



Società Autostrada Tirrenica p.A.
GRUPPO AUTOSTRADALE PER L'ITALIA S.p.A.

AUTOSTRADA (A12) : ROSIGNANO – CIVITAVECCHIA
LOTTO 5B

TRATTO: FONTEBLANDA – ANSEDONIA
PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA STRATEGICA DI PREMINENTE INTERESSE NAZIONALE

DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA D'INQUADRAMENTO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

| | | |
|---|--|---|
| IL GEOLOGO Dott. Vittorio Boerio Ord. Geo. Lombardia N. 794 RESPONSABILE UFFICIO GEO | IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Alessandro Alfì Ord. Ingg. Milano N. 20015 CAPO PROGETTO | IL DIRETTORE TECNICO Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 |
|---|--|---|

| WBS | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | | | DATA: | REVISIONE | |
|-----|-----------------------|----------|---------|--------|----------------------|----------------|------|--------------|-----------|------|
| | DIRETTORIO | | | FILE | | | | | n. | data |
| — | codice | commessa | N.Prog. | unita' | ufficio argomento | n. progressivo | Rev. | OCTOBRE 2016 | | |
| — | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | SCALA: — | | |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | |
|----------|--|--|--|-----------------------------|
| | COORDINATORE GENERALE INIZIATIVA SAT Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 CAPO COMMESA | | ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI : | Dott. Geol. Barbara Tognala |
| | CONSULENZA A CURA DI : | | ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : | |
| | | | IL RESPONSABILE UNITA' : | |

| | |
|--------------------------------------|---|
| VISTO DEL COMMITTENTE | VISTO DEL CONCEDENTE Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small> |
|--------------------------------------|---|

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE | 5 |
| 2.1 | RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI | 5 |
| 2.2 | ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU | 6 |
| 3 | INDAGINI GEOGNOSTICHE | 8 |
| 3.1.1 | <i>Indagini di progetto (PD 2015 - 2016)</i> | 8 |
| 3.1.2 | <i>Indagini pregresse</i> | 11 |
| 4 | GEOLOGIA | 15 |
| 4.1 | INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E TETTONICO GENERALE | 15 |
| 4.2 | ASSETTO STRUTTURALE | 20 |
| 4.2.1 | <i>Tettonica distensiva post collisionale</i> | 21 |
| 4.2.2 | <i>Tettonica compressiva pre e sin - collisionale</i> | 23 |
| 4.3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO | 23 |
| 5 | ELEMENTI DI SISMICA GENERALE E CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI | 34 |
| 5.1 | SIMITICITA' E NEOTETTONICA | 34 |
| 5.2 | SIMICITÀ STORICA (1000 - 1980) | 34 |
| 5.3 | SIMICITÀ STORICA (1000 - 2014) | 36 |
| 5.4 | SISMICITÀ STRUMENTALE (ISIDE 2005- 2016) | 39 |
| 5.5 | FAGLIE CAPACI | 40 |
| 5.6 | STRUTTURE SISMOGENETICHE | 41 |
| 5.7 | EVOLUZIONE RECENTE DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA | 44 |
| 6 | GEOMORFOLOGIA | 50 |
| 6.1 | METODOLOGIA | 50 |
| 6.2 | ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU | 51 |
| 6.3 | REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA | 51 |
| 6.4 | DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI. | 52 |
| 6.4.1 | <i>Forme di versante dovute alla gravità</i> | 53 |
| 6.4.2 | <i>Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali</i> | 55 |
| 6.4.3 | <i>Forme carsiche</i> | 57 |
| 6.4.4 | <i>Sinkhole</i> | 58 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.4.5 | <i>Forme strutturali</i> | 61 |
| 6.4.6 | <i>Forme di origine marina ed eolica</i> | 62 |
| 6.4.7 | <i>Forme antropiche</i> | 62 |
| 7 | COMPATIBILITÀ GEOMOFOLOGICA (VERIFICA PAI, IFFI, PSC) | 64 |
| 7.1 | PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO | 64 |
| 7.2 | CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA | 66 |
| 7.3 | DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE – UNIT OF MANAGEMENT OMBRONE (ITADBR093) – PROGETTO PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI | 66 |
| 7.4 | PIANO STRUTTURALE COMUNE DI ORBETELLO | 69 |
| 7.5 | PIANO STRUTTURALE COMUNE DI CAPALBIO | 76 |
| 7.6 | BANCA DATI ISPRA (SINK-HOLES) | 79 |
| 7.7 | INVENTARIO FENOMENI FRANOSI IN ITALIA (PROGETTO IFFI) | 81 |
| 8 | REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA | 83 |
| 9 | DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA DELL'AREA | 85 |
| 9.1 | COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ | 87 |
| 9.2 | DEPOSITI QUATERNARI | 88 |
| 9.3 | DEPOSITI NEOGENICI | 104 |
| 9.4 | UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURI | 104 |
| 9.5 | UNITÀ TETTONICHE TOSCANE | 108 |
| 10 | DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO | 115 |
| 10.1 | GEOLOGIA | 115 |
| 10.2 | GEOMORFOLOGIA | 117 |
| 11 | PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO | 120 |
| 12 | BIBLIOGRAFIA | 127 |

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione definitiva del Nuovo Corridoio Tirrenico A12, nel tratto compreso tra Fonteblanda (circa 2 km a nord) e lo svincolo di Ansedonia (circa 1,5 km a sud) lungo l'attuale tracciato della S.S. 1 Aurelia (Fig. 1).



Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area del lotto 5B, in blu l'asse del tracciato.

Il tracciato del lotto 5b in oggetto ricade prevalentemente nel comune di Orbetello e solo in parte nel comune di Capalbio. Lo studio è stato condotto su una fascia di territorio che si sviluppa per una lunghezza di circa 24 km ed un'ampiezza di circa 1 km a cavallo dell'attuale tracciato stradale.

Lo scopo del lavoro consiste nell'illustrare gli elementi geologici, strutturali, geomorfologici utili a focalizzare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dal tracciato oggetto di studio.

La relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità.

La presente relazione descrive quanto rappresentato negli elaborati geologici, geomorfologici, e nel profilo longitudinale geologico (scala 1:5000 e 1:5000/500) allegati al progetto.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione, la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico e i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere, delle non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Nei paragrafi successivi vengono elencate e descritte in dettaglio tutte le attività conoscitive svolte per la compilazione del presente studio. Gli aspetti idrogeologici sono trattati in una apposita relazione.

2.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

I dati sono stati raccolti dalle seguenti fonti:

- cartografia geologico - geomorfologica e relazione geologico - geomorfologica relativa alle fasi progettuali precedenti; fotografie aeree a colori realizzate nell'ambito degli studi per l'opera in progetto (CGR scala di circa 1:14.000);
- fotografie aeree relative ai voli 1976 EIRA in b/n alla scala approssimativa di 1:13.000;
- Università degli Studi di Firenze relativamente alle seguenti tematiche:
 - Carta Geologica Nazionale in scala 1:100.000. Letteratura relativa alla caratterizzazione geologica, strutturale, litologica ed idrogeologica dell'area in oggetto, come riportato in bibliografia;
 - Cartografia geologica: Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, 1982;
 - articoli in bibliografia.
- Regione Toscana:
 - carte geologiche in scala 1:10.000 realizzate nell'ambito del progetto di cartografia geologica della Regione Toscana - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Cartoteca Regione Toscana);
 - censimento delle cavità carsiche (in collaborazione con la Federazione Speleologica Toscana) (Cartoteca e Geoscopio Regione Toscana);
 - Progetto Piano di Gestione Rischio alluvioni: Distretto Appennino Settentrionale;
 - Banca Dati Consorzio Lamma;

- Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone
- Comuni di Orbetello e Capalbio: consultazione della cartografia geologico-geomorfologica ed idrogeologica disponibile a supporto degli strumenti urbanistici (Piani Strutturali);
- Consorzio di Bonifica Osa - Albegna e Consorzio di Bonifica Grossetana relativamente alle problematiche idrauliche;
- Sito internet dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV) relativamente agli aspetti sismici dell'area;
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 1000 - 2014 (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>)
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) - Database Macrosismico Italiano dal 1000 al 2014 - <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>;
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) – Database parametrico e strumentale della sismicità italiana - ISIDE;
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3.2 (Database of Individual Seismogenic Sources);
- Prevenzione del Rischio Sismico: Classificazione Sismica Regionale (Regione Toscana) - <http://www.regione.toscana.it/-/classificazione-sismica-della-toscana>;
- Protezione Civile: Classificazione sismica nazionale (aggiornamento 2015);
- ISPRA Ambiente: Catalogo Faglie Capaci (Progetto ITHACA), Baca Dati Sink – Holes
- Banca dati Inventario Fenomeni Franosi (IFFI) - SINAnet

2.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU

Per la redazione del presente documento sono state eseguite le seguenti attività in sito:

- rilevamento geologico e geomorfologico;
- analisi diretta del materiale carotato nel corso dei sondaggi (campagne 2010 e 2015-2016);

- verifica di dettaglio dei limiti geologici sulla base dei dati emersi della campagna di indagini geognostiche e della geomorfologia sulla base delle evidenze scaturite dalla fotointerpretazione.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la progettazione delle opere in argomento, sono stati consultati i risultati delle indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) realizzate lungo tutto il tratto di studio nelle diverse fasi progettuali oltre che di una serie di indagini bibliografiche reperite presso enti pubblici (Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana – BDSRI – Banca dati Consorzio Lamma, Banca Dati Geoscopio Regione Toscana, indagini finalizzate alla progettazione definitiva della Cassa di Camporeggio).

Nel mese di ottobre 2015 è stata attivata una campagna di indagini (indagini in sito e prove di laboratorio) specifica finalizzata alla realizzazione delle opere in argomento. La campagna è stata programmata in funzione del tipo di opera ed è tale da indagare compiutamente il volume di terreno significativo.

Tutte le indagini sono state ubicate in una apposita cartografia tematica allegata al progetto. I dati tecnici derivanti dalla documentazione geognostica sono sintetizzati di seguito. Si specifica che le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dagli ingegneri responsabili degli uffici opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (AEM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

3.1.1 Indagini di progetto (PD 2015 - 2016)

Indagini finalizzate alla progettazione definitiva dell'Autostrada A12 nel tratto oggetto del presente studio (Variante Orbetello 2016 – Tratto: Fonteblanda - Ansedonia)

Nel tratto in esame sono stati realizzati complessivamente n. 51 sondaggi geognostici dei quali 40 eseguiti a carotaggio continuo e 11 a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino ad un massimo di 50 m da p.c. inoltre, sono stati realizzati n. 14 pozzetti esplorativi superficiali con esecuzione di prove di carico su piastra, densità in sito e prelievo di campioni rimaneggiati da sottoporre a prove di laboratorio geotecniche ed ambientali, oltre a n. 7 scavetti realizzati con trivella maule finalizzati al solo prelievo di campioni ambientali.

Nei fori di sondaggio, sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon, prove pressiometriche, prove penetrometriche dinamiche SPT, sono stati prelevati campioni rimaneggiati e indisturbati, oltre che a campioni di acqua. I fori di sondaggio sono stati generalmente attrezzati con strumentazione piezometrica dedicata al monitoraggio della falda; in tre casi i fori sono stati predisposti per l'esecuzione di prove sismiche in foro tipo Cross – Hole è stato inoltre installato un tubo inclinometrico.

Sui campioni prelevati in sondaggio e in pozzetto sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio comprendenti prove fisiche e meccaniche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza e di compressibilità dei litotipi attraversati e prove di compattazione e portanza finalizzate al riutilizzo e recupero delle terre da scavo.

Sono state infine effettuate analisi chimico ambientali del terreno e dell'acqua di falda, in accordo alla normativa ambientale (DL 152/2006 e succ.).

Nell'area interessata dalla futura galleria artificiale "Orbetello" è stata realizzata una prova di pompaggio con gradini di lunga durata (72 ore) finalizzata alla caratterizzazione idrogeologica dell'area di studio.

