due minimi indicativamente in destra del fosso Cornia alle pk. 1+350 e 2+070 dovuti probabilmente alla presenza di pozzi di emungimento.

Le tabelle seguenti riportano i risultati del monitoraggio piezometrico eseguito in corrispondenza di alcuni dei sondaggi di progetto nonché i dati di monitoraggio ricevuti dalla Lucchini.

All'interno della mappa idrogeologica si indica comunque la quota media di ciascun punto di misura.

Sondaggio	Quota m s.l.m.	Giugno 2007		Dicembre 2010		Novembre 2011	
		Falda m da p.c.	Falda m s.l.m.	Falda m da p.c.	Falda m s.l.m.	Falda m da p.c.	Falda m s.l.m.
SP1	3,02	-2,25	0,77	-1,95	1,07	-1.85	2.17
SP2	3.50	-2,14	0,02	-1,90	0,26	-	-
SP3	11.45	-1,38	0,11	-0,65	0,84	-0.8	0.69
SP4	3.21	-2,75	1,39	-3,90	0,24	-	-
SP5	0.28	-0,60	0,42	-0,65	0,37	-	-
SP7	12.57	-4,15	0,39	-3,90	0,64	-	-
SD1	2,8	-	-	-2,2	0,62	-2.0	0.8
SD1bis*	1	-	-	-0,8	0,20	-	-
SD2	3,9	-	-	-1,8	2,10	-2.1	1.8
SD3	5,1	-	-	-4,1	1,00	-	-
SD4*	4,4	-	-	-3,25	1,15	-	-
SD5	25,8	-	-	-6,9	18,90	-12,0**	13,8**
SE1	3.9	-	-			-2.5	1.4

Tabella 1 - Tabella riassuntiva delle misure piezometriche derivanti dalle campagne d'indagine 2007 e 2010-2011. (* misura eseguita a fine perforazione; ** Febbraio 2011).

	08/02/2017	21/02/2017	28/02/2017	02/03/2017
Sondaggio	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)
SA2PZ	5.70*	2.20	2.15	2.15
SA4PZ	-	-	2.00	1.95

Tabella 2 - Tabella riassuntiva delle misure piezometriche della campagna d'indagine 2017. (* misura eseguita a fine perforazione).

RELAZIONE GEOLOGICA

Sondaggio	Quota (m s.l.m.)	Prof. (m p.c.)	Ago. 2007		Dic. 2007		Gen./Feb. 2008		Apr./Mag. 2008		Ott./Dic. 2008	
			Sogg. m p.c.	Quota m slm	Sogg. m p.c.	Quota m slm	Sogg. m p.c.	Quota m slm	Sogg. m p.c.	Quota m slm	Sogg. m p.c.	Quota m slm
Pz094	5,14	6,0	-	-	-	-	-4,6	0,54	-4,15	0,99	-	-
Pz098	5,14	6,0	-3,7	1,44	-3,65	1,49	-	-	-	-	-	-
Pz099	3,51	7,5	-2,7	0,81	-2,6	0,91	-2,55	0,96	-2,65	0,86	-	-
Pz100	4,17	6,0	-3,6	0,57	-3,45	0,72	-	-	-	-	-	-
Pz101	4,28	6,0	-2,7	1,58	-2,5	1,78	-2,25	2,03	-2,56	1,72	-	-
Pz102	4,12	6,5	-2,7	1,42	-2,55	1,57	-2,4	1,72	-2,6	1,52	-	-
Pz104	4,65	6,5	-2,75	1,90	-2,75	1,90	-2,5	2,15	-2,74	1,91	-	-
Pz107	4,74	6,5	-3,1	1,64	-3,15	1,59	-2,9	1,84	-3,1	1,64	-	-
Pz111	4,43	6,0	-2,8	1,63	-2,95	1,48	-2,65	1,78	-2,9	1,53	-	-
Pz114	3,59	6,0	-2	1,59	-2	1,59	-1,8	1,79	-1,59	2,00	-	-
Pz118	3,08	6,0	-2,1	0,98	-1,85	1,23	-1,55	1,53	-1,7	1,38	-	-
Pz128	3,8	5,0	-2,75	1,05	-2,6	1,2	-2,15	1,65	-1,3	2,5	-1,55	2,25

Tabella 3 – Monitoraggio piezometrico indagini Lucchini Piombino S.p.A.

8.3 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO

La definizione del modello idrogeologico è avvenuta distinguendo le formazioni geologiche contraddistinte da caratteristiche assimilabili dal punto di vista delle proprietà idrauliche dei terreni (entità e tipologia della permeabilità) ed accorrandole in complessi idrogeologici. Le caratteristiche dei vari complessi sono descritte nei paragrafi successivi. I valori di permeabilità indicati presentano una marcata variabilità, anche a causa della variabilità granulometrica che si osserva in numerosi sondaggi. Le classi di permeabilità derivano dai dati di letteratura, dalle curve granulometriche dei litotipi e dalle prove di permeabilità effettuate in foro, di cui si riporta un riepilogo nella tabella successiva.

Sondaggio	Profondità m da p.c.	Permeabilità m/s	Litologia / Complesso
SD1	22.0-23.0-	2.6E-06	C1
SD1bis	27.0	3.8E-04	C2
SD3	10.5-11	3.0E-06	C1
SD4	15.5-16	4.1E-06	C1

Tabella 4 – Prove di permeabilità nei sondaggi geognostici di progetto.

- **Terreni di riporto:** Tali terreni sono caratterizzati da una permeabilità variabile ma che si mantiene sempre medio - elevata.

- **Complesso 1: Depositi alluvionali (Qa) presenti lungo tutta la piana del Cornia.**

Presenta caratteristiche diverse procedendo dall'entroterra verso la costa: lungo la fascia costiera, dove il complesso alluvionale ha una potenza di oltre 50 m, il complesso è caratterizzato da un aumento delle percentuali di materiale fine, che sono presenti sia come coperture argillose superficiali, sia sotto forma di interstrati più o meno profondi.

La permeabilità del complesso è **medio bassa, di tipo primario per porosità**, con valori caratteristici del coefficiente di permeabilità piuttosto bassi, compresi tra 10^{-7} e 10^{-5} m/s. Tali limiti possono ulteriormente estendersi in entrambe le direzioni: possono essere sensibilmente maggiori in corrispondenza degli interstrati ghiaiosi; raggiungere livelli di bassissima permeabilità in presenza delle litologie più fini.

All'interno del complesso si riscontra la presenza di acquiferi multistrato di discreta produttività, molto sfruttati storicamente per attività industriali e irrigue, il che ha generato importanti abbassamenti dei livelli piezometrici e l'intrusione di acqua marina. Tali problematiche, riscontrate soprattutto presso i campi pozzi presenti alcuni km all'interno della Piana di Piombino, hanno indotto nel corso degli ultimi decenni alla realizzazione di diversi studi di settore, finalizzati sia alla corretta definizione del contesto idrogeologico, sia alla tutela delle acque ed alla pianificazione in materia di risorse idriche superficiali e sotterranee (v. Piano Strutturale Val di Cornia - Circondario del Cornia, 2006).

- **Complesso 2: Depositi sabbiosi pleistocenici - Qsu**

Questo complesso comprende buona parte dei sedimenti pleistocenici presenti lungo tutta la fascia costiera posta a Nord di Piombino, fino a Cecina. La permeabilità di detti depositi è variabile da medio - alta a bassa, con valori del coefficiente di permeabilità compresi tra 10^{-6} e 10^{-3} m/s. I valori inferiori sono plausibili nelle porzioni più fini, in presenza di livelli cementati tra le ghiaie, e in presenza di abbondante matrice limosa argillosa nelle sabbie.

La produttività è scarsa lungo i rilievi collinari, mentre in prossimità della piana, laddove lo spessore dei sedimenti è maggiore, può essere discreta.