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti:

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|-----------------|-----------------------------------|---|
| 5b-SD1 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 5b-SD1ter | 10 | non strumentato |
| 5b-SD2 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5b-SD3 | 25 | TA - cieco (0.00-11.50) finestrato (11.50-16.50) |
| 5b-SD3bis | 40 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-40.00) (dist 0-25 m) |
| 5b-SD4 | 20 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-9.00) |
| 5b-SD5 | 15 | inclinometro |
| 5b-SD6 | 23 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-23.00) |
| 5b-SD7 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5b-SD7bis | 35 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-35.00) |
| 5b-SD8 | 25 | TA - cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-25.00) |
| 5b-SD9 | 35 | TA - cieco (0.00-15.00) finestrato (15.00-35.00) |
| 5b-SD10 | 40 | TA - cieco (0.00-17.00) finestrato (17.00-40.00) |
| 5b-SD10bis | 15 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-15.00) (distruzione) |
| 5b-SD11 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 5b-SD11bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) - (distruzione di nucleo) |
| 5b-SD12 | 40 | TA: cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-18) n.1 Cella (40.00) |
| 5b-SD13 | 35 | TA: cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-18.5) n.1 Cella (25.00) |

| | | |
|--|----|--|
| 5b-SD14 | 25 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-25.00) |
| 5b-SD15 | 25 | TA: cieco (0.00-5.00) finestrato (5.00-18) n.1 Cella (20.00) |
| 5b-SD16 | 25 | TA - cieco (0.00-3.50) finestrato (3.50-25.00) |
| 5b-SD17 | 25 | TA: cieco (0.00-5.00) finestrato (5.00-25) |
| 5b-SD18 | 25 | TA: cieco (0.00-1.50) finestrato (1.50-25.00) |
| 5b-SD20 | 50 | Tubo in PVC per CH (0-50) |
| 5b-SD20 bis | 50 | Tubo in PVC per CH (0-50) - (distruzione di nucleo) |
| 5b-SD22 | 50 | non strumentato (argine fiume Albegna) |
| 5b-SD23 | 40 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-40.00) |
| 5b-SD24 | 40 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-40.00) |
| 5b-SD25 | 30 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-30.00) |
| 5b-SD26 | 30 | TA: cieco (0.00-10.50) finestrato (10.50-30.00) |
| 5b-SD27 | 25 | TA: cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-25.00) |
| 5b-SD28 | 25 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 5b-SD29 | 25 | TA: cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-7.00) n.1 Cella (22.50) |
| 5b-SD31 | 35 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-7.00) n.1 Cella (18.50) |
| 5b-SD32 | 30 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-7.00) n.1 Cella (20.50) |
| 5b-SD33 | 30 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-78.00) n.1 Cella (20.50) |
| 5b-SD34bis | 30 | TA: cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-8.00) n.1 Cella (18.50) |
| 5b-SD35 | 30 | TA - cieco (0.00-11.80) finestrato (11.80-20.00) |
| 5b-SD35bis | 9 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.0-9.00) - (distruzione) |
| 5b-SD36 | 35 | TA - cieco (0.00-11.80) finestrato (11.80-22.00) |
| 5b-P1 | 22 | Pozzo 5'' - TA - cieco (0.00-11.80) finestrato (11.80-22.00) |
| 5b-P2 | 9 | Pozzo 5'' - TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.0-9.00) |
| 5b-Pz1 | 9 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.0-9.00) |
| 5b-Pz2 | 9 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.0-9.00) |
| 5b-Pz3 | 22 | TA - cieco (0.00-11.80) finestrato (11.80-22.00) |
| 5b-SD37 | 37 | Tubo in PVC per CH (0-37) |
| 5b-SD37bis | 37 | Tubo in PVC per CH (0-37) - (distruzione di nucleo) |
| 5b-SD37ter | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-13.00) TA - cieco (0.00-18.00) finestrato (18.00-34.50) |
| 5b-SD38 | 25 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 5b-SD39 | 20 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5b-SD40 | 25 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 5b-pzd1 - 5b-pzd4 - 5b-pzd5 - 5b-pzd6 - 5b-pzd7 - 5b-pzd8 - 5b-pzd12bis - 5b-pzd16 - 5b-pzd20 - 5b-pzd21 - 5b-pzd22 - 5b-pzd26 - 5b-pzd28 - 5b-pzd30 - 5b-pzLL7 - 5b-pzLL9 - 5b-pzLL10 - 5b-pzLL11 - 5b-pzLL12 - 5b-pzLL13 - 5b-pzLL14 | | |

3.1.2 Indagini pregresse

Indagini finalizzate alla progettazione definitiva dell'Autostrada A12 nel tratto Fonteblanda Ansedonia (Campagna 2010-2011)

Per l'intero tratto esteso da Grosseto a Pescia Romana, è stata sviluppata una campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio), condotta nella primavera-estate 2010. La campagna di indagini, è stata suddivisa in quattro sub-lotti, distinti da nord verso sud in lotto 4/2, 4/1, 5/2 e 5/1, nel tratto Fonteblanda Ansedonia, solo parzialmente sovrapponibile al tracciato attualmente in fase di studio, ricadono le indagini eseguite nei sub-lotti 4/1, 5/2 e parzialmente 5/1.

Nel tratto in esame sono stati realizzati complessivamente n. 54 sondaggi geognostici dei quali 48 eseguiti a carotaggio continuo e 6 a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino a 40 m da p.c, oltre ad una prova penetrometrica con cono sismico S-CPT spinta fino a 35 m da pc e 23 pozzetti esplorativi superficiali.

Nei fori di sondaggio, sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc, prove penetrometriche dinamiche tipo SPT, oltre al prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati. I fori di sondaggio sono stati generalmente attrezzati con strumentazione piezometrica dedicata al monitoraggio della falda; in alcuni casi è stata installata la tubazione per l'esecuzione di prove sismiche in foro tipo Cross - Hole.

Sui campioni prelevati in sondaggio e in pozzetto è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica comprendente prove fisiche e meccaniche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche di resistenza e di compressibilità dei litotipi attraversati. Sono state inoltre eseguite prove cicliche finalizzate alla determinazione alle caratteristiche di deformabilità in ambito dinamico, nonché prove di compattazione e portanza finalizzate al riutilizzo e recupero delle terre da scavo.

Sono state infine effettuate analisi chimico ambientali del terreno e dell'acqua di falda, in accordo alla normativa ambientale (DL 152/2006 e succ.).

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti e riportati nella documentazione cartografica di progetto.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|----------|---------------------------|--|
| 4/1-SD3 | 25 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-25.00) |

| | | |
|-------------|-----|---|
| 4/1-SD4 | 35 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (3.00-25.00) n. 1 Cella (30.00) |
| 4/1-SD5 | 40 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-40.00) |
| 4/1-SD6 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/1-SD7 | 35 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-35.00) |
| 4/1-SD8 | 35 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-35.00) |
| 4/1-SD9 | 25 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-25.00) |
| 4/1SD9bis | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/1-SD10 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/1-SD11 | 20 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-20.00) |
| 4/1-SD12 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD12bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD13 | 35 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-35.00) |
| 4/1-SD14 | 29 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-15.00) |
| 4/1-SD15 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-17.00) n. 1 Cella (35.00) |
| 4/1-SD16 | 40 | --- |
| 4/1-SD17 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD17bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD18 | 25 | TA - cieco (0.00-7.50) finestrato (7.50-25.00) |
| 4/1-SD19 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/1-SD20 | 40 | TA - cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-40.00) |
| 4/1-SD21 | 25 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-19.00) |
| 4/1-SD22 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD22bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/1-SD23 | 35 | --- |
| 4/1-SD27 | 40 | TA: cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-34.00) |
| 4/1-SD28 | 35 | TA: cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-35.00) |
| 4/1-SD29 | 35 | TA: cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-2000) n.1 Cella (26.00) |
| 4/1-SD30 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 5/2-SD1 | 20 | TA - cieco (0.00-14.50) finestrato (14.50-20.00) |
| 5/2-SD1bis | 9,5 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.50) |
| 5/2-SD2 | 25 | TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-9.00) n.1 Cella (21.00) |
| 5/2-SD3 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.00) TA - cieco (0.00-17.00) finestrato (17.00-25.00) |
| 5/2-SD3bis | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.00) CAS (22.00) |
| 5/2-SD4 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 5/2-SD4bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 5/2-SD6 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-6.00) n.1 Cella (21.50) |
| 5/2-SD6bis | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-7.00) TA - cieco (0.00-15.00) finestrato (15.00-22.00) |
| 5/2-SD7 | 25 | TA - cieco (0.00-15.00) finestrato (15.00-23.00) |
| 5/2-SD7bis | 7 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-7.00) |
| 5/2-SD8 | 35 | TA - cieco (0.00-12.00) finestrato (12.00-18.00) n.1 Cella (26.00) |
| 5/2-SD10 | 25 | TA - cieco (0.00-13.00) finestrato (13.00-17.00) |

| | | |
|--|----|--|
| 5/2-SD11 | 30 | TA - cieco (0.00-14.50) finestrato (14.50-30.00) |
| 5/2-SD12 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 5/2-SD13 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 5/2-SD14 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 5/2-SD15 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5/1-SD1 | 25 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-20.00) |
| 5/1-SD2 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5/1-SD3 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 5/1-SD3bis | 15 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-15.00) |
| 5/1-SD4 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 5/1-SD5 | 35 | TA - cieco (0.00-9.00) finestrato (9.00-35.00) |
| 4/1-Pzd5, 4/1-Pzd6, 4/1-Pzd7, 4/1-Pzd8, 4/1-Pzd9, 4/1-Pzd10, 4/1-Pzd11, 4/1-Pzd18, 4/1-Pzd19, 5/2-Pzd1, 5/2-Pzd4, 5/2-Pzd5, 5/2-Pzd6, 5/2-Pzd7, 5/2-Pzd9, 5/2-Pzd10, 5/2-Pzd12, 5/2-Pzd13, 5/2-Pzd15, 5/1-Pzd1, 5/1-Pzd2, 5/1-Pzd3, 5/1-Pzd4 | | |

Indagini finalizzate alla progettazione preliminare dell'Autostrada A12 nel tratto compreso tra Civitavecchia e Grosseto (FASE C, campagna 2009)

Di tali indagini, realizzate lungo un tracciato di progetto solo in parte sovrapponibile all'attuale, sono stati utilizzati e rielaborati i risultati relativi a 1 sondaggio. La documentazione relativa a tali indagini comprende le risultanze di prove in foro tipo spt, prove di permeabilità tipo Lefranc, l'installazione di strumentazione piezometrica (oggi solo in parte reperibile), oltre ai certificati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni e degli scavi.

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti e riportati nella documentazione cartografica di progetto.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|----------|---------------------------|--|
| C-S17 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |

Indagini finalizzate alla progettazione preliminare dell'Autostrada A12 nel tratto compreso tra Civitavecchia e Grosseto (FASE A campagna 2003)

Tali indagini furono eseguite in due lotti distinti, per un totale di 23 sondaggi a carotaggio spinti a profondità variabili e fino a 30 m, 20 pozzetti esplorativi superficiali e 10 prove penetrometriche statiche. In tale contesto furono eseguite anche prove in foro tipo spt, fu installata della strumentazione piezometrica (oggi non più reperibile), furono eseguite prove di carico su piastra e prove geotecniche di laboratorio sia su campioni indisturbati, sia su campioni rimaneggiati prelevati

nel corso delle perforazioni e degli scavi. Della documentazione disponibile 1 sondaggio di Fase A ricade in prossimità dell'attuale fascia di studio.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| A1-S15 | 25 | TA - cieco (0.00-7.00) finestrato (7.00-35.00) |

Indagini finalizzate alla progettazione definitiva della Cassa di Espansione Camporeggio (2014)

La documentazione relativa a tali indagini comprende i report stratigrafici di n. 14 sondaggi realizzati a distruzione di nucleo di cui n. 13 spinti fino ad una profondità di 10 m da p.c. ed n.1 (S1) fino ad una profondità di 35 m da p.c. Oltre a questi il report si allega un sondaggio eseguito da ANAS (S1-ANAS) di lunghezza pari a 40 m.

Dai sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Sono state inoltre realizzate 12 CPT spinte fino a profondità di 8-10 m da p.c. e n. 4 CPTU spinte fino alla profondità di 15 m.

Tutte le indagini sono riportate nella planimetrie di ubicazione (elaborati GEO011 – GEO013) mentre per il profilo geologico sono stati utilizzati solo sondaggi prossimi al tracciato di studio o comunque utili ai fini della ricostruzione stratigrafica.

4 GEOLOGIA

4.1 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E TETTONICO GENERALE

Da un punto di vista geologico, la Toscana Meridionale appartiene alla catena appenninica, che è considerato un “thrust-and fold belt” derivato dalla collisione tra la Placca Europea e la Placca Africana (Adria).

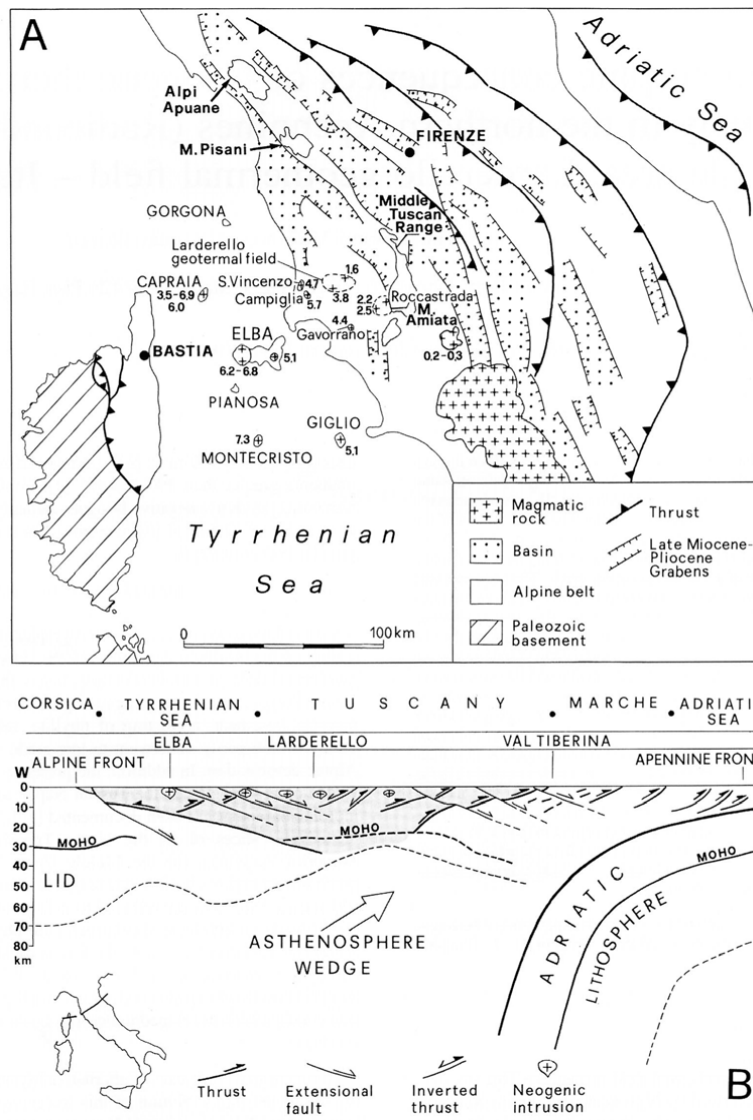


Fig. 2 - Schema geologico - strutturale della Toscana.

La storia geologica dell'Appennino Settentrionale e quindi anche della Toscana Meridionale, comprende diverse fasi deformative che si sviluppano dal Trias fino al Neogene, per un periodo di tempo di circa 220 ma.

Nelle colline Metallifere è riconoscibile un tratto di catena, il Paleoappennino, generatosi nell'intervallo Eocene sup. - Miocene inf. per effetto della collisione fra il Margine Europeo e la Microplacca Adria ed entrato in regime di collasso post-collisionale a partire dalla fine del Miocene inferiore.