- **Complesso 3: Arenarie di Suvereto- (Su)**

Questo complesso idrogeologico è costituito dalle nelle quali i litotipi litoidi arenacei si alternano a sottili livelli pelitici e marnosi. Tale assetto litologico conferisce all'acquifero una spiccata variabilità in termini di trasmissività: la permeabilità (per fratturazione) è normalmente bassa - medio bassa (10^{-8} e 10^{-5} m/s), fortemente dipendente dallo stato di fratturazione dei litotipi.

RELAZIONE GEOLOGICA

L' acquifero del Cornia rappresenta la principale fonte di acqua idropotabile, ed è soggetto ad uno sfruttamento intensivo legato ad attività civili, industriali ed irrigue che è tra le prime cause della subsidenza idrogeologica, generata appunto dall'estrazione di acqua dalle falde confinate della pianura e dal conseguente declino del carico piezometrico.

Nella carta idrogeologica del progetto esecutivo sono riportate le formazioni idrogeologiche e i loro valori di permeabilità.

9 SISMICITA'

9.1 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Il territorio nazionale è caratterizzato da una sismicità che si distribuisce lungo fasce a caratteristiche sismiche omogenee, variamente orientate, denominate Zone Sismogenetiche.

La zonazione ZS9 (INGV, 2004), già evoluzione di zonazioni precedenti (ZS4, 2000) mette in risalto la disposizione di tali zone; essa è stata elaborata in modo da soddisfare alcuni requisiti fondamentali, tra i quali è opportuno citare:

- la possibilità di fornire, per ogni ZS, una stima di profondità dei terremoti utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;
- fornire, per ogni ZS, un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate su tale meccanismo, mediante i coefficienti proposti tramite appositi algoritmi.

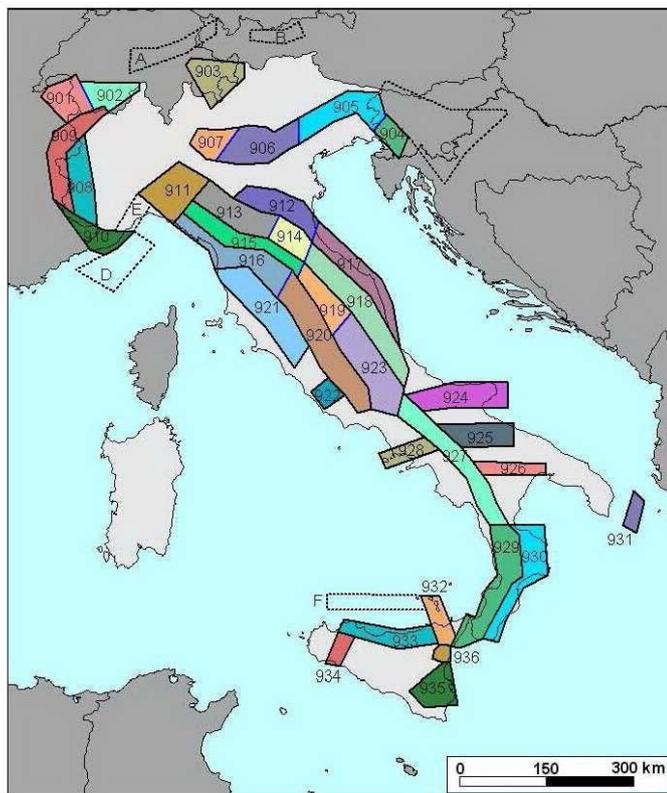


Figura 15: Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (INGV, 2004). I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità.

RELAZIONE GEOLOGICA

I dati di sismicità ottenuti dai database di riferimento sono stati gestiti in associazione con gli elementi descritti attraverso la zonazione ZS9, allo scopo di predisporre gli elementi di ingresso per il calcolo della pericolosità sismica sull'intero territorio nazionale.

La Toscana, così come il Lazio, è attraversata da fasce allungate di preferenza in direzione NW – SE, nella direzione della costa tirrenica e della catena montuosa appenninica. Lungo queste fasce la sismicità si distribuisce in modo omogeneo e gradualmente crescente dalla costa verso l'Appennino

Il territorio più prossimo al promontorio di Piombino ricade esternamente al margine occidentale della Zona Sismogenetica 921 "Etruria", ad una distanza di circa 30 chilometri (Mw max=5.91).

La figura sottostante illustra l'ubicazione delle cosiddette "faglie capaci" nell'intorno dell'area di Piombino, la cui presenza è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA, disponibile on-line presso il Servizio Geologico Nazionale (ISPRA, 2011).

Il termine faglie capaci è utilizzato per descrivere le faglie 'sismiche' con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente capaci di produrre deformazioni in superficie. La riattivazione di faglie capaci in occasione di eventi sismici di intensità elevata è in grado di produrre fenomeni di rottura superficiale in prossimità delle aree epicentrali. Dall'analisi del suddetto catalogo non si rileva la presenza di faglie capaci nelle aree prossime alla zona di studio.

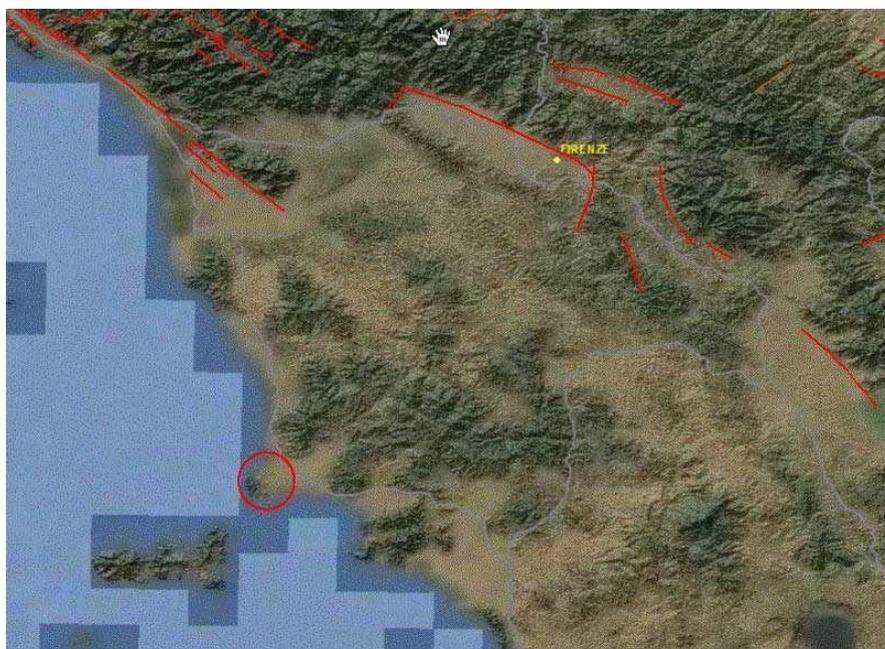


Figura 16- Ubicazione delle faglie capaci nella fascia toscana costiera (ISPRA, 2011). E' evidenziato in rosso il promontorio di Piombino.

9.2 SISMICITÀ STORICA

Gli annali storici relativi agli eventi sismici registrati nella regione costiera prossima a Piombino non indicano una particolare attività sismica. Tutti gli eventi documentati sono alquanto distanti rispetto all'area in esame e gli eventi maggiori ricadono nei comuni della Provincia di Livorno posti nell'entroterra o più a Nord, tra Bibbona e Rosignano.

Con riferimento all'analisi della sismicità storica, di seguito sono riportati i record del database macrosismico DBMI04, aggiornato nel DBMI15 (INGV 2015), relativi al Comune di Piombino.

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1895 05 18 19 55 1	Fiorentino	401	8	5.50
NF	1897 05 15 13 42 3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.10
NF	1905 02 12 08 28	Monte Amiata	61	6	4.55
2	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4-5	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
5	1914 01 15 03 27 2	Livornese	25	5	4.33
SF	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
NF	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
NF	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
2-3	1970 08 19 12 19	Colline Metallifere	26	6	4.68
4	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
3	1980 09 08 19 41 1	Costa Grossetana	55	5-6	4.44
NF	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1987 01 22 05 10 5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
NF	1998 05 20 11 07 4	Colline Metallifere	31	4-5	4.19

Tabella 5 – Elenco degli eventi sismici negli dal 1885 al 1998. I: intensità al sito di interesse in scala MCS (NF: Not Felt = Non percepito); Np: numero di osservazioni; Io: intensità massima; Mw: magnitudo.

Dall'analisi dei dati risulta che l'intensità di terremoti anche forti percepita a Piombino è sempre stata molto limitata.

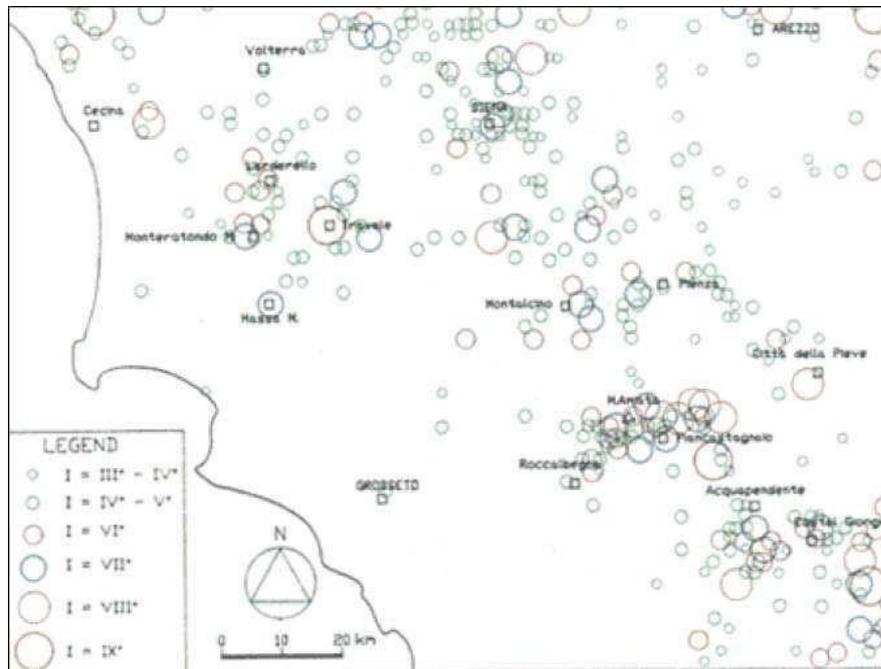


Figura 21: Sismicità storica delle località della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS). Rappresentazione schematica (ENEL, 1995).

9.3 PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica è da intendersi come "grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane". L'analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi: la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche; l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

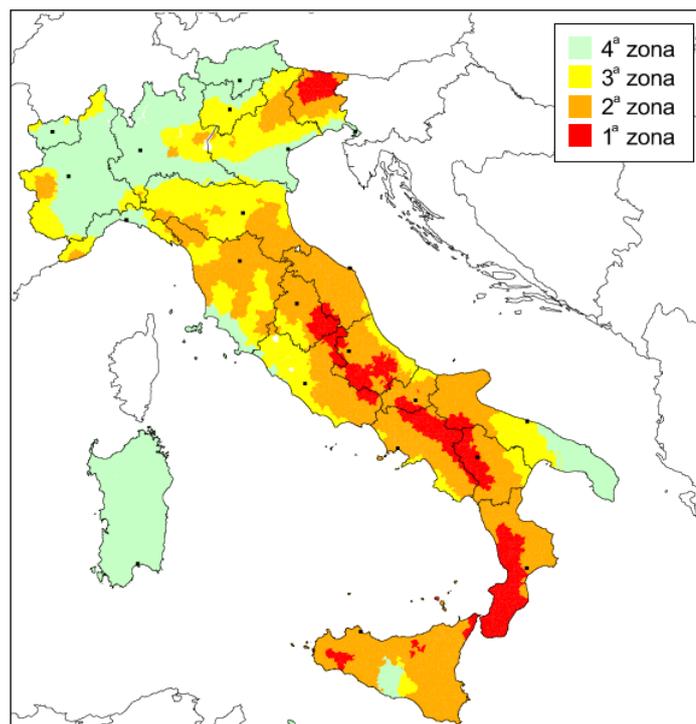
Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi e amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Fino al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 rappresenta una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si stabiliscono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei Comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006.

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV – DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/2006. Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

A ciascuna zona è attribuito un valore di pericolosità di base espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g); tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.



ZONA SISMICA	DESCRIZIONE
Zona 1	É la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
Zona 4	É la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I valori di accelerazione orizzontale massima (a_g) per le varie zone sismiche sono riportate nella tabella seguente:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

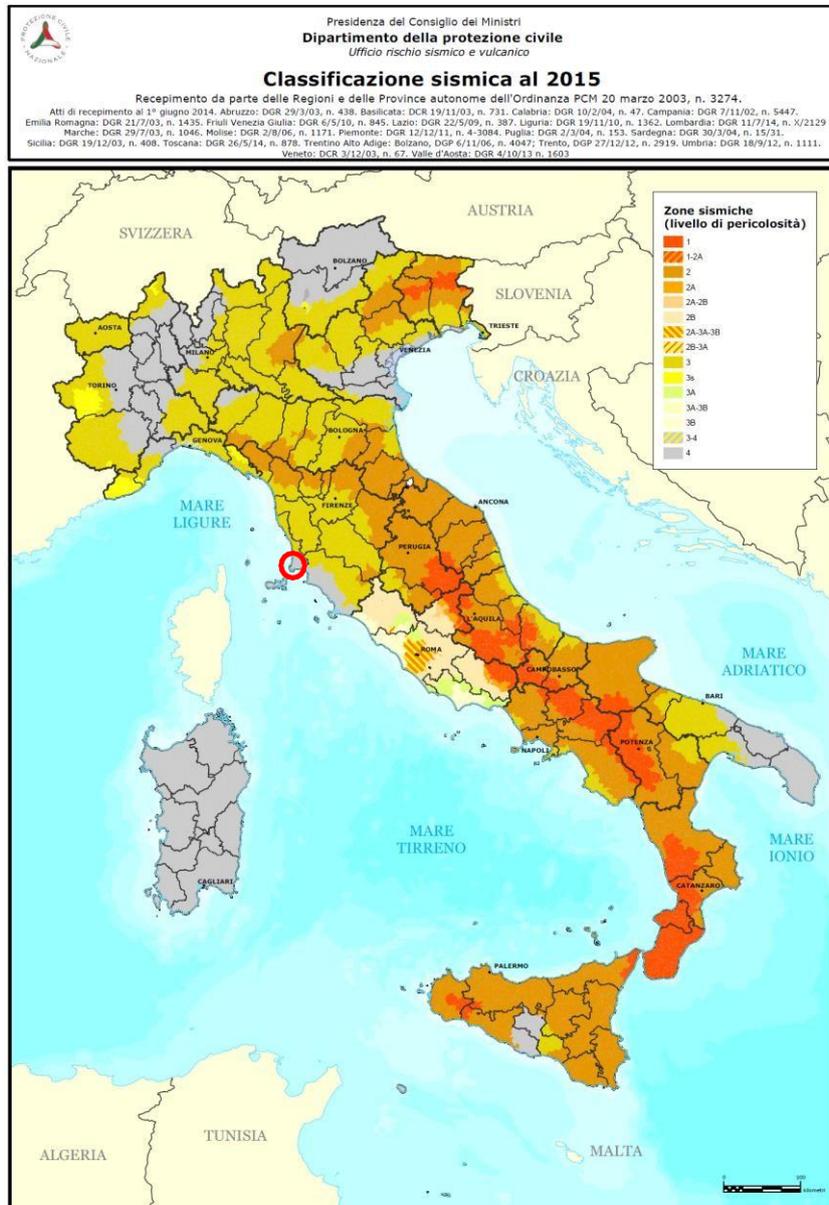
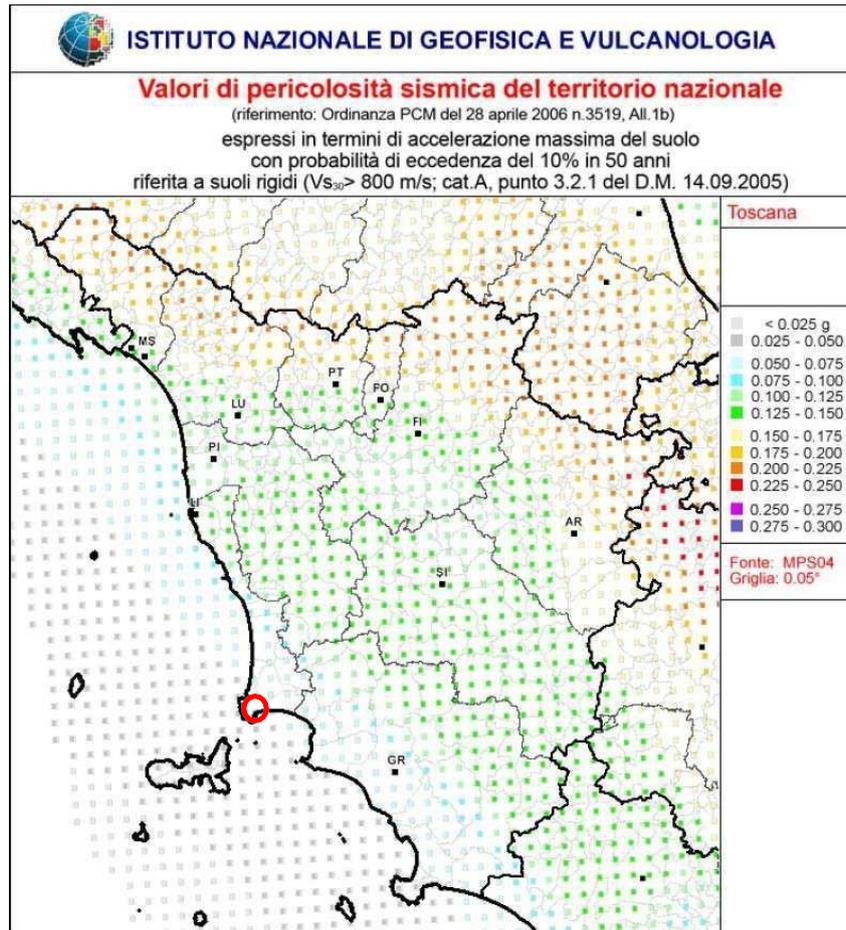