I movimenti verificatisi durante gli eventi pre e sin-collisionali hanno contribuito alla costruzione di un edificio a falde il cui modello prevede la presenza, al di sopra dell'Unità della Falda Toscana, di Unità appartenenti al Dominio Ligure e Subligure.

Il corrugamento di queste Unità si è verificato, procedendo dal Bacino Ligure verso l'Avampaese Adriatico, dal Cretacico superiore all'Eocene superiore, fino cioè alla completa chiusura del bacino Ligure. Gli eventi deformativi che cadono in questo intervallo di tempo sono spesso indicati con il nome di "Fasi Liguri".

Nell'Oligocene si struttura, in corrispondenza del margine della placca adriatica, un sistema orogenico "Thrust-Avanfossa", che contraddistingue la fase collisionale. All'interno di questo sistema si sviluppa una sedimentazione, prevalentemente clastica e torbiditica, nell'ambito di bacini di avanfossa fortemente subsidenti, posti nelle zone di avampaese, ed in bacini più piccoli, detti bacini satelliti, a più debole subsidenza, posti sulla catena (Ricci Lucchi, 1986). Il sistema "Catena - Avanfossa" nord-appenninico ha subito dall'Oligocene al Quaternario, una migrazione verso l'avampaese, con spostamento verso est del depocentro deposizionale e graduale ricoprimento e corrugamento dei settori di avanfossa più occidentali (Ricci Lucchi, 1986; Boccaletti et alii, 1990; Cornamusini, 2001). Gli eventi deformativi che coincidono con la fase collisionale vengono spesso indicati col il nome di "Fasi Appenniniche".

Durante il Miocene inferiore si determina l'accavallamento delle Unità Subliguri e Liguri sul Domino Toscano: quest'ultimo subisce un forte corrugamento e va a sovrapporsi al domino Umbro-Marchigiano. Le colline Metallifere, si configurano nel Miocene inferiore come un edificio a falde che sarà, più tardi, in gran parte smantellato dalla tettonica distensiva.

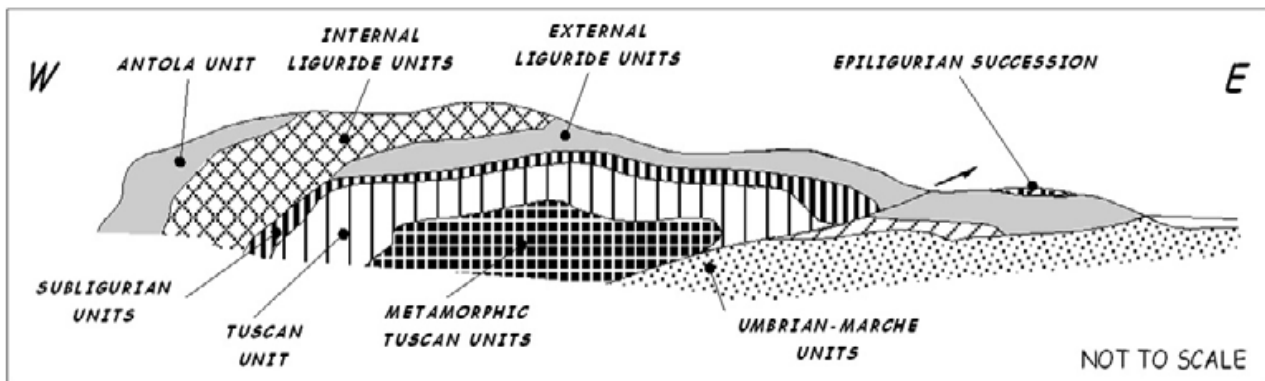


Fig. 3 - Ricostruzione schematica dell'impilamento tettonico tradizionalmente riconosciuto in Appennino Settentrionale

La configurazione originaria è stata approssimativamente ricostruita in questa regione attraverso l'individuazione di più unità tettoniche sovrapposte l'una sull'altra secondo il seguente ordine a partire dall'alto:

- Unità Liguri: affiorano alla sommità dell'impilamento tettonico, al di sopra delle Unità Subliguri e della Falda Toscana. Costituiscono i domini più interni dell'Appennino e sono rappresentative del Dominio Oceanico Ligure Piemontese (interposto tra le placche Europea e Adria), sviluppatosi durante fasi di rifting Giurassico - Cretaciche. La chiusura del bacino oceanico, attivatasi a partire dal Cretaceo superiore e durata fino all'Eocene medio - superiore, congiuntamente alla successiva fase di collisione continentale oligo - miocenica, hanno determinato l'attuale strutturazione in falde.
- Unità Subliguri: sono rappresentate da una successione terziaria che in Toscana Meridionale si presenta sempre scollata dalla propria base pre - cretacea ed è considerata come derivata da un dominio intermedio tra quello Toscano (riferibile al margine continentale della placca Adria) e quello Ligure esterno (riferibile alla transizione oceano-continente). Molto probabilmente il Dominio Subligure faceva parte di un settore caratterizzato da crosta assottigliata appartenente al margine continentale della placca Adria.

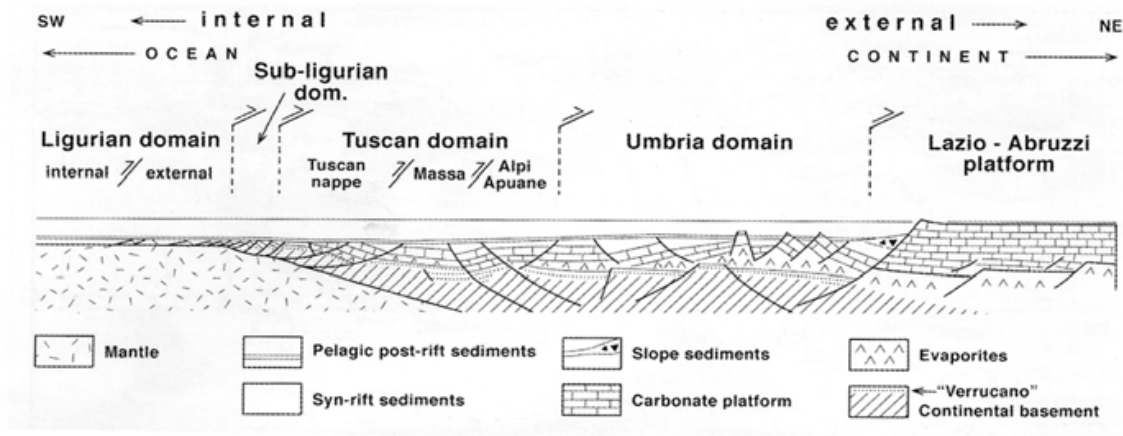


Fig. 4 - Schema paleogeografico del margine continentale della placca Adria con la localizzazione del Domino Subligure.

- Unità Toscana non metamorfica: conosciuta anche come Falda Toscana, costituisce la copertura del Dominio Toscano, rappresentativa del margine continentale della placca Adria prospiciente l'oceano Ligure - Piemontese. La successione stratigrafica caratteristica di questa Unità registra l'evoluzione del margine Adria come margine passivo, che subisce frammentazione, estensione e approfondimento legati all'apertura del dominio oceanico adiacente. Sul basamento metamorfico deformato si depone quindi una successione triassico - cretacea che comprende depositi evaporitici, fluviali e marini superficiali, oltre a depositi pelagici di mare aperto. L'inizio della convergenza tra le placche europea ed africana e la chiusura del bacino Ligure - Piemontese (Cretaceo superiore) è registrata da potenti spessori di depositi torbiditici. La successione completa della Falda Toscana triassico - miocenica è ben esposta nella porzione settentrionale dell'Appennino Toscano, mentre è rappresentata solo localmente in Toscana meridionale dove la successione tipica è rappresentata da una "Sequenza ridotta" (Signorini, 1949; Decandia et al., 1993), in cui tutta la sequenza giurassico - oligocenica manca e le Liguridi poggiano direttamente sopra i depositi evaporitici triassici (Anidriti di Burano e Calcare Cavernoso). La sedimentazione della successione della Falda Toscana si chiude con i depositi torbiditici della Formazione del Macigno.
- Basamento metamorfico: è costituito dall'Unità Toscana metamorfica, conosciuta anche come Unità di Monticiano - Roccastrada, e dal complesso gneissico (Bertini et al., 1994). L'Unità Toscana metamorfica è rappresentata da una successione metamorfica che comprende rocce la cui età va dal Paleozoico fino al Terziario. La successione dell'Unità Toscana metamorfica può essere suddivisa in quattro gruppi, di questi nell'area di studio affiora il Gruppo del

Verrucano (Trias inferiore-medio) costituito principalmente da Filladi, quarziti e mataconglomerati di ambiente continentale.

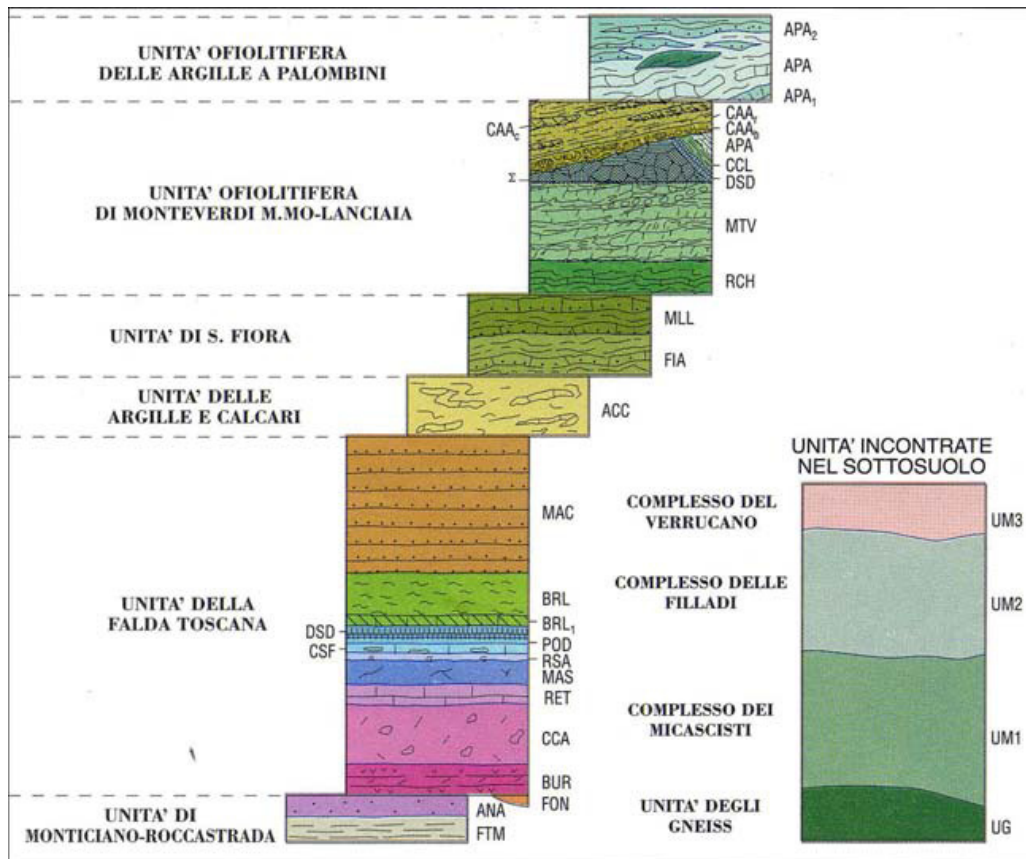


Fig. 5 - Schema dei rapporti tra unità tettoniche Liguri e Subliguri con la Falda Toscana, così come osservate in Toscana meridionale (Foglio 306 Massa Marittima)

Successivamente alla tettonica compressiva, a partire dal Miocene medio, ha inizio una tettonica estensionale caratterizzata dalla sviluppo di faglie a basso angolo che provocano la laminazione tettonica della struttura preesistente.

Nel Miocene superiore si instaura un'ulteriore tettonica estensionale che ha come risultato la creazione di bacini sedimentari che risultano delimitati da faglie dirette ad alto angolo, bacini che vengono progressivamente colmati da successioni del Tortoniano - superiore – Pliocene Medio. Questa tettonica estensionale è responsabile dell'apertura del bacino Tirrenico.

La tettonica estensionale mio - pliocenica non è associata solo allo sviluppo di faglie dirette e bacini sedimentari, ma anche da un diffuso magmatismo che, al pari del fronte compressivo e della tettonica estensionale, migra progressivamente da ovest verso est.

4.2 ASSETTO STRUTTURALE

L'assetto strutturale attuale della Toscana Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva post-collisionale che nel Neogene e nel Quaternario ha determinato il collasso e lo smembramento di questo ampio settore della catena Nord-Appenninica.

Recenti studi pongono l'inizio di tali eventi deformativi in regime di distensione alla fine del Miocene inferiore (Carmignani et alii, 1994; Elter e Sandrelli, 1995). A partire da questo momento sono stati distinti nella Toscana meridionale due diversi eventi distensivi, (Bertini et alii, 1991). Durante il primo evento (Miocene inferiore – Tortoniano superiore) si è verificata una delaminazione della crosta superiore ad opera di faglie dirette a basso angolo (Decandia et alii, 1993), che ha portato allo sviluppo della cosiddetta "Serie ridotta" (elisione di forti spessori di successione stratigrafica e diretta sovrapposizione delle Unità Liguri sulla formazione anidritica triassica o addirittura sui termini superiori dell'Unità di Monticiano - Roccastrada). Durante il secondo evento (Tortoniano superiore – Pleistocene medio) si sono sviluppate faglie a geometria listrica che hanno dato origine ad un sistema di fosse tettoniche, sub parallele, allungate in direzione NW-SE, la cui apertura non si è verificata contemporaneamente ma è proceduta gradualmente da occidente ad oriente.

Nella Toscana meridionale esiste un'ampia documentazione che attesta che l'evoluzione sedimentaria neogenica - quaternaria è stata in gran parte condizionata da movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post-collisionale, con conseguenti variazioni relative del livello del mare (Bossio et alii, 1998).