Figura 17: Classificazione sismica nazionale, su scala regionale e provinciale aggiornata a Marzo 2015 (cerchio rosso = area in esame).

Il Comune di Piombino, nel cui territorio ricade l'opera in progetto, era stato inizialmente inserito in categoria N.C. secondo la proposta di classificazione GdL (1999).

È stato successivamente dichiarato appartenente alla Zona 4 secondo l'OPCM 3274/2003. L'accelerazione massima al suolo risulta $\leq 0.05g$, in accordo alla Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (INGV, 2004).

Di seguito si riporta la mappa dei valori di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi $V_{s,30} > 800$ m/s (categoria A) per la Regione Toscana e per il Comune di Piombino. Come si evince dalla mappa, il Comune di Piombino presenta valori di $a_g \leq 0.05g$.



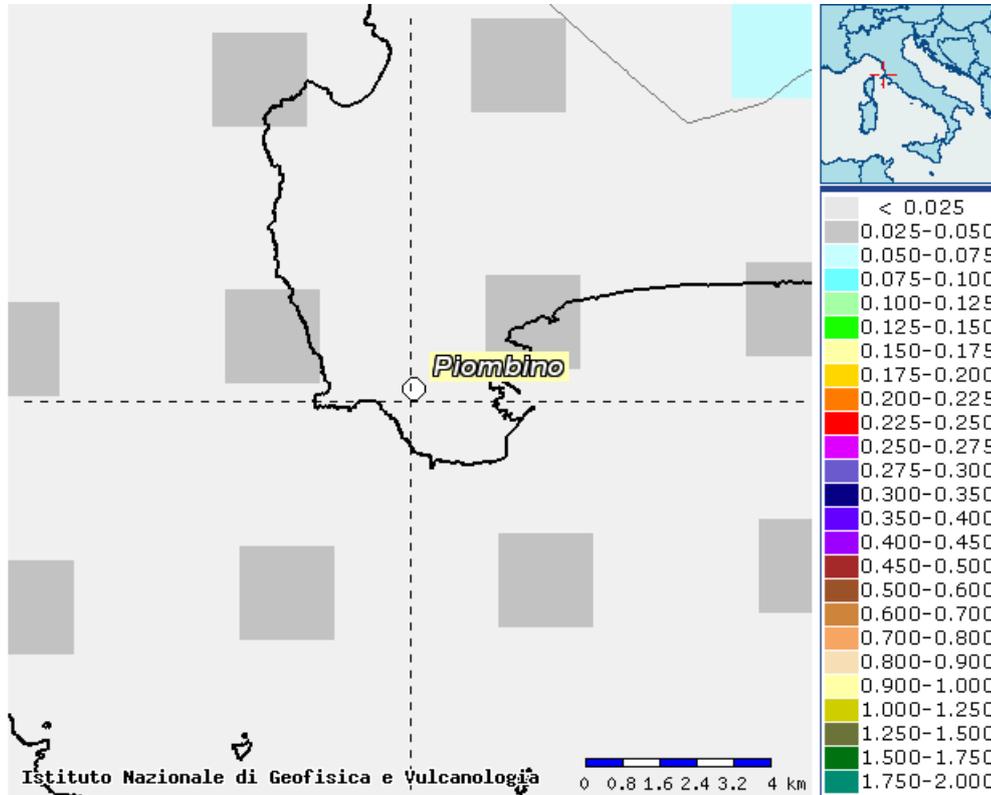


Figura 18 - Valori di a_g del Comune di Piombino (INGV).

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 Gennaio 2008 e, in seguito, con il suo aggiornamento con D.M. 17 Gennaio 2018, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella Tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 17 Gennaio 2018).

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto amministrativo, per la gestione di pianificazione e di controllo dello stesso.

Il valore dell' accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni è stata ricavata anche attraverso il foglio Excel "Spettri-NTC ver. 1.0.3", disponibile on-line sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, facendo riferimento agli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 10,5231 LATITUDINE: 42,9358

Ricerca per comune REGIONE: Toscana PROVINCIA: Livorno COMUNE: Piombino

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="60"/>		
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>		
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>		
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>		

Elaborazioni

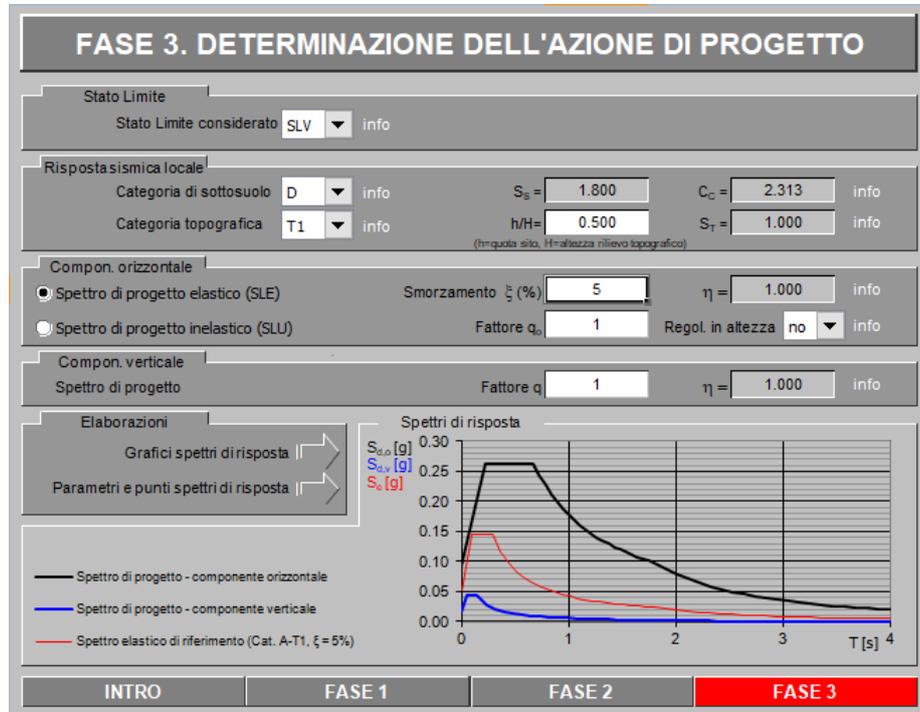
- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Strategia di progettazione

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.026	2.698	0.195
SLD	101	0.030	2.756	0.212
SLV	949	0.051	2.845	0.292
SLC	1950	0.059	2.911	0.303

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} , con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), ad una categoria di sottosuolo D (rappresentativa del sottosuolo lungo quasi tutto il tracciato di progetto) e ad una categoria topografica T1, è data da:

$$a_{max} = a_g * S$$

dove $S = S_T * S_S$

dove $a_g = 0.051$, $S_S = 1.800$ e $S_T = 1.0$

$$a_{max} = 0.051 * 1.800 * 1.0 = 0.092$$

9.4 VELOCITÀ SISMICA EQUIVALENTE $V_{S,eq}$ E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale, si valuta mediante specifiche analisi (cap. 7.11.3 delle NTC2018), oppure si può fare riferimento all'approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S .

Nello specifico, ai fini della classificazione del sottosuolo, con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, si fa riferimento alla $V_{S,eq}$, velocità equivalente delle onde di taglio, e non più alla $V_{S,30}$ (NTC2008).

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dalla seguente espressione:

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

con

h_i = spessore dello strato i-esimo;

$V_{S,i}$ = 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 le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità viene riferita al piano di imposta della fondazione.

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 per le quali è possibile il ricorso all'approccio semplificato, secondo le NTC2018; nella determinazione della risposta sismica locale sono le seguenti:

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s 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.

Nel progetto in esame sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche che hanno consentito di valutare la velocità delle onde S, V_s :

- Campagna 2007 - Sondedile Srl - - Cross Hole SD04
- Campagna 2010 - Progeo srl – CPT – D2
- Campagna 2017 – DIMMS Srl - Down Hole SA01
- Campagna 2017 – DIMMS Srl -Down Hole SA03
- Campagna 2017 – DIMMS Srl -Down Hole SA05

Le sopraelencate indagini, originalmente interpretate secondo i dettami delle NTC2008 sono state verificate e reinterpretate secondo i dettami delle NTC2018. Le indagini eseguite nella campagna 2010 e 2017 hanno confermato l'originale interpretazione, mentre, per quanto riguarda la prova Cross Hole eseguita nel 2007 (SD04-CH), la presenza di un substrato sismico con V_s maggiore di 800 m/s entro i 30 metri dal p.c. ha reso necessario reinterpretare la classificazione con modifica della categoria che è passata da S2 a E.

Nella tabella che segue si riassumono i risultati delle indagini sopradescritte.

PROSPEZIONE	VsEquivalente	Classificazione s secondo NTC 14/01/2008	Classificazione s secondo NTC 17/01/2018
SA01 DH-2017	Vs,eq = 273 m/s	C	C
SA03 DH-2017	Vs,eq = 204 m/s	C	C
SA05 DH-2017	Vseq = 197 m/s	C	C
CPT-D2 --2010	Vseq = 200 m/s	D	D
SD04CH--2007	Vseq = 200 m/s	S2	E

Tabella 6: Categorie di sottosuolo secondo le NTC2018 lungo l'asse di progetto

In corrispondenza dei tre sondaggi realizzati nel 2017 (SA01, SA03 e SA05) sono state eseguite tre prospezioni sismiche a rifrazione sia in onde P che in onde S (SR1-SR2-SR3). I valori delle V_S rilevati hanno confermato complessivamente la categoria di suolo C emersa dalle prove Cross Hole eseguite nei sondaggi.

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di modeste irregolarità della successione V_S – profondità in termini di crescita delle velocità V_S proporzionalmente alla profondità. Le indicazioni del paragrafo 2.5.2.1 delle Linee guida "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Protezione Civile Nazionale, Presidenza del Consiglio Dei Ministri, Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Settembre 2008) prevedono che, per potersi considerare inversione di velocità sismica, si debbano verificare contemporaneamente le seguenti due condizioni:

- il rapporto di V_S tra il terreno rigido sovrastante e il terreno meno rigido deve essere > 2 .
- la V_S dello strato rigido superiore deve essere > 500 m/s.

Da quanto sopra esposto, considerando che nei casi in esame non si verificano entrambe le condizioni, si evince che, nonostante le ondulazioni della successione V_S – profondità riscontrate nel modello sismostratigrafico del sito in esame, si può ammettere una sostanziale regolare crescita delle velocità delle onde S con la profondità come richiesto dalle NTC.

Per quanto riguarda l'analisi della risposta sismica locale in relazione alle condizioni topografiche del sito, le NTC2018 prevedono la seguente suddivisione in categorie topografiche.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 – Categorie Topografiche (Tab. 3.2.III D.M. 17/01/2018)

RELAZIONE GEOLOGICA

Dall'analisi morfologica emerge che il sito rientra nella categoria T1. In funzione delle categorie topografiche sopradescritte e dell'ubicazione dell'opera sono stati definiti i valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 7 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V D.M. 17/01/2018)

Dalla soprastante tabella emerge che per il sito in questione si può adottare $S_T=1.0$.

L'intera tratta in progetto ricade nella categoria Topografica T1 "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°".

La classe di costruzione di riferimento è la classe IV "Funzioni pubbliche o strategiche importanti" per la quale il coefficiente d'uso C_U è pari a 2 e la Vita Nominale V_N è stata assunta pari a 50 anni.

10 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la redazione del progetto esecutivo sono state considerate le indagini eseguite nella fase precedenti di progettazione, nonché i risultati dell'ultima campagna di indagine realizzata nell'aprile 2017. La posizione di tutte le indagini eseguite è indicata nella apposita Carta di Ubicazione delle Indagini.

Le varie campagne realizzate sono le seguenti:

- Raccolta di Indagini Bibliografiche (anni 1980-1994);
- Indagini di Progetto Preliminare (2007);
- Indagini di Progetto Definitivo (2010);
- Indagini per la redazione del Progetto Definitivo (2017);

La documentazione relativa ai sondaggi, alle prove penetrometriche, alle campagne sismiche, alle prove di permeabilità in sito, alle misure piezometriche, a quelle inclinometriche ed alla campagna di prove di laboratorio, contenuti nei relativi allegati al rapporto tecnico sulle indagini, sono riportate nei seguenti elaborati di progetto

Codice Elaborato	Nome elaborato
T00-GE00-GEO-RE03	Indagini geognostiche pregresse: Stratigrafie
T00-GE00-GEO-RE04	Indagini geognostiche pregresse: Prove di laboratorio
T00-GE00-GEO-RE05	Indagini geognostiche pregresse: Indagini geofisiche
T00-GE00-GEO-RE06	Indagini geognostiche 2017: Stratigrafie
T00-GE00-GEO-RE07	Indagini geognostiche 2017: Prove in sito
T00-GE00-GEO-RE08	Indagini geognostiche 2017: Prove di laboratorio
T00-GE00-GEO-RE09	Indagini geognostiche 2017: Indagini geofisiche
T00-GE00-GEO-RE010	Indagini geognostiche 2017: Analisi chimiche

Si specifica che sono state selezionate solo le prove realizzate nell'area di interesse e quelle ritenute più significative per la definizione del modello geologico strutturale e geotecnico. Di seguito si sintetizzano le prove realizzate durante le varie campagne, che sono descritte in modo completo nel Report delle indagini geognostiche, a cui si rimanda.