Molto più difficile risulta documentare gli effetti della ciclicità eustatica sulla sedimentazione, proprio perché obliterati dall'attività tettonica. Sulla base delle analisi di facies e della identificazione delle discontinuità di carattere regionale la successione sedimentaria neogenico - quaternaria della Toscana meridionale è stata suddivisa (Bossio et alii, (1998)) in otto unità stratigrafico - deposizionali relative all'intervallo Tortoniano superiore – Pleistocene inferiore.

Come in tutta la Toscana meridionale, anche nell'area in esame gli effetti della tettonica distensiva post-collisionale si sovrappongono decisamente a quelli degli eventi tettonici precedenti, rendendoli in alcuni casi del tutto incomprensibili. Gli elementi tettonici più recenti sono quelli che maggiormente concorrono a definire l'assetto morfostrutturale dell'area.

4.2.1 Tettonica distensiva post collisionale

Nel versante Tirrenico dell'Appennino Settentrionale la collisione continentale si è conclusa nell'Aquitaniense e gli eventi deformativi successivi si sono sviluppati in regime di distensione a partire dal Miocene inferiore (Carmignani et alii, 1995; 1996). Da questo momento il Tirreno Settentrionale e la parte interna dell'Appennino Settentrionale sono stati interessati, fino al Quaternario, da un'intensa tettonica distensiva accompagnata da attività magmatica.

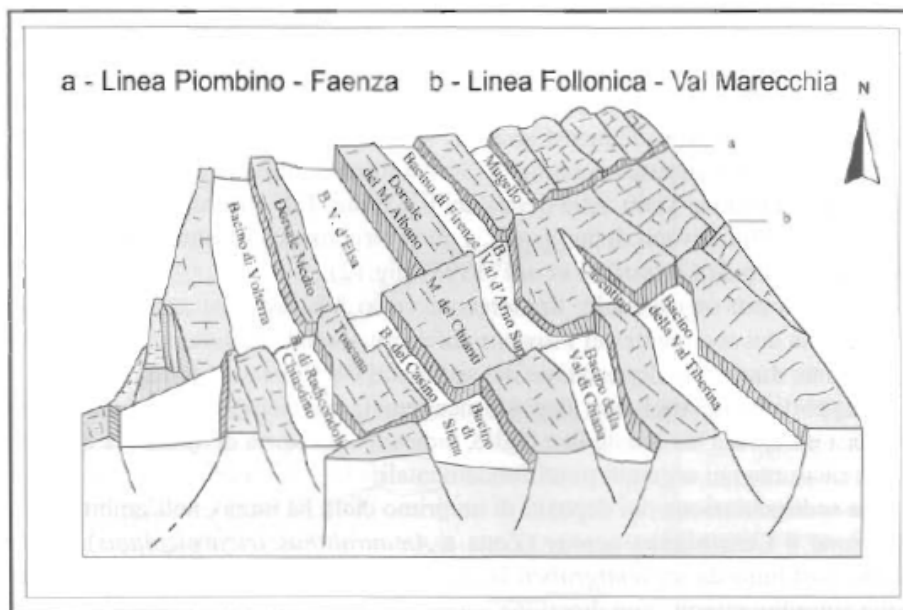


Fig. 6 - Stereogramma strutturale schematico non in scala, mostrante i probabili rapporti delle linee trasversali dell'Appennino Settentrionale con le strutture rigide distensive e con quelle plicative

Tettonica distensiva Plio - Pleistocenica

I depositi marini pliocenici, costituiscono nell'area di studio affioramenti discontinui e poco estesi; essi rappresentano i resti di un intenso processo erosivo, iniziato alla fine del Pliocene Medio, per un generale sollevamento che ha interessato gran parte della Toscana Meridionale. La sedimentazione di questi depositi ha inizio in bacini costituiti da semi-graben la cui evoluzione è legata a faglie sin sedimentarie.

Tettonica distensiva del Miocene inferiore e medio: la "Serie Ridotta"

Tutte le strutture precedentemente descritte dislocano superfici tettoniche più antiche. Queste ultime sono rappresentate o da superfici di accavallamento tettonico o da superfici di discordanza tettonica che mettono a contatto porzioni superiori dell'insieme delle Unità Liguri s.l. con porzioni inferiori della Successione Toscana o direttamente con il Basamento Metamorfico Toscano.

Queste situazioni, esprimono fenomeni tettonici di omissione di successione stratigrafica e sono quindi interpretabili come effetti di faglie dirette. La serie ridotta sembra rappresentare il fenomeno distensivo più importante nella Toscana Meridionale (fig. 7).

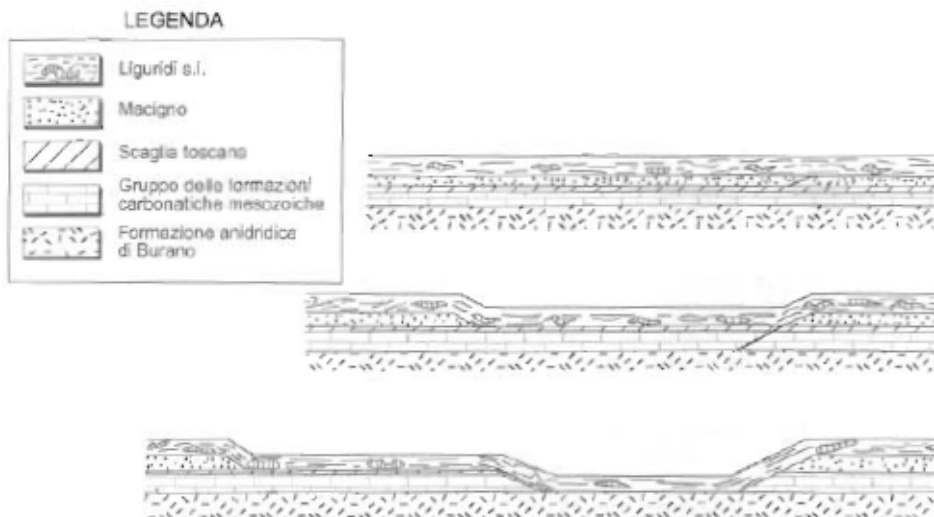


Fig. 7- Meccanismo semplificato di formazione della “serie ridotta” tramite superfici di scorrimento alla base delle liguridi e lungo i livelli incompetenti della successione toscana (Bertini et alii, 1991)

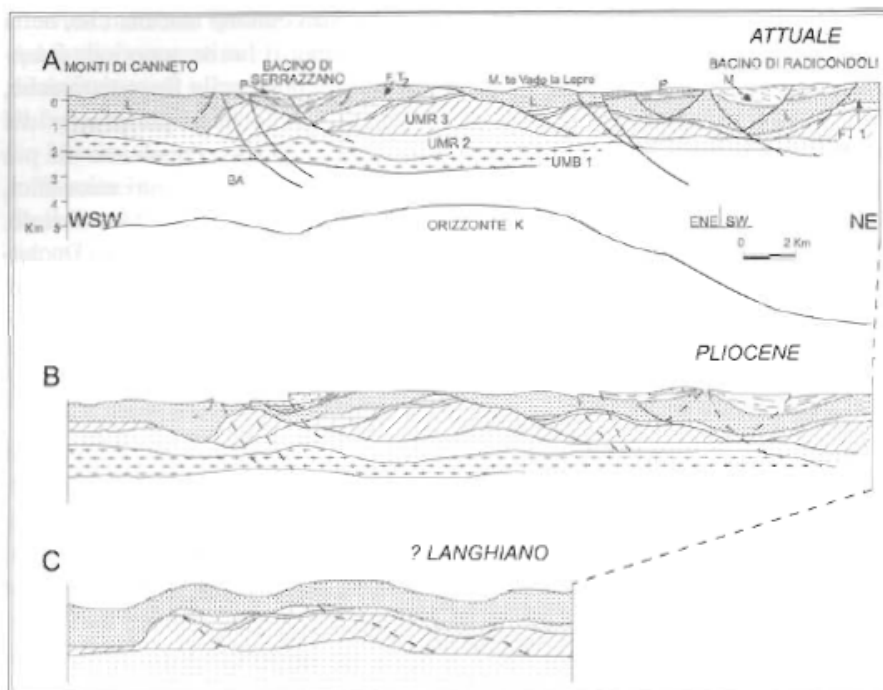


Fig. 8 - Caratteri evolutivi della tettonica distensiva dal Langhiano (Miocene medio) all'attuale. (Baldi et alii, 1994)

4.2.2 Tettonica compressiva pre e sin - collisionale

Gli effetti della tettonica compressiva, riferibile alla chiusura dell'Oceano Ligure ed alla collisione dei margini europeo ed africano, sono osservabili nell'area in esame, nelle coperture a Facies Subligure e Toscana, che risultano piegate ed accavallate l'una sull'altra, costituendo un importante edificio a falde. A causa dell'intensa tettonica distensiva che ha interessato l'edificio orogenetico, le strutture compressive riferibili alla tettonogenesi appenninica sono state in gran parte obliterate dalle faglie dirette a basso ed alto angolo.

4.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

Il tratto in esame si colloca nella parte centrale di quella porzione di tracciato della nuova Autostrada Tirrenica compreso tra la zona dello svincolo di Grosseto sud ed il confine con la Regione Lazio, nello specifico il lotto 5b ricade nel tratto compreso tra Fonteblanda e lo svincolo di Ansedonia. Questo ampio areale si colloca nella parte emersa più interna dell'Appennino Settentrionale. Le caratteristiche geomorfologiche di questo settore, quindi, riflettono intensi processi endogeni che hanno portato alla strutturazione di questa catena orogenetica sulla quale sostanzialmente si sviluppa l'intero territorio toscano. Su questo principale *imprinting* strutturale e geodinamico, realizzatosi in varie decine di milioni di anni, si sono sovrapposti fenomeni esogeni, determinati da cambiamenti climatici ed oscillazioni del livello marino, che negli ultimi milioni di anni hanno concorso a definire le odierne caratteristiche fisiche di quest'area .

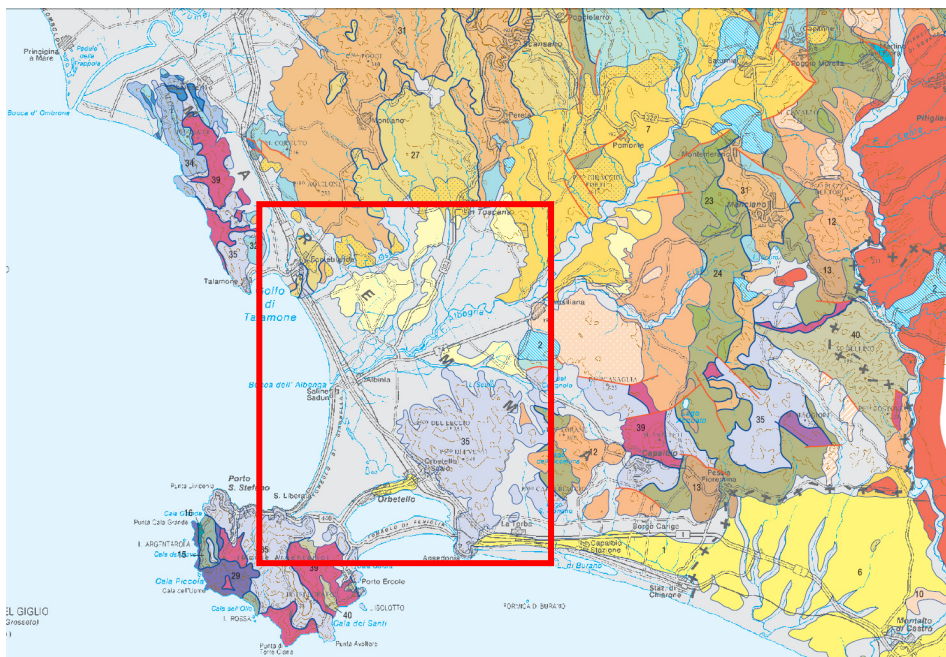


Fig. 9 - Stralcio della Carta Geologica della Toscana in scala 1:250.000 con ubicazione dell'area in esame.

Nello specifico il tracciato del lotto 5b attraversa paesaggi morfologici riconducibili a due tipi principali:

- 1) rilievi montuosi di modesta elevazione costituiti da rocce litoidi (zone di Fonteblanda ed Ansedonia)
- 2) pianure alluvionali e costiere con contermini rilievi collinari, nell'insieme caratterizzati da sedimenti sciolti o poco litificati (da nord: tratto meridionale verso il Golfo di Talamone, bacini del Fiume Albegna e Torrente Osa, settore ad est di Ansedonia) (Fig.9).

I rilievi montuosi

Dal punto vista tettonico-sedimentario i rilievi montuosi presenti lungo la costa toscana da Grosseto al Lazio rappresentano porzioni crostali poste a livelli strutturali diversi che definiscono un complesso edificio tettonico a pieghe e sovrascorrimenti, risultante in larga parte dalla collisione continentale tra le placche litosferiche europea ed africana in corso dall'inizio dell'era Cenozoica. Questi processi tettonici hanno portato ad un significativo raccorciamento crostale visibilmente espresso dalla sovrapposizione di rocce formatesi in domini paleogeografici e geodinamici originariamente separati da varie centinaia di chilometri.

La storia geologica più antica è registrata in questo settore della Toscana Meridionale dalle rocce affioranti sui rilievi dei Monti dell'Uccellina e del Promontorio dell'Argentario. Il Monte Argentario e i Monti dell'Uccellina sono costituiti dalla sovrapposizione di rocce sedimentarie ed in genere debolmente metamorfiche illustrata nei suoi dettagli tettonico-stratigrafici in vari studi geologici (per la geologia del M. Argentario Lazzarotto *et al.*, 1964, Fig. 10A, e per i Monti dell'Uccellina Montomoli *et al.*, 2009, Fig. 10B). In questi nuclei affioranti di antiformi a dominante vergenza nord-orientale, ma complicate da una strutturazione polifasica, si succedono vari complessi tettonico-sedimentari. Questi includono frequentemente nei livelli strutturali più bassi, meta-sedimenti tardo paleozoici-inizio triassici e sedimenti clastici e carbonatico-evaporitici continentali e di mare ristretto triassici. Nell'insieme queste rocce individuano il basamento della placca continentale Africana, più specificatamente della sua propaggine settentrionale nota come Adria, e la parte inferiore della sua copertura sedimentaria nota come Successione Toscana, sviluppatasi durante il ciclo orogenetico alpino (Vai, 2001).

Nei Monti dell'Uccellina alcune scaglie tettoniche includono anche la porzione stratigraficamente superiore della Successione Toscana costituita da rocce carbonatiche, silicee pelagiche e terrigene di bacini di avanfossa, di età compresa tra il Giurassico medio-superiore ed il Miocene inferiore.

Si sovrappongono o si intercalano tettonicamente a queste rocce, riferibili ad un antico margine continentale toscano, rocce ignee (ofioliti) e terrigeno-carbonatiche pelagiche e di età compresa tra il Giurassico inferiore e il Paleogene. Queste ultime esprimono domini oceanici o di transizione al margine continentale coinvolti progressivamente nella deformazione, inizialmente per effetto della subduzione oceanica e successivamente della collisione continentale.

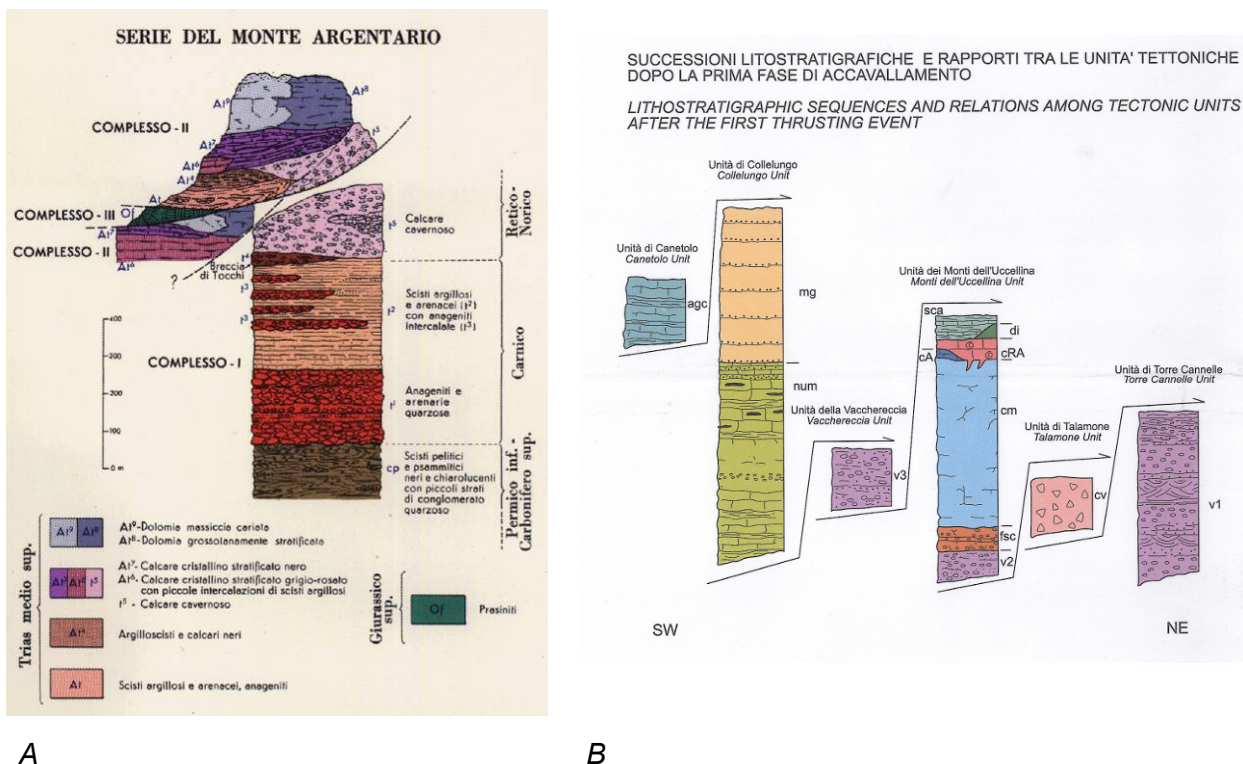


Fig.10 - Schemi tettono-stratigrafici: A) del Monte Argentario (Da Lazzarotto et al., 1964) e dei B) Monti dell'Uccellina (da Montomoli et al., 2009)

Frammenti di crosta oceanica rappresentata da rocce ofiolitiche con lembi fortemente disarticolati delle coperture sedimentarie terrigeno-carbonatiche, costituiscono la cosiddetta Successione Ligure (Vai, 2001), espressione dell'originario oceano Ligure-Piemontese interposto tra la placca europea e quella africana durante parte del Giurassico e del Cretaceo.

Specificatamente ai Monti dell'Uccellina, nei livelli strutturalmente più alti dell'edificio tettonico-sedimentario affiorano rocce terrigeno-carbonatiche di età eocenica ascrivibili alla cosiddetta Successione Sub-Ligure, espressione di un antico dominio marino di transizione tra l'area oceanica e quella continentale toscana instauratosi tra la fine della subduzione dell'oceano Ligure-Piemontese e l'inizio della collisione continentale.

Una caratteristica comune a questi rilievi è quindi rappresentata da un assetto stratigrafico fortemente condizionato dall'intensa deformazione crostale che ha portato ad importanti elisioni delle originarie successioni formatesi nei vari domini.

Tali elisioni, evidenziate da fasce di taglio ad alto e basso angolo attraverso le quali si sovrappongono rocce di età e domini diversi, si esprimono in modo molto variabile. Dalla relativa conservazione di tutta la Successione Toscana evidente nell'antiforme dei Monti dell'Uccellina si passa alla sovrapposizione tettonica di rocce delle Unità Liguridi direttamente su quelle carbonatico-evaporitiche ("Calcere Cavernoso") che costituiscono la parte inferiore della Successione Toscana.

In particolare tali rapporti, evidenti tra il Poggio del Leccio ed i Monti di Capalbio (si veda Dessau *et al.*, 1972 per dettagli), ricorrenti in molte aree della Toscana meridionale, sono noti in letteratura con il termine di "Serie Ridotta" (Decandia *et al.*, 1993). Tali rapporti esprimono intensi fenomeni di elisione stratigrafica variamente interpretati in termini di: 1) originaria non deposizione (Boccaletti *et al.*, 1969); 2) tettonica estensionale post-collisionale (Decandia *et al.*, 1993; Carmignani *et al.*, 1994; Elter & Sandrelli, 1995); 3) tettonica compressiva sin- o tardo-collisionale (Finetti *et al.*, 2001). A prescindere da ipotesi "estensionali" o "compressive" il ruolo della strutturazione tettonica, caratterizzata da scollamenti multipli favoriti da particolari orizzonti reologici (evaporiti, peliti), viene oramai ampiamente riconosciuto per l'origine di questi contatti di elisione stratigrafica. Per concludere, il metamorfismo di basso grado (Anchizona, Epizona) che caratterizza alcune unità tettonico-sedimentarie, in particolare nei Monti dell'Uccellina (Montomoli *et al.*, 2009), viene discusso entro un processo di locale sovraccarico tettonico indotto dal progressivo impilamento di scaglie durante le fasi parossistiche della collisione continentale. Per il Monte Argentario questo metamorfismo di basso grado si sarebbe sovrainposto, con effetto retrogrado, ad un precedente metamorfismo di alta pressione. L'evidenza di questa fase metamorfica più antica viene segnalata dalle associazioni mineralogiche presenti nelle metapeliti triassiche della porzione inferiore della Successione Toscana affioranti nel settore occidentale dell'Argentario (Theye *et al.*, 1997).

Le aree di pianura alluvionale e costiera e delle colline

Queste porzioni topograficamente più basse esprimono fenomeni tettonici ed erosivi che a partire dal Miocene medio-superiore hanno interrotto la continuità della catena generata durante l'acme della collisione continentale. In particolare si individuano tre principali successioni in gran parte terrigene rispettivamente di età miocenica media-superiore, pliocenica e quaternaria.

Le successioni del Miocene medio-superiore

I depositi miocenici sono presenti in affioramento nell'area di Capalbio-Pescia Fiorentina e nella zona medio-prossimale della bacino idrografico del Fiume Albegna. Tra Capalbio e Pescia Fiorentina alcuni rilievi collinari quali Poggio la Pesca, località Garavicchio, sono costituiti da arenarie fossilifere e bioturbate attribuite alla Formazione delle Arenarie di Manciano, già note come Arenarie a *Scutella* (Dessau *et al.* 1972; Fontana, 1980). La collocazione cronostratigrafica ed il significato paleogeografico e geodinamico di questi depositi sono tuttora poco definiti in maniera univoca. Queste arenarie, affioranti in piccoli lembi anche nei dintorni di Manciano e nel Viterbese, sono state riferite su base biostratigrafica al Langhiano-Serravalliano e attribuite ad ambienti marino-costieri (Fontana, 1980; Martini *et al.*, 1995). In particolare Martini *et al.*, (1995) propongono una ricostruzione paleoambientale, paleogeografica e geodinamica che riferisce i lembi di Arenarie di Manciano ad ambienti di spiaggia sommersa influenzata da correnti tidali in un contesto sin-collisionale caratterizzato da piccoli bacini satelliti adiacenti all'avanfossa nord-appenninica (Fig. 11A). Successivi studi su affioramenti nel viterbese di arenarie attribuite su base litologica e paleontologica alle Arenarie di Manciano (Barbieri *et al.*, 2003) suggeriscono un età messiniana superiore per questi depositi. Anche il significato geodinamico è stato rimesso in discussione: Pascucci *et al.* (1999) ridiscutono alla scala del Tirreno settentrionale-Toscana meridionale l'origine e sviluppo di vari bacini sedimentari, tra cui le originarie aree di sedimentazione della Arenarie di Manciano, attribuendoli ad un generale dominio post-collisionale in un area prevalentemente estensionale posta ad ovest dei fronti attivi della catena nord-appenninica (Fig. 11B).

Nelle porzioni collinari retrostanti la fascia costiera tra il Chiarone e la Torba e nelle porzioni interne del bacino idrografico del Fiume Albegna, tra Magliano in Toscana e la Marsiliana, affiorano i depositi clastici continentali riferibili al Tortoniano superiore-Messiniano.

Questi sedimenti costituiscono una successione comune a gran parte della Toscana meridionale che include una porzione inferiore nota come "Serie Lignifera" (Sestini, 1970) attribuibile al Tortoniano superiore-Messiniano inferiore ed una superiore riferibile al Messiniano superiore.

Nell'area del Fiume Albegna questi depositi sono stati oggetto di numerosi rilevamenti e studi geologici (Mancini, 1960; Bettelli *et al.*, 1980; Bonazzi *et al.*, 1980; 1992; Bettelli, 1985; Bossio *et al.*, 2003-2004) (Fig.12).

Nell'insieme questi depositi vengono riferiti ad ambienti fluvio-lacustri caratterizzati dalla deposizione di peliti spesso organiche nelle aree lacustri e di conglomerati ed arenarie in sistemi

fluviali e deltizi. La successione è chiusa da calcari lacustri (“travertini”) affioranti in cave poco a sud della Marsiliana che vengono tentativamente attribuiti al Messiniano superiore (Bosi *et al.*, 1996; Bossio *et al.*, 2003-2004).

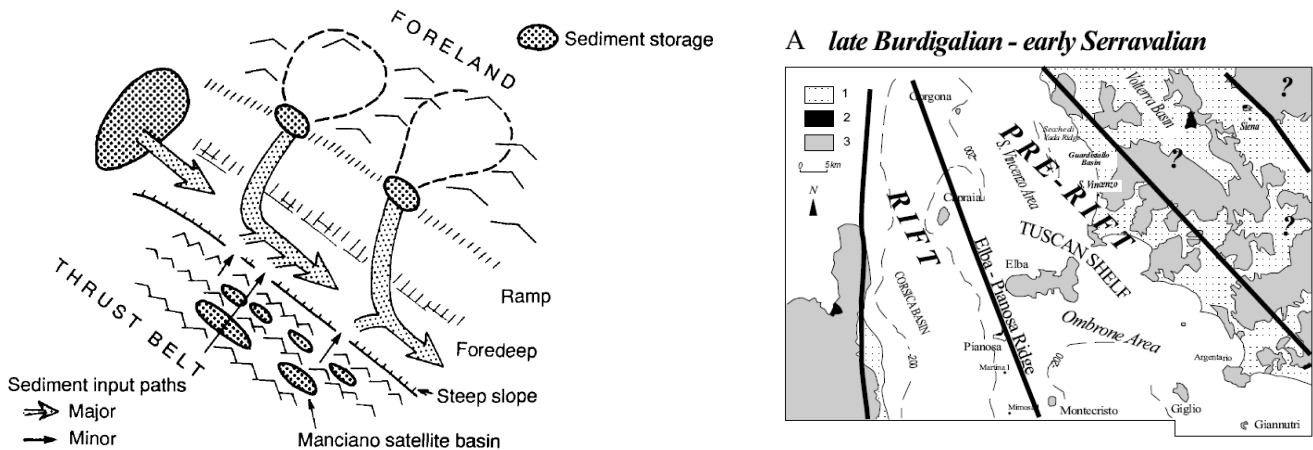


Fig. 11: A) paleogeografia del sistema catena-avanfossa nel Miocene medio (da Martini *et al.*, 1995); B) contesto strutturale dell'area tirrenico-toscana (da Pascucci *et al.*, 1999)

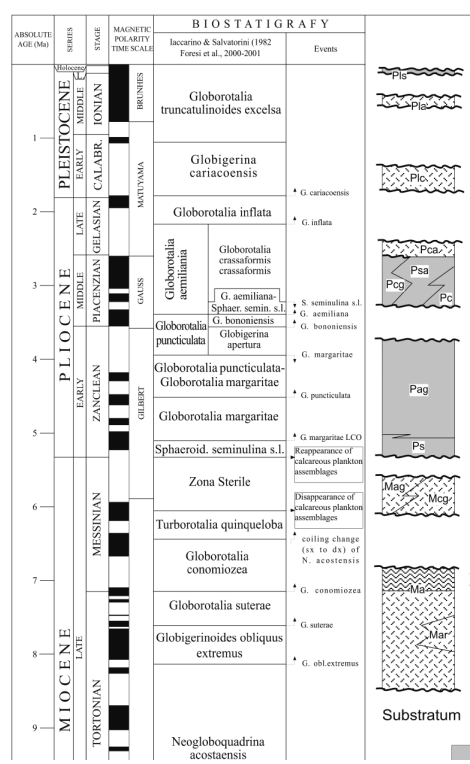


Fig. 12 - Schema stratigrafico della successione neogenico-quadernaria affiorante nella parte meridionale del bacino del Fiume Albegna (da Bossio *et al.*, 2003-2004)

Il significato tettonico-sedimentario di questa successione e di quella pliocenica soprastante viene in genere spiegato in termini di sviluppo di bacini sedimentari post-collisionali in un generale contesto di estensione crostale complicata da sollevamenti localizzati (Pasquarè *et al.*, 1983). Il grado di deformazione dei depositi, fortemente tiltati e talora piegati, suggerisce una storia tettonica probabilmente più complessa dove la compressione crostale potrebbe aver giocato un ruolo importante sullo sviluppo di questi bacini (si veda ad esempio Boccaletti & Sani, 1998 per una discussione a scala regionale di questa ipotesi).