10.1 INDAGINI BIBLIOGRAFICHE

Le indagini pregresse, eseguite tra gli anni 1980 e 2007, sono state ottenute dalle seguenti fonti:

- Database geognostico del Circondario Val di Cornia
- Lucchini Piombino S.p.A.: indagini varie eseguite con finalità geotecniche: stratigrafie di sondaggio e prove penetrometriche statiche realizzate in periodi differenti ed in varie zone dell'ex area siderurgica.
- Lucchini Piombino S.p.A.: (2007) Indagini eseguite con finalità chimico-ambientali, costituite da stratigrafie di sondaggi poco profondi, da dati piezometrici e da analisi chimiche condotte sui terreni e sulle acque di falda.

Sondaggio	Anno	Profondità (m da p.c.)
M-S1	1980	40
M-S2	1980	35.5
S2IR	1994	20
S10	2005	5
S4	2005	6
S5	2005	4.5
S8	2005	4.5
PZ-01	2007	3.5
PZ-02	2007	2.3
PZ10	2007	sconosciuta
PZ96	2007	6.5
PZ98	2007	6
PZ99	2007	7.5
PZ100	2007	6
PZ101	2007	6
PZ102	2007	6.5
PZ104	2007	6.5
PZ107	2007	6

PZ110	2007	6
PZ111	2007	6
PZ114	2007	6
PZ118	2007	6
PZ128	2007	5
PZ129	2007	sconosciuta
S771	2007	5
S772	2007	5
S827	2007	4.5
A657	sconosciuto	sconosciuta
S602	sconosciuto	sconosciuta
MS3	sconosciuto	sconosciuta

Sondaggi Bibliografici (1980 – 2007).

10.2 CAMPAGNA DI INDAGINE PROGETTO PRELIMINARE 2007 (SPEA)

Nell'ambito della progettazione preliminare, sono state eseguite nel periodo Aprile - Giugno 2007 delle indagini geognostiche realizzate su un tracciato ben più lungo rispetto all'attuale, compreso tra la SS 398 e l'attuale Porto di Piombino, per un lunghezza in assedi circa 5 km.

In particolare sono stati eseguiti:

- n. 6 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (SP01, SP02, SP03, SP04, SP05, SP07) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - n. 11 prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - n. 17 campioni indisturbati;
 - n. 30 campioni rimaneggiati;
- n. 2 pozzetti esplorativi (Pz01, Pz02), nell'ambito dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - n. 2 prove di carico su piastra;
 - n. 7 campioni rimaneggiati;

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2007, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- **prove di classificazione:**
 - analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 - limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
 - contenuto naturale d'acqua;

- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;
- **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**
 - prove di compressione monoassiale (*ELL*);
 - prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);
 - prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
 - prove di taglio diretto (*TD*);
 - prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

10.3 CAMPAGNA DI INDAGINE 2010-2012 (SPEA)

La campagna di indagine realizzata per la redazione del progetto definitivo è consistita nell'esecuzione di una prima campagna di indagini, tra novembre 2010 e febbraio 2011, per la prima emissione del progetto definitivo e di una integrativa, realizzata nel novembre 2011 per investigare un tratto di variante all'inizio del tracciato. In particolare, sono stati eseguiti:

- n. 8 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (*SD01, SD01bis, SD02, SD03, SD04, SD05, SD06, SE01*) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - 80 prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - 25 campioni indisturbati;
 - 39 campioni rimaneggiati;
- n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (*CPTE1, CPTE2, CPTE3*);
- n. 4 prove dilatometriche con punta piatta tipo "Marchetti";
- n. 1 prova con cono sismico, realizzata nell'ambito della verticale penetrometrica CPTE2.
- N. 2 pozzetti esplorativi (*PzD01, PzD02*), all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - 2 prove di carico su piastra;
 - 7 campioni rimaneggiati;
- n. 1 prospezione sismica "Cross-Hole" in corrispondenza del sondaggio SD04.

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2010-2012, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- **Prove di classificazione:**
 - analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 - limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
 - contenuto naturale d'acqua;
 - peso di volume naturale;

- peso specifico dei grani;
- **Prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**
 - prove di compressione monoassiale (ELL);
 - prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
 - prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (TX-CIU);
 - prove di taglio diretto (TD);
 - prove edometriche ad incrementi di carico (ED-IL).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- Analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico).

10.4 CAMPAGNA DI INDAGINE 2017- DIMMS

La campagna di indagine attivata per la redazione del progetto definitivo è consistita nella realizzazione di:

- n. 5 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (SA1DH, SA2PZ, SA3DH, SA4PZ, SA5DH) all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - 21 prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - 31 campioni indisturbati;
 - 10 campioni rimaneggiati;
- n. 3 sismiche a rifrazione in onde P e SH e n. 3 prove geofisiche Down-Hole (SA1DH, SA3DH, SA5DH).
- n. 8 prove penetrometriche statiche con misura delle pressioni neutre (CPTU1, CPTU2, CPTU2bis, CPTU3, CPTU4, CPTU5, CPTU6, CPTU7).
- analisi chimiche sui campioni prelevati dai pozzetti e sondaggi in particolare: caratterizzazione sul tal quale e test di cessione, valutazione dell' aggressività dei terreni al calcestruzzo.

Le tabelle seguenti riassumono le caratteristiche principali dei sondaggi con i risultati delle relative prove in situ.

Sondaggio / Prova	Profondità m da p.c.	Strumentazione
SA1DH	30	Tubo in PVC per Down Hole
SA2PZ	40.5	Pz. Tubo aperto 40.5 m
SA3DH	45	Tubo in PVC per Down Hole
SA4PZ	40	Pz. Tubo aperto 40 m
SA5DH	46.5	Tubo in PVC per Down Hole

Tabella 10.1 – Sondaggi eseguiti nelle indagini integrative 2017

RELAZIONE GEOLOGICA

Sondaggio	Tipo	da	a	N _{SPT}
		m	m	Colpi/piede
SA1DH	punta aperta	3.2	3.65	0
SA1DH	punta aperta	6.3	6.75	14
SA1DH	punta aperta	8.6	9.05	25
SA1DH	punta aperta	12.5	12.95	18
SA2PZ	punta aperta	2.3	2.75	5
SA2PZ	punta aperta	6	6.45	7
SA2PZ	punta aperta	9	9.45	21
SA2PZ	punta aperta	12	12.45	21
SA2PZ	punta aperta	20	20.45	28
SA2PZ	punta aperta	25	25.45	45
SA3DH	punta aperta	1.5	1.95	87
SA3DH	punta aperta	21	21.45	28
SA3DH	punta aperta	28.2	28.65	12
SA3DH	punta aperta	29.7	30.15	40
SA3DH	punta aperta	31.3	31.75	78
SA4PZ	punta aperta	27.5	27.95	31
SA5DH	punta aperta	5	5.45	35
SA5DH	punta aperta	27	27.45	24
SA5DH	punta aperta	28	28.45	34
SA5DH	punta aperta	31.55	32	44
SA5DH	punta aperta	36	36.45	63

Tabella 10.2 – Prove SPT – indagini 2017.

I sondaggi **SA1DH** e **SA2 PZ** incontrano le arenarie di Suvereto rispettivamente a profondità di 18 e 34 metri. Di seguito vengono riportati i valori di RQD misurati che variano tra 0 e 72% con valore medio pari a 45%.

Sondaggio	da	a	RQD
	m	m	%
SA1DH	18	19	46
SA1DH	19	20	14
SA1DH	20	21	49
SA1DH	21	22	49
SA1DH	22	23	40
SA1DH	23	24	30
SA1DH	24	25	30
SA1DH	25	26	72
SA1DH	26	27	72

RELAZIONE GEOLOGICA

SA1DH	27	28	0
SA1DH	28	29	50
SA1DH	29	30	33
SA2PZ	34	35	52
SA2PZ	35	36	50
SA2PZ	36	37	61
SA2PZ	37	38	33
SA2PZ	38	39	60
SA2PZ	39	40	60
SA2PZ	40	40.5	60

Tabella 10.3 – valori di RQD nei sondaggi SA1DH e SA2PZ.