La successione pliocenica

Depositi pelitici, arenacei, conglomeratici e carbonatici spesso fossiliferi costituiscono una successione riferibile al Pliocene affiorante nella valle del Fiume Albegna in discordanza sopra ai depositi miocenico-superiori. La successione è stata oggetto di revisione stratigrafica e dettagliato rilevamento (Bossio *et al.*, 2003-2004) con il riconoscimento di almeno 2 fasi di sedimentazione marina, nello Zancleano e nel Piacenziano, e di una fase di sedimentazione lacustre a chiusura del ciclo pliocenico.

La successione quaternaria

I depositi riferibili al Quaternario sono presenti in gran parte delle diverse zone attraversate dal tracciato autostradale ed in senso generale si caratterizzano come conglomerati e ghiaie fluviali frequentemente terrazzate, sabbie e peliti costiere. L'insieme di questi depositi viene riferito principalmente alle fluttuazioni climatiche e del livello marino che frequentemente hanno caratterizzato il Quaternario.

Una revisione della geologia del Quaternario di questo settore della costa toscana è presentata in Mazzanti (1983) nel quale terrazzi e depositi costieri presenti nell'area in esame, vengono discussi in termini di variazioni del livello marino avvenute tra il penultimo interglaciale (Tirreniano) e l'Olocene. Tali conclusioni vengono confermate successivamente anche da Hearthy e Dai Pra (1987) che ricalibrano cronologicamente alcuni affioramenti dei depositi costieri presenti tra Talamone ed Il Chiarone. In un'ulteriore revisione di dati morfologici e cronologici assoluti sulla fascia costiera compresa tra la Versilia ed il basso Lazio, Nisi *et al.* (2003) considerano il tratto di costa tra Grosseto ed il Chiarone (Fig. 13) da debolmente subsidente a stabile con tendenze al sollevamento tra il lago di Burano ed il Fiume Fiora, confermando così il ruolo primario delle variazioni eustatiche nella genesi dell'attuale morfologia costiera.

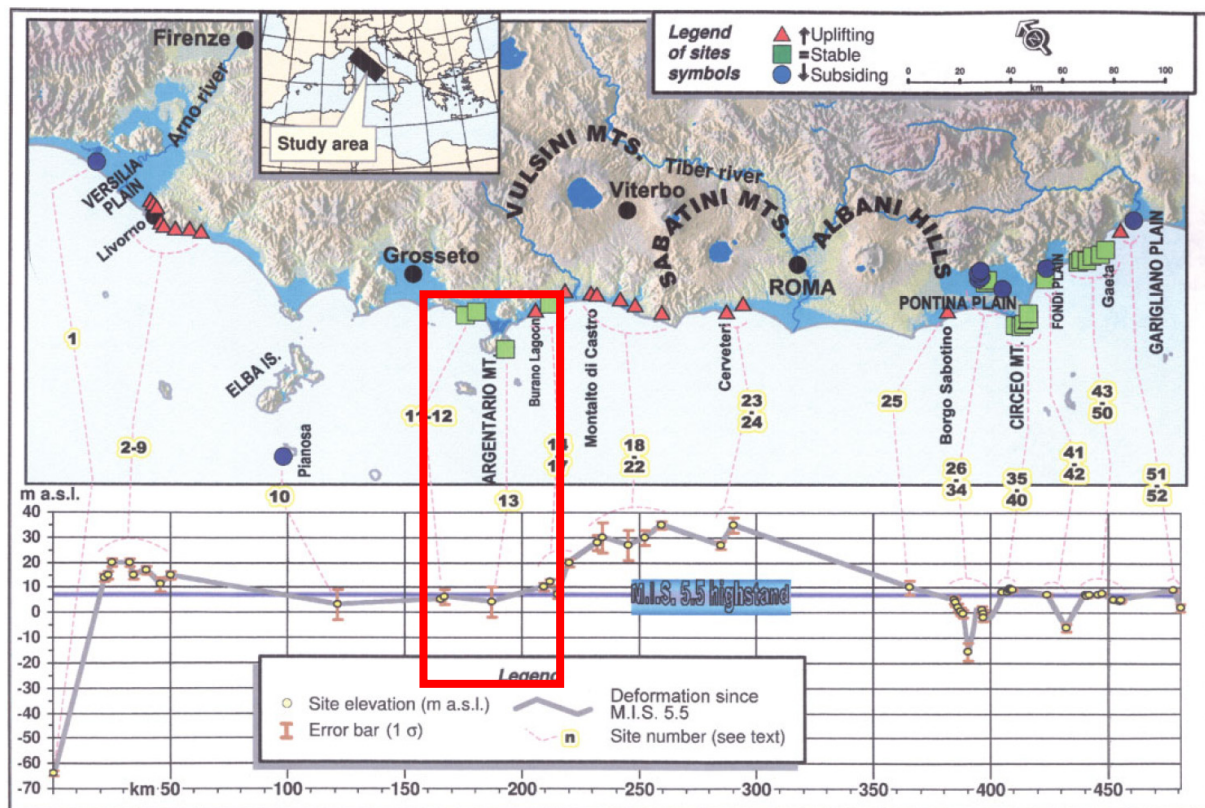


Fig. 13 - Quote dei depositi e forme costiere riferite al Tirreniano (Stage Isotopico 5.5) tra la Versilia ed il basso Lazio. Il riquadro indica l'area di interesse (da Nisi et al., 2003).

Le tracce dell'ultimo ciclo glacio-eustatico successivo allo stazionamento alto del livello del mare Tirreniano, sono evidenti anche *offshore* dai dati stratigrafico-sismici pubblicati in Tortora (1996). In Fig. 14 viene messa in evidenza la superficie erosiva sulla piattaforma tra Ansedonia ed il Fiume Fiora, generata dall'incisione fluviale a seguito della caduta eustatica dell'ultimo glaciale.

Tra le località il Chiarone e La Torba vengono segnalati nella cartografia geologica esistente (Foglio 135 Orbetello carta geologica d'Italia, 1:100.000, sezioni dei fogli 343-353, Carta Geologica Toscana scala 1:10.000) depositi clastici riferibili ad una successione marino-costiera prevalentemente pelitico-sabbiosa di generica età pleistocenica su cui poggiano ghiaie e sabbie arrossate alluvionali.

Nella fascia prossima all'attuale costa si hanno depositi pelitici ed organici riferibili ad ambienti paludosi retro-costieri tuttora esistenti come evidente dalla laguna di Burano. Intorno a rilievi e lungo i pendii si hanno sottili coltri di depositi colluviali talora fortemente arrossati.

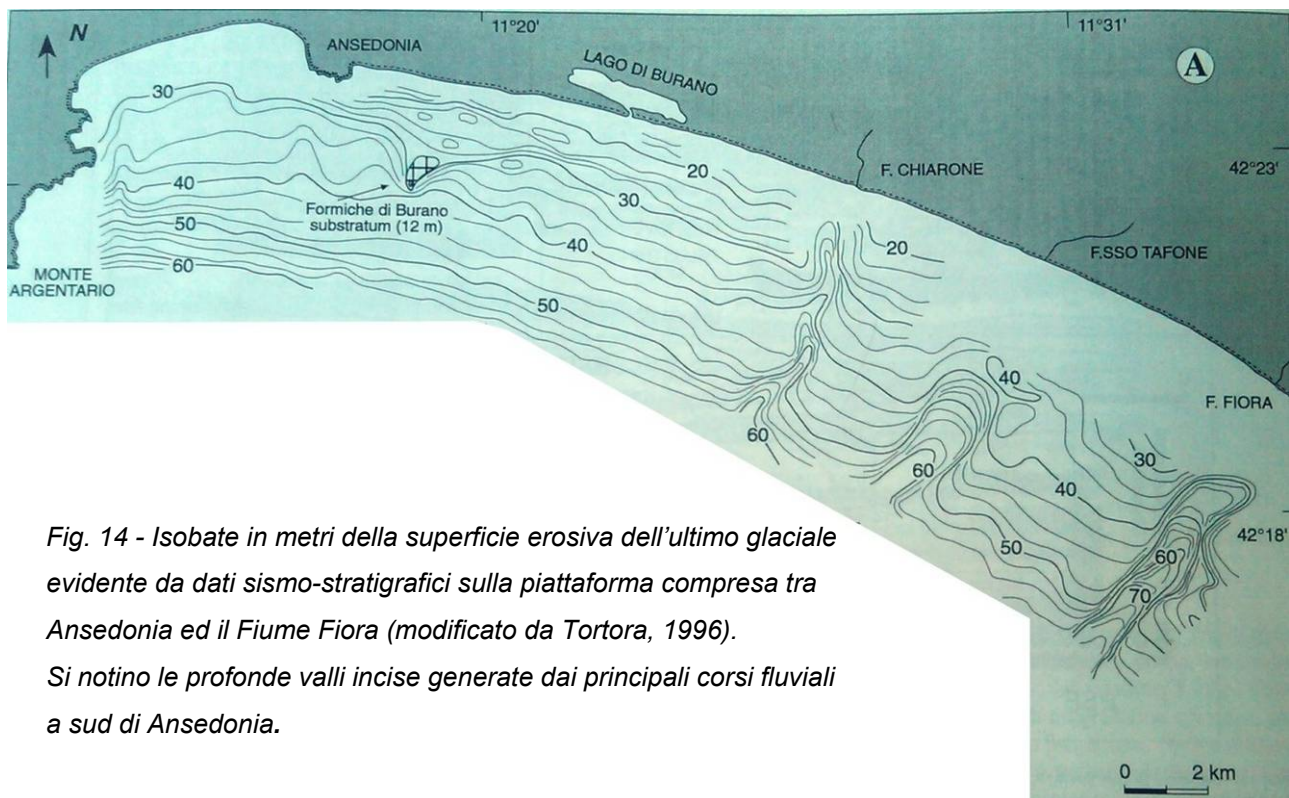


Fig. 14 - Isobate in metri della superficie erosiva dell'ultimo glaciale evidente da dati sismo-stratigrafici sulla piattaforma compresa tra Ansedonia ed il Fiume Fiore (modificato da Tortora, 1996).

Si notino le profonde valli incise generate dai principali corsi fluviali a sud di Ansedonia.

Depositi stratificati di versante sono frequenti lungo le coste rocciose del Monte Argentario (Grauso & Zarlenga, 1991), dei Monti dell'Uccellina e tra Fonteblanda e la foce del Fiume Osa. La presenza di rocce carbonatiche triassiche in questi rilievi ha favorito durante il Quaternario, l'instaurarsi di fenomeni carsici visibili in superficie nella forma di grotte, inghiottitoi e fenomeni di collasso (*sinkhole*, Caramanna *et al.*, 2004). La presenza in alcune grotte di sedimenti terrigeni ha portato all'individuazione di resti fossili di vertebrati del Pleistocene inferiore (Sardella *et al.*, 2008) e delle evidenze materiali della frequentazione umana fino dal tardo Pleistocene medio (Cavanna, 2007).

La maggiore distribuzione di depositi riferibili al Quaternario si ha nell'ampia pianura alluvionale dei fiumi Albegna-Osa dove in gran parte si sviluppa il tracciato del lotto in esame. Qui, nelle colline a sud di Magliano vengono segnalati fino a 4 ordini di terrazzi fluviali costruiti dal Fiume Albegna durante il suo progressivo incassamento (Bossio *et al.*, 2003-2004). Mancini (1960) descrive con grande dettaglio la distribuzione dei depositi costieri di questo settore indicando nelle sabbie arrossate distribuite tra l'Albegna e l'Osa, antichi sistemi di spiaggia e dunali riferibili al livello marino del Tirreniano più alto dell'attuale. Nelle parti più depresse della pianura dell'Albegna e specificatamente nei pressi della sua foce i depositi superficiali vengono riferiti alle alluvioni recenti di questo corso. Un'indagine di sottosuolo effettuata attraverso sondaggi a carotaggio continuo nei pressi di Albinia e dell'argine di destra idrografica dell'Albegna, hanno consentito a

Mazzini *et al.* (1999) dettagliate analisi paleoambientali (Fig.15). L'analisi delle microfaune a ostracodi e foraminiferi su circa 51 metri di depositi in prevalenza fangosi e la datazione di sostanza organica con il metodo del radiocarbonio, hanno infatti consentito di ricostruire il contesto e le variazioni paleoambientali di una laguna costiera impostatasi dalla fine dell'ultima glaciazione in virtù della risalita eustatica post-glaciale.