Prova	Anno	Profondità	D _{plastra}	M _{d1}	M _{d2}	M _{d1} /M _{d2}
		m	mm	MPa	MPa	
PZA1	2017	-0.15	300	15	52	0.29
PZA2	2017	-0.15	300	11	29	0.38
PZA3	2017	-0.2	300	15	21	0.71
PZA4	2017	-0.15	300	17	23	0.74
PZA5	2017	-0.3	300	28	71	0.39
PZA6	2017	-0.3	300	8	17	0.47
PZA7	2017	-0.3	300	77	167	0.46
PZA8	2017	-0.2	300	33	40	0.83
PZA9	2017	-0.2	300	167	250	0.67
PZA10	2017	-0.2	300	40	48	0.83
PZA11	2017	-0.2	300	30	41	0.73

Nella tabella seguente si riportano le prove CPTU realizzate

Prova	Profondità
	m
CPTU1	13.1
CPTU2	4.78
CPTU2bis	20
CPTU3	12.22
CPTU4	27.42
CPTU5	32
CPTU6	17.72
CPTU7	27.88

Durante la loro esecuzione sono state eseguite prove di dissipazione i cui risultati sono riassunti nella tabella di seguito

Codice	Prova n°	Profondità da p.c	k_h/k_v	α (Mitchell 1978)	c_h	k
		m			cm ² /min	m/s
CPTU1	D1	10.1	1	4	0.27	5.96E-10
CPTU2	D1	10	1	0.4	14.33	1.47E-07
CPTU2	D2	15.06	1	0.4	3.73	3.00E-08
CPTU2	D3	20	1	1	0.32	2.58E-09
CPTU3	D1	10.1	1	3	5.32	1.07E-08
CPTU4	D1	10	1	2	0.27	3.55E-09
CPTU4	D2	15	1	4	0.39	5.59E-10
CPTU4	D3	20	1	4	0.7	1.01E-09
CPTU4	D4	25	1	4	0.75	1.74E-09
CPTU5	D1	10	1	2	3.11	3.04E-08
CPTU5	D2	15	1	4	0.53	2.67E-09
CPTU5	D3	20	1	2	0.16	1.14E-09
CPTU5	D4	25	1	0.5	1.86	n.d
CPTU6	D1	10	1	5	0.93	n.d
CPTU6	D2	15	1	5	0.16	6.60E-10
CPTU7	D1	16.02	1	0.5	18.63	6.74E-07
CPTU7	D2	19		4	0.17	9.85E-10
CPTU7	D3	24.9		0.5	5.32	1.82E-07

Codice	Prova n°	Profondità da p.c	k_h/k_v	α (Mitchell 1978)	c_h	k
		m			cm ² /min	m/s
CPTU1	D1	10.1	1	4	0.27	5.96E-10
CPTU2	D1	10	1	0.4	14.33	1.47E-07
CPTU2	D2	15.06	1	0.4	3.73	3.00E-08
CPTU2	D3	20	1	1	0.32	2.58E-09
CPTU3	D1	10.1	1	3	5.32	1.07E-08

Sono inoltre state effettuate 3 indagini geofisiche di sismica a rifrazione (*SR1*, *SR2*, *SR3*). Nei sondaggi *SA2PZ* e *SA4PZ* sono stati installati piezometri a tubo aperto della profondità di 40 m. Sono infine stati realizzati pozzetti esplorativi (*PzA1÷PzA13*) della profondità massima di 3 m all'interno dei quali sono state eseguite 11 prove di carico su piastra (*PzA1÷PzA11*).

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2017, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- **prove di classificazione:**
 - analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 - limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
 - contenuto naturale d'acqua;
 - peso di volume naturale;
 - peso specifico dei grani;
- **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**

RELAZIONE GEOLOGICA

- prove di compressione monoassiale (ELL);
- prove triassiali consolidate drenate (TX-CID);
- prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (TX-CIU);
- prove di taglio diretto (TD);
- prove edometriche ad incrementi di carico (ED-IL).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- prove di taglio diretto (TD).

sondaggi o	campion e	da m	a m	Granulometria (ASTM D422)				Limiti di Atterberg (ASTM D4318 D4943)				
				ghiaia %	sabbia %	limo %	argilla %	W _L %	W _P %	I _P %	I _c	I _A
SADH1	C1	2.7	3	2	48	23	27	36	18	18.1	0.78	0.67
SADH1	C2	5.1	5.6	11	28	31	30	34	16.7	16.9	0.76	0.56
SADH1	C3	8	8.6	0	17	32	51	37	19.3	19.8	0.78	0.38
SADH1	C4	13.5	14	6	47	28	19	26	10.5	10.7	0.56	0.57
S2APZ	C1	4	4.5	2	48	22	28	36	1	18	0.78	0.64
S2APZ	C2	7.4	7.9	20	32	31	17	25	1	13	0.43	0.76
S2APZ	C3	10.7	11.2	0	23	29	48	44	1	25.2	0.87	0.53
S2APZ	C4	15	15.6	4	19	45	32	52	1	35	0.83	1.1
S2APZ	C5	18	18.5	1	13	63	23	52	1	35	0.66	1.53
S2APZ	C6	22.5	23	1	51	23	25	29	1	14.6	0.62	0.58
S2APZ	C7	27	27.6	1	64	22	13	27	1	13.5	0.69	1.04
S2APZ	C8	30	30.6	3	28	30	39	40	2	24.2	1.13	0.62
SA3DH	C1	3.8	4	2	66	80	12	34	2	12	0.31	1.01
SA3DH	C2	6	6.5	14	9	63	14	38	2	14	0.27	1
SA3DH	C3	8	8.5	4	12	63	21	33	4	32.1	0.25	1.53
SA3DH	C4	12	12.7	1	4	33	62	66	3	33.9	0.67	0.55
SA3DH	C5	16.5	17.2	1	5	42	53	60	3	27.3	0.56	0.52
SA3DH	C6	22.6	23.2	1	3	42	55	32	1	14.8	0.82	0.58

RELAZIONE GEOLOGICA

SA3DH	CR1	29.4	29.6	14	39	28	19	31	17	13.3	0.94	0.7
SA3DH	CR2	39.4	39.6	13	39	28	20	31	19	11.8	0.6	0.59
SA4PZ	CI1	4	4.6	0	16	60	24	33	21	12	0.33	0.5
SA4PZ	CI2	6.9	7.6	16	17	44	23	60	35	25.6	0.27	1.11
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	1	50	34	64	78	33	45.3	0.33	0.71
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	0	13	61	88	68	31	36.5	0.44	0.54
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	0	15	44	54	54	26	27.4	0.46	0.61
SA4PZ	CI6	25	26.7	1	32	54	44	43	33			
SA4PZ	CR1	31	31.4	0	20	50	30	39	22	16.9	1.1	0.56
SA4PZ	CR2	38.6	39	11	62	15	27	21	6	10.4	0.51	0.87
SA5DH	CI1	6.2	6.8	0	10	50	49	66	32	33.8	0.9	0.69
SA5DH	CI2	9	9.6	6	13	60	21	65	39	26.1	0.36	1.24
SA5DH	CI3	12	12.6	1	12	29	69	71	34	37.2	0.28	0.54
SA5DH	CI4	15	15.6	0	0	48	52	63	33	29.7	0.31	0.57
SA5DH	CI5	18	18.6	0	0	42	81	61	29	32.3	0.67	0.56
SA5DH	CI6	21	21.6	1	15	44	47	47	24	22.5	0.77	0.51
SA5DH	CI7	24	24.6	9	0	57	44	52	5	27	0.94	0.79
SA5DH	CR1	35.5	36	25	16	33	26	37	21	15.1	1.25	0.58
SA5DH	CR2	46	46.2	24	24	31	21	41	8	23.5	1.15	1.12
PzA1	CR1	0.3	0.8	0	8	8	4	0	3	17.2	-	0.72
PzA1	CR2	0.8	1.3	0	12	65	37	31	9	17.9	-	0.78
PzA2	CR1	0.3	0.8	1	18	42	39	44	21	20.3	-	0.52
PzA2	CR2	0.8	1.3	5	17	43	56	40	0	26	-	0.74
PzA3	CR1	0.3	0.8	26	28	30	16	34	18	15.4	-	0.96
PzA3	CR2	0.8	1.3	17	24	33	62	37	1	14.6	-	0.91
PzA4	CR1	0.3	0.8	27	32	8	13	71	1	16.2	-	1.25
PzA4	CR2	0.8	1.3	46	26	53	17	38	22	15.3	-	0.9
PzA5	CR1	0.3	0.8	61	29	7	3	35	25	9.5	-	3.16
PzA5	CR2	0.8	1.3	48	19	28	5	37	9	17.6	-	3.51
PzA6	CR1	0.3	0.8	6	3	1	3	3	3	4.5	-	-