Durante l'Olocene ed in particolare nel corso delle ultime migliaia di anni, si sono definiti i caratteri morfologici dei litorali sabbiosi e delle adiacenti zone costiere. Tra questi sono di particolare rilievo i tomboli sabbiosi della Giannella e della Feniglia che delimitano la laguna di Orbetello. Tali cordoni sabbiosi si sarebbero formati, probabilmente in epoche pre-etrusco/romane (Bartolini *et al.*, 1977), per effetto della rifrazione del moto ondoso causata dall'originaria isola del Monte Argentario e redistribuzione dei sedimenti del Fiume Albegna (Fig. 16) (De Pippo, 2004). Negli ultimi secoli i litorali sabbiosi tra Talamone e l'Argentario hanno subito variazioni morfologiche di breve durata in larga parte causate da rapidi cambiamenti delle condizioni meteo-marine e dall'impatto antropico sull'apporto dei sedimenti alle coste (D'Alessandro *et al.*, 1979).

| Depth (m) | Lithozones | Lithofacies | Intervals | Biofacies | Stable isotopes and ostracode shell chemistry | Palaeoenvironmental interpretation |
|---------------|------------|--|-----------|--|---|--|
| -3.00/-5.00 | o | Silts and silty clays. | M | Freshwater molluscs and ostracods | – | Shallow freshwater lagoon |
| -5.00/-7.00 | n | Clay silts and silty clays. | L | Brackish molluscs, dominant mesohaline ostracods, subordinate oligohaline ostracods | low $\delta^{13}\text{C}$, low Mg/Ca, low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios | Shallow meso/oligohaline lagoon. The R. Albegna discharges freshwaters rich in Triassic-derived solutes. |
| -7.00/-11.00 | m | Matrix supported conglomerates to coarse sands. | I | Brackish molluscs, mesohaline ostracods (<i>Cyprideis torosa</i> is dominant) | progressive lowering of $\delta^{13}\text{C}$ and Sr/Ca | Shallow mesohaline lagoon disturbed by an high energy episode of deposition by the R. Albegna |
| | l | Clay silts; from -10.80 m, gravels. | | | | |
| -11.00/-20.00 | i | Silty clays with sandy intercalations. | H | From the bottom to the top brackish to marine molluscs and mesohaline to meso-polyhaline to polyhaline ostracods (maximum salinity attained at -12.00 m). | relative high $\delta^{13}\text{C}$; low $\delta^{13}\text{C}$ at -12.00 m; Mg and Sr inputs are very variable. | Shallow coastal lagoon with progressive increase of salinity (polyhaline conditions attained at -12.00 m), with significant Sr inputs from Triassic-derived solutes. |
| -20.00/-21.00 | h | Silty clays; peaty lenses around -20.80 m. ^{14}C age at -20.80 m: 8740 ± 130 y B.P. ^{14}C age at -17.00 m: 8630 ± 600 y B.P. | G | Oligohaline assemblage with <i>C. neglecta</i> , <i>I. gibba</i> , <i>P. messanai</i> and scarce <i>C. torosa</i> and <i>L. elliptica</i> . | low $\delta^{13}\text{C}$ | Shallow coastal lagoon characterized by alternate salinities and variable influxes from diverse solute sources (e.g. significant volcanic source in "E"). |
| -21.00/-22.00 | | | F | Dominant <i>C. torosa</i> and <i>L. elliptica</i> , accompanied by few true marine species. | high $\delta^{13}\text{C}$ | |
| -22.00/-23.00 | | | E | Dominant freshwater ostracods and subordinate <i>C. torosa</i> | high Mg/Ca and Sr/Ca; low $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ | |
| -23.00/-27.50 | | | D | Brackish molluscs dominated by <i>H. ventrosa</i> . Mesohaline ostracod assemblage dominated by <i>C. torosa</i> and <i>L. elliptica</i> . At -26.00 m <i>I. gibba</i> and <i>I. bradyi</i> are present. | at -24.00 m low $\delta^{13}\text{C}$, high $\delta^{18}\text{O}$ and very low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. | |
| -27.50/-38.60 | e | Sandy silts; sands between -28.00 and -29.00 m. | C | Dominant freshwater ostracods and subordinate <i>C. torosa</i> and <i>L. elliptica</i> . Rather high amount of transported valves near the top of this interval. | low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. | Shallow freshwater-oligohaline coastal lagoon characterized by high energy events related to the R. Albegna activity. |
| | d | Clayey silts and silty clays. | | | | |
| -38.60/-45.20 | c | Silty sands with intercalation of clay silts. | B | Rare freshwater molluscs and ostracods. Presence of brackish ostracod transported valves near the top of this interval. | – | Shallow freshwater coastal lagoon not far from the ancient coastal line. |
| | b | Clayey silts with intercalations of silty sands. | | | | |
| -45.20/-51.00 | a | Clast-supported conglomerate becoming matrix-supported towards the top of the interval and being overlain by sands and silts. | A | Molluscs and ostracods are absent | – | Submerged proximal fan delta connected with the activity of the Albegna River. |

Fig. 15 - Sintesi delle analisi micro-paleontologiche, geochimiche e paleoambientali sulla carota descritta in Mazzini *et al.* (1999).



Fig. 16- Evoluzione dei tomboli della Feniglia e della Giannella (da De Pippo, 2004)

5 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE E CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica e recente del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore.

5.1 SIMITICITA' E NEOTETTONICA

La zona in studio è posta in un settore appartenente all'insieme dei "Bacini Neogenici Tosco - Laziali" (Aquater, 1981), a causa dell'evoluzione tettonica che ha interessato questo settore nel corso del Neogene.

Considerando lo schema neotettonico d'Italia, redatto dal CNR nell'ambito del Progetto finalizzato alla "Geodinamica", si osserva che l'area peritirrenica rientra tra le aree in cui si è verificato un abbassamento seguito da un sollevamento in tempi molto recenti, con alcune aree soggette a movimenti intensi e pressoché continui, sviluppatasi secondo uno schema a blocchi; in tale contesto geodinamico, l'attività sismica interessa prevalentemente il Settore Senese.

5.2 SIMITICITÀ STORICA (1000 - 1980)

Secondo i dati di sismicità storica riportati nel catalogo dei terremoti per il periodo 1000-1980 (C.N.R. – Progetto Finalizzato Geodinamica, Postpischl, 1985), il Grossetano, è stato interessato da pochi eventi (fino a 10), con profondità focali fino a 30 km ed intensità minori o uguali al V grado M.C.S.; il Senese, a Nord dell'area di progetto, è stato invece interessato da molti eventi (fino a 100), con profondità focali fino a 30 km ed intensità fino all'VIII grado M.C.S.

La sismicità storica dell'area in studio è stata caratterizzata attraverso la costruzione di un catalogo macrosismico locale che, oltre a fornire un ordine di grandezza delle intensità osservate, consente di delineare un quadro dettagliato della provenienza dei terremoti, individuando e caratterizzando le principali aree sismogenetiche (i.e. aree che presentano un regime sismico e caratteristiche sismotettoniche più o meno omogenee) da cui hanno avuto origine i terremoti. L'insieme di questi dati costituisce quindi la base minima necessaria per le valutazioni di pericolosità sismica dell'area.

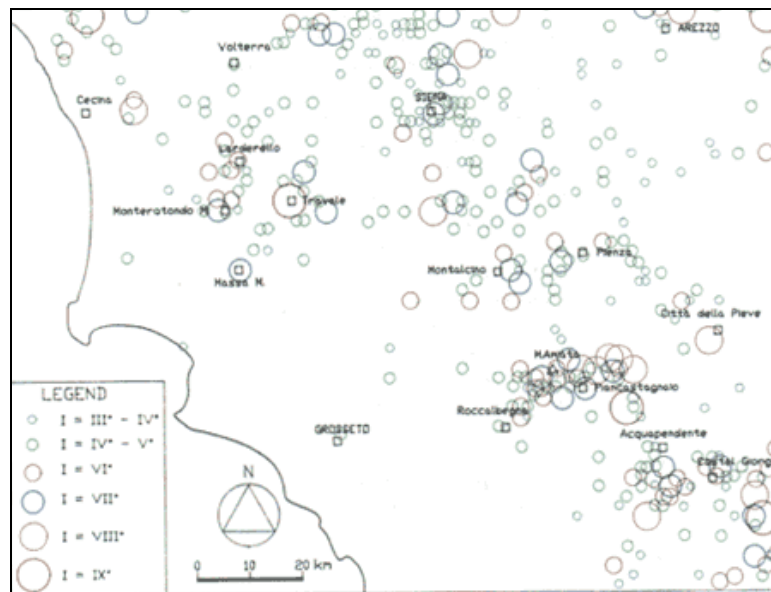


Fig. 17 - Sismicità storica delle località della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS). Rappresentazione schematica (ENEL, 1995)

I dati riportati nel Catalogo Nazionale dei Terremoti, per la Toscana meridionale, coprono il periodo dall'anno 1000 sino al 1980, seppur con diverso grado di accuratezza: gli eventi di intensità minore, III-IV grado della scala Mercalli – Cancani - Sieberg (MCS) sono riportati dal 1900, mentre dal 1790 solo quelli dal V-VI in su, dal 1700 quelli dal VII-VIII e dal 1000 solo gli eventi più disastrosi (>VIII grado della scala MCS).

Gli effetti dei terremoti dipendono evidentemente non solo dalla forza del terremoto e dal pattern di propagazione dell'energia sismica, ma anche dalla morfologia dell'area, dal suo assetto geologico e strutturale, dagli effetti di sito e dal livello di vulnerabilità del patrimonio edilizio storico e civile dei centri urbani. In particolare, una prima determinazione della sensibilità sismica del territorio è possibile considerando che essa risulta direttamente proporzionale ai massimi valori di intensità macrosismica registrata nel territorio stesso (secondo il principio per cui le caratteristiche dell'attività sismica di un'area si mantengono nel tempo).

| Comune | Provincia di GROSSETO | | | | | |
|-----------|-----------------------|-------|------|----------|----------|------|
| | Reg. | Prov. | Com. | Lat. | Long. | Imax |
| CAPALBIO | 9 | 53 | 3 | 42.45404 | 11.41998 | <=6 |
| FOLLONICA | 9 | 53 | 9 | 42.92365 | 10.75438 | <=6 |
| GAVORRANO | 9 | 53 | 10 | 42.92489 | 10.90664 | <=6 |
| GROSSETO | 9 | 53 | 11 | 42.76003 | 11.11475 | <=6 |
| ORBETELLO | 9 | 53 | 18 | 42.43738 | 11.21097 | <=6 |
| SCARLINO | 9 | 53 | 24 | 42.90761 | 10.85191 | <=6 |

Tabella 1 - Massime intensità macrosismiche osservate nella Provincia di Grosseto (Periodo 1000 – 1980)

Il catalogo storico adottato contiene 2.488 eventi degli ultimi 1000 anni, la cui intensità epicentrale è maggiore o uguale al V-VI grado MCS o la cui magnitudo Ms è maggiore o uguale a 4.

5.3 SIMICITÀ STORICA (1000 - 2014)

Il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani “CPT15” permette la consultazione on-line dei terremoti verificatisi nel territorio italiano nel periodo 1000 al 2014.

Oltre al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPT15), altri data-base sono consultabili on-line al portale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. In particolare un ulteriore quadro di riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (consultabile on-line al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>), l'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11 (Locati et al., 2011). DBMI fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le “storie sismiche” di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI tendono a essere pubblicati allo stesso tempo e usando una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web, uno dedicato a DBMI, e uno a CPTI. Con la versione 2015 si è deciso di rendere disponibile le due banche dati DBMI15 e CPTI15 (Rovida et al., 2016) da un unico punto di accesso online al fine di rendere più comoda e funzionale la consultazione.

DBMI15 contiene 12.2701 dati di intensità relativi a 3.212 terremoti. I 12.2701 MDP sono riferiti a circa 20.000 località di cui 15.213 in territorio italiano, che vanno complessivamente a coprire 7702 comuni degli 8047 esistenti in Italia (ISTAT, 2015). Consultando il sito web è possibile ottenere la storia sismica di ciascuna località italiana identificata, cioè l'elenco dei terremoti che hanno prodotto effetti macrosismici in quella data località.

Nella tabella seguente (Tabella 2) viene riportato, con riferimento alle località di Capalbio e Orbetello, l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4, i valori relativi alla

intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

| I[MCS] | Data | Ax | Np | Io | Mw |
|------------------|------------------|--------------------------|------|-----|------|
| CAPALBIO | | | | | |
| 3 | 1919 10 22 06:05 | Anzio | 142 | 6-7 | 5.22 |
| 3 | 1971 02 06 18:09 | TUSCANIA | 89 | 7-8 | 4.83 |
| 4 | 1980 09 08 19:41 | Costa Grossetana | 55 | 5-6 | 4.44 |
| NF | 1980 11 23 18:34 | Irpinia-Basilicata | 1394 | 10 | 6.81 |
| NF | 1984 04 29 05:02 | GUBBIO/VALFABBRICA | 709 | 7 | 5.62 |
| NF | 1987 01 22 05:10 | LIVORNO | 157 | 5-6 | 4.15 |
| ORBETELLO | | | | | |
| F | 1742 01 27 11:20 | Livornese | 16 | 6 | 4.87 |
| F | 1846 08 14 12:00 | Colline Pisane | 121 | 9 | 6.04 |
| NF | 1904 11 17 05:02 | Pistoiese | 204 | 7 | 5.10 |
| NF | 1987 05 15 13:42 | Tirreno meridionale | 85 | 5 | 4.52 |
| NF | 1905 02 12 08:28 | Monte Amiata | 61 | 6 | 4.55 |
| NF | 1909 01 13 00:45 | Emilia Romagna orientale | 867 | 6-7 | 5.36 |
| 4 | 1909 08 25 00:22 | Crete Senesi | 259 | 7-8 | 5.34 |
| NF | 1911 09 13 22:29 | Chianti | 115 | 7 | 5.08 |
| NF | 1915 01 13 06:52 | Marsica | 1041 | 11 | 7.08 |
| NF | 1919 06 29 15:06 | Mugello | 565 | 10 | 6.38 |
| 2 | 1919 09 10 16:57 | Val di Paglia | 67 | 7-8 | 5.36 |
| NF | 1919 10 22 06:05 | Anzio | 142 | 6-7 | 5.22 |
| NF | 1920 09 07 05:55 | Garfagnana | 750 | 10 | 6.53 |
| NF | 1940 10 16 13:17 | Val di Paglia | 106 | 7-8 | 5.29 |
| 2 | 1971 02 06 18:09 | TUSCANIA | 89 | 7-8 | 4.83 |
| 5 | 1880 09 08 19:41 | Costa Grosstana | 55 | 5-6 | 4.44 |
| NF | 1984 04 29 05:02 | Umbria settentrionale | 709 | 7 | 5.62 |
| NF | 1987 01 22 05:10 | Costa Pisano - Livornese | 157 | 5-6 | 4.15 |

Tabella 2 – Emidius: Storia sismica di Capalbio [42.454, 11.420] numero di eventi: 6 e Orbetello [42.437, 11.211] numero di eventi: 18 (accesso dell'ottobre 2016). "Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>".

Nel grafici seguenti (Fig. 18) viene riportato, con riferimento ai comuni di Capalbio e di Orbetello, l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4.

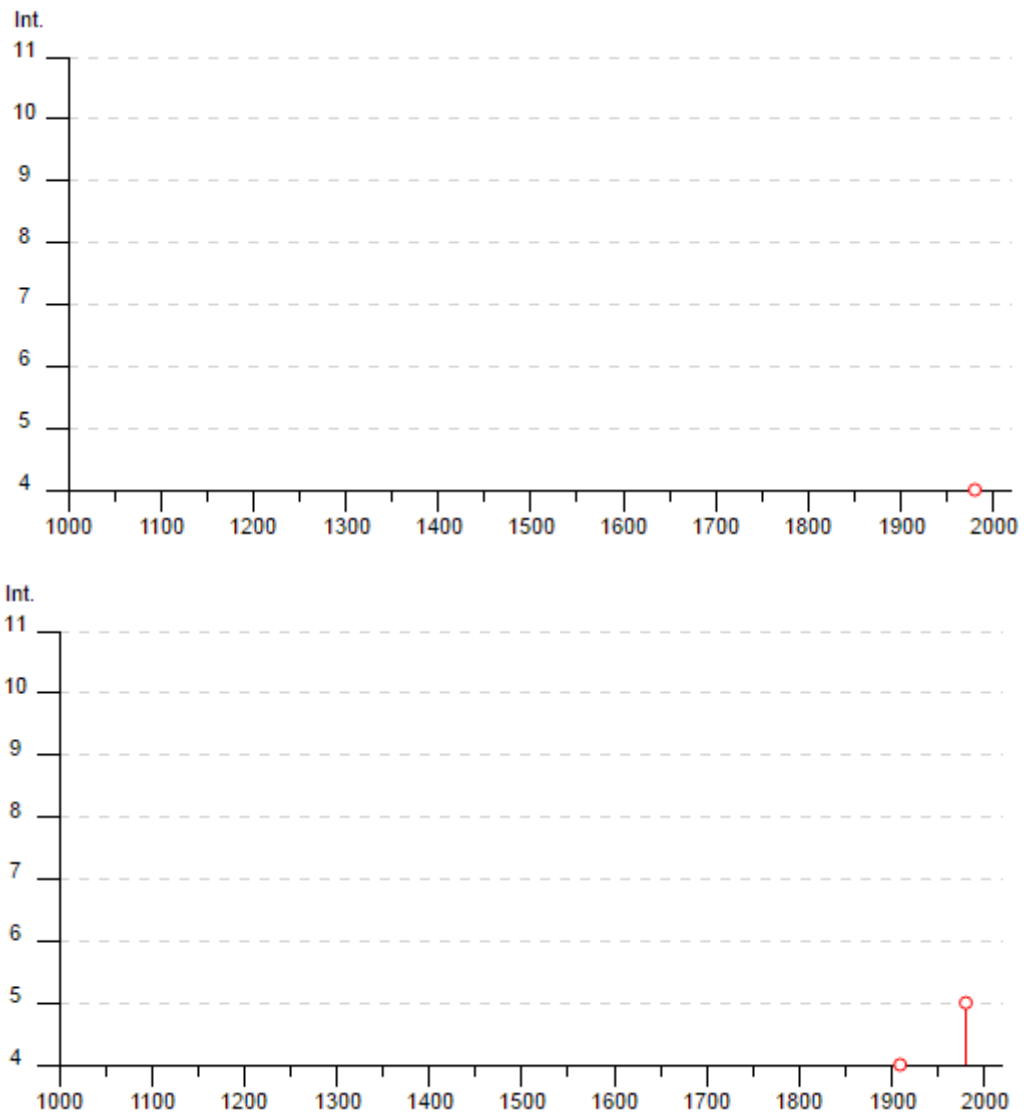


Fig. 18 - Intensità macrosismiche registrate dal data base DBM15 per il comune di Capalbio e Orbetello. Ottobre 2016

In figura 19 sono riportate le massime intensità macrosismiche nelle province toscane.

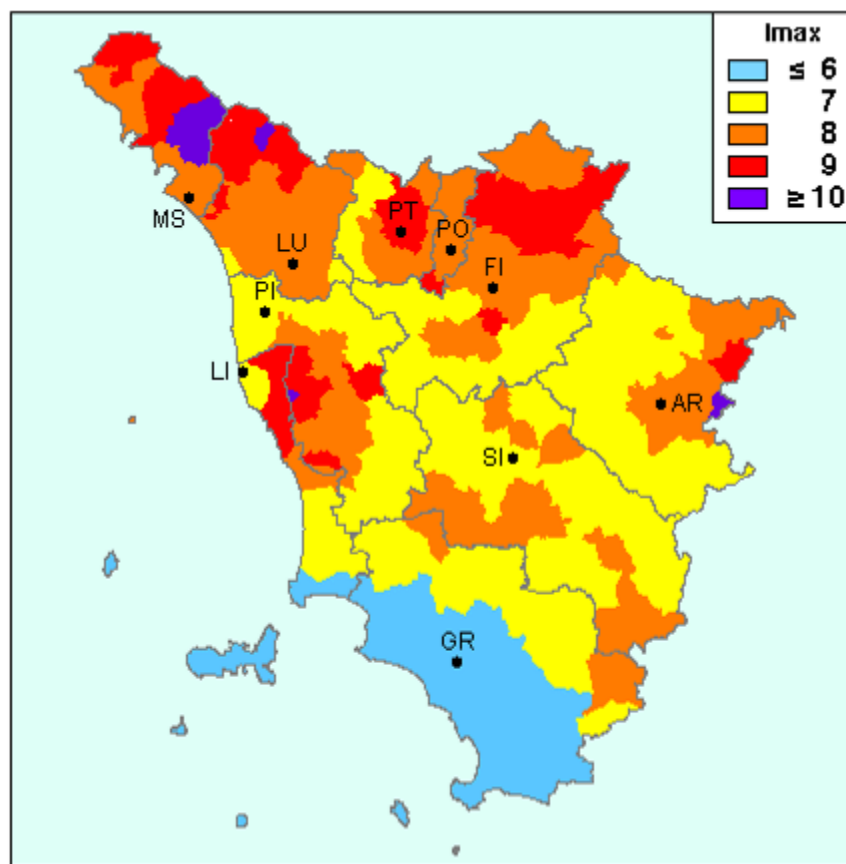


Fig. 19 – Mappa delle massime intensità macrosismiche in Toscana (tratta da: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/9.html)

5.4 SISMICITÀ STRUMENTALE (ISIDE 2005- 2016)

La figura 20 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Data Base ISIDE (database parametrico e strumentale della sismicità italiana) in un'area 30 km di raggio sul Comune di Orbetello. In tale area, per l'intervallo di tempo considerato, sono segnalati n. 10 terremoti con profondità media di 7,92 km (profondità massima 10,1 km, profondità minima 2,8 km) e magnitudo medio pari a 1.13 (magnitudo massima 2,4, magnitudo minima 0.2).

Il Catalogo fornisce i parametri dei terremoti ottenuti integrando i dati provenienti da localizzazioni effettuate in tempo quasi-reale con i dati del Bollettino Sismico Italiano.



Fig. 20 – Database "Terremoti recenti" periodo 2005-2016 in un'area di raggio pari a 30 km sul comune di Orbetello (Fonte: Italian Seismic Instrumental and parametric Data-base – ISIDE). Accesso ottobre 2016.

5.5 FAGLIE CAPACI

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 è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI2007.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults” disponibile on-line sul “Geoportale di ISPRA Ambiente. Come si può osservare dalla figura 21 nell’area di studio, evidenziata dal cerchio giallo, non sono segnalate faglie capaci.



Fig. 21 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" Il cerchio giallo individua l'area di studio. Accesso dell'ottobre 2016.

Il database è in continuo aggiornamento, maggiori informazioni si possono avere consultando le pagine web del progetto, poiché i dati vengono continuamente revisionati.

5.6 STRUTTURE SIMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non possono essere definite solamente attraverso la classica analisi geomorfologica. Molti dati sulle sorgenti sismogenetiche derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici. L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di individuare le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Secondo la zonazione sismogenetica attualmente in vigore (chiamata ZS9), la l'area di studio ricade nella "zona tirrenica" in una fascia di transizione tra la zona 921 e 922 (Fig. 22).

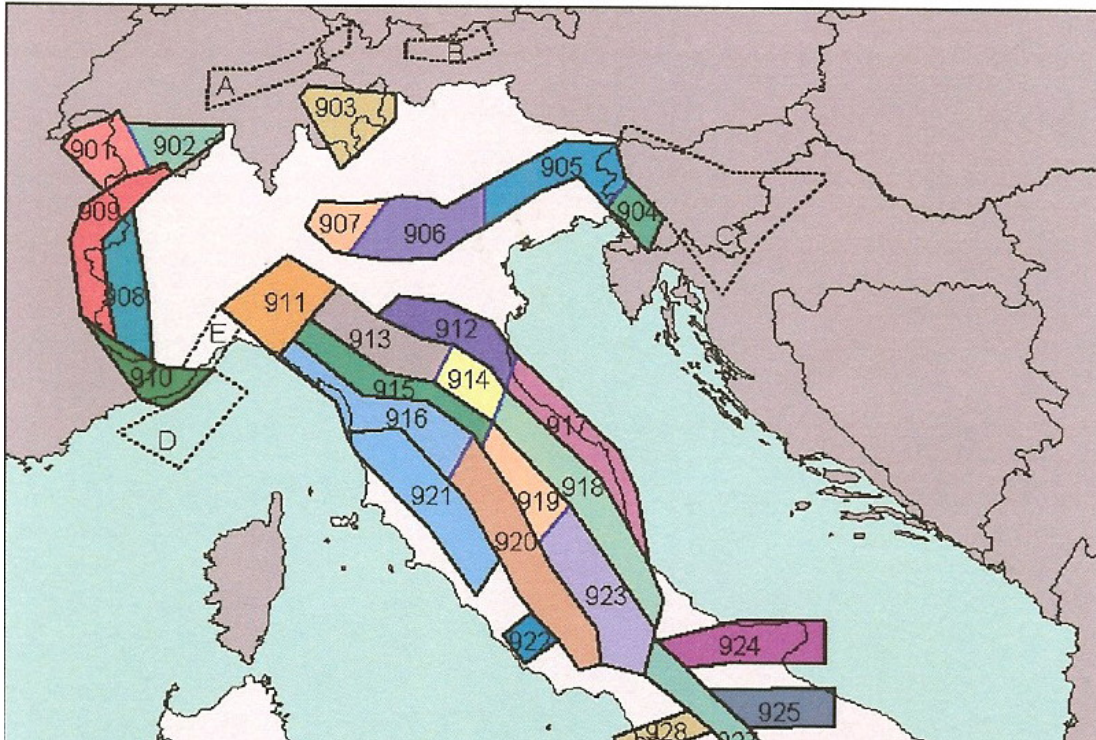


Fig. 22 - Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Italia centro-settentrionale (INGV, 2004).

Nella fascia tirrenica vengono definite le zone 921 e 922 che racchiudono aree caratterizzate da elevato flusso di calore. L'intero settore è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri. La separazione di questo settore in due zone è dovuta alla presenza di un'area intermedia, coincidente con il vulcano sabatino e con l'Agro Romano, pressoché priva di sismicità.

Il Lazio e la Toscana sono caratterizzate da una sismicità che si distribuisce lungo fasce (zone sismogenetiche) a caratteristiche sismiche omogenee, 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.

In particolare si può notare come tutta l'area della provincia di Grosseto adiacente alla costa tirrenica interessata dal progetto non rientri in nessuna delle zone sismogenetiche individuate.

La figura 23 evidenzia le aree sismogenetiche prossime al tracciato di progetto (pologoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi,

caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni).

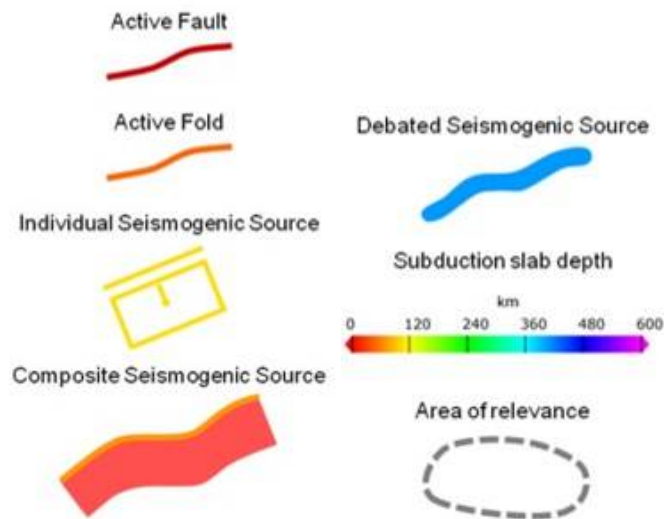