RELAZIONE GEOLOGICA

				0	0	0	5	5	1			
PzA6	CR2	0.8	1.3	6 5	3 5	0		-	-	-	-	-
PzA7	CR1	0.3	0.8	5 9	3 0	9	2	-	-	-	-	-
PzA7	CR2	0.8	1.3	4 8	4 0	1 0	2	-	-	-	-	-
PzA8	CR1	0.3	0.8	4 2	5 1	7		-	-	-	-	-
PzA8	CR2	0.8	1.3	5 1	4 0	9		-	-	-	-	-
PzA9	CR1	0.3	0.8	4 8	4 1	1 0	1	-	-	-	-	-
PzA9	CR2	0.8	1.3	4 9	3 9	1 1	1	-	-	-	-	-
PzA10	CR1	0.3	0.8	4 5	3 5	1 8	2	2 5	2 4	4.2	-	-
PzA10	CR2	0.8	1.3	6 7	2 7	6		-	-	-	-	-
PzA11	CR1	0.3	0.8	4 9	3 5	1 6	0	-	-	-	-	-
PzA11	CR2	0.8	1.3	5 2	3 7	1 0	1	-	-	-	-	-

Tabella 10.4: Granulometrie e limiti di Atterberg-indagini 2010/2011.

sondaggio	campione	da	a	TD ASTM	
		m	m	c' kPa	ϕ' °
SADH1	CI3	8	8.6	23.71	21.55
SA3DH	CR1	29.4	29.6	15.13	27.38
SA3DH	CR2	39.4	39.6	13.33	28.34
SA4PZ	CR1	31	31.4	20.18	23.82
SA4PZ	CR2	38.6	39	10.35	28.06
SA5DH	CR1	35.5	36	20.14	25.1
SA5DH	CR2	46	46.2	18.61	26.62

Tabella 10.5: Prove di taglio diretto secondo norme ASTM D 3080 indagini 2017

sondaggio	campione	da	a	c_v	k	c_a
		m	m	cm ² /s	m/s	kN/m ²
SA1DH	CI1	2.7	3			
SA1DH	CI2	5.1	5.6			
SA1DH	CI3	8	8.6			
SA1DH	CI4	13.5	14	4.60e-04	7.47e-11	1.60e-03
S2APZ	CI1	4	4.5			
S2APZ	CI2	7.4	7.9			
S2APZ	CI3	10.7	11.2			
S2APZ	CI5	18	18.5			

RELAZIONE GEOLOGICA

S2APZ	CI7	27	27.6			
SA3DH	CI1	3.8	4	2.30e-03	5.73e-10	0.0026
SA3DH	CI2	6	6.5	1.35e-03	2.44e-10	0.0032
SA3DH	CI3	8	8.5	8.24e-05	1.86e-11	0.0048
SA3DH	CI4	12	12.7	2.01e-04	1.03e-10	0.0053
SA3DH	CI5	16.5	17.2	8.48e-04	1.81e-10	0.0046
SA3DH	CI6	22.6	23.2			
SA4PZ	CI1	4	4.6	1.10e-04	4.30e-10	0.004
SA4PZ	CI2	6.9	7.6	8.31e-04	5.37e-10	0.0078
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	2.48e-04	1.01e-10	0.0046
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	3.67e-04	1.59e-10	0.0047
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	6.37e-04	2.41e-10	0.0027
SA4PZ	CI6	25	26.7	4.85e-04	6.53e-10	0.0018
SA5DH	CI1	6.2	6.8			
SA5DH	CI2	9	9.6	1.30e-03	1.54e-09	0.0106
SA5DH	CI3	12	12.6	2.24e-04	1.27e-10	0.0049
SA5DH	CI4	15	15.6	2.51e-04	1.19e-10	0.0058
SA5DH	CI5	18	18.6	3.00e-04	1.1e-10	0.0039
SA5DH	CI6	21	21.6	1.92e-03	6.97e-10	0.0018
SA5DH	CI7	24	24.6			

Tabella 10.6: Prove edometriche-indagini 2017.

sondaggio	campione	da	a	prova compressione triassiale CD (racc. AGI)		
		m	m	c' kPa	ϕ' °	c_u kPa
SADH1	CI1	2.7	3	21.5	19.5	-
SADH1	CI4	13.5	14	-	-	54.1
S2APZ	CI1	4	4.5	18.8	23.8	-
S2APZ	CI2	7.4	7.9	-	-	61.1
S2APZ	CI3	10.7	11.2	-	-	87.5
S2APZ	CI4	15	15.6	19.3	24	-
S2APZ	CI5	18	18.5	-	-	50.5
S2APZ	CI6	22.5	23	20.7	25	-
S2APZ	CI7	27	27.6	14.7	27	-
S2APZ	CI8	30	30.6	20.02	23	-
SA3DH	CI1	3.8	4	-	-	44
SA3DH	CI2	6	6.5	-	-	42.5
SA3DH	CI3	8	8.5	14.8	27.7	-
SA3DH	CI4	12	12.7	-	-	41.4
SA3DH	CI5	16.5	17.2	-	-	52.2
SA3DH	CI6	22.6	23.2	13.5	26.4	-
SA4PZ	CI1	4	4.6	-	-	44.9

SA4PZ	CI2	6.9	7.6	-	-	62.3
SA4PZ	CI3	10.5	11.2	22.2	24.1	-
SA4PZ	CI4	13.5	14.2	-	-	64.2
SA4PZ	CI5	18.7	19.4	-	-	74
SA4PZ	CI6	25	26.7	28.8	26.7	-
SA5DH	CI1	6.2	6.8	-	-	48.5
SA5DH	CI2	9	9.6	-	-	41
SA5DH	CI3	12	12.6	18.1	25.6	-
SA5DH	CI4	15	15.6	-	-	61
SA5DH	CI5	18	18.6	28.2	25.2	-
SA5DH	CI6	21	21.6	-	-	82.7
SA5DH	CI7	24	24.6	-	-	95.8

Tabella 10.7: Prove di compressione triassiale terreni-indagini 2017

sondaggio	provino	da	a	massa volumica	comp.monoassiale
		m	m	kN/m ³	MPa
SA1DH	CL1	20.4	20.7	25.95	60.3
SA1DH	CL2			25.86	40.52
SA1DH	CL3			25.66	42.66
SA5DH	CL1	42.8	43	26.72	29.09

Tabella 10.8: Prove di compressione monoassiale su campioni di roccia-indagini 2017

Infine nella tabella seguente sono raccolte indagini geofisiche realizzate nell'ambito della campagna 2017.

Codice	Tipo	Lunghezza/Profondità	Spaziatura intergeofonica
		m	m
SR1	Rifrazione	192	8
SR2	Rifrazione	192	8
SR3	Rifrazione	192	8
SA1-DH	Down Hole	30	1
SA3-DH	Down Hole	45	1
SA5-DH	Down Hole	46	1

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati con 24 canali di acquisizione tramite geofoni sia verticali che orizzontali utilizzando 7 punti di energizzazione mediante battitura con mazza da 8 kg. Il sismografo utilizzato è di marca Geometrics-Geode. Per le prove DH è stato utilizzato un geofono triassiale (xyz) calato all'interno di un foro rivestito con tubazione in PVC e opportunamente cementato.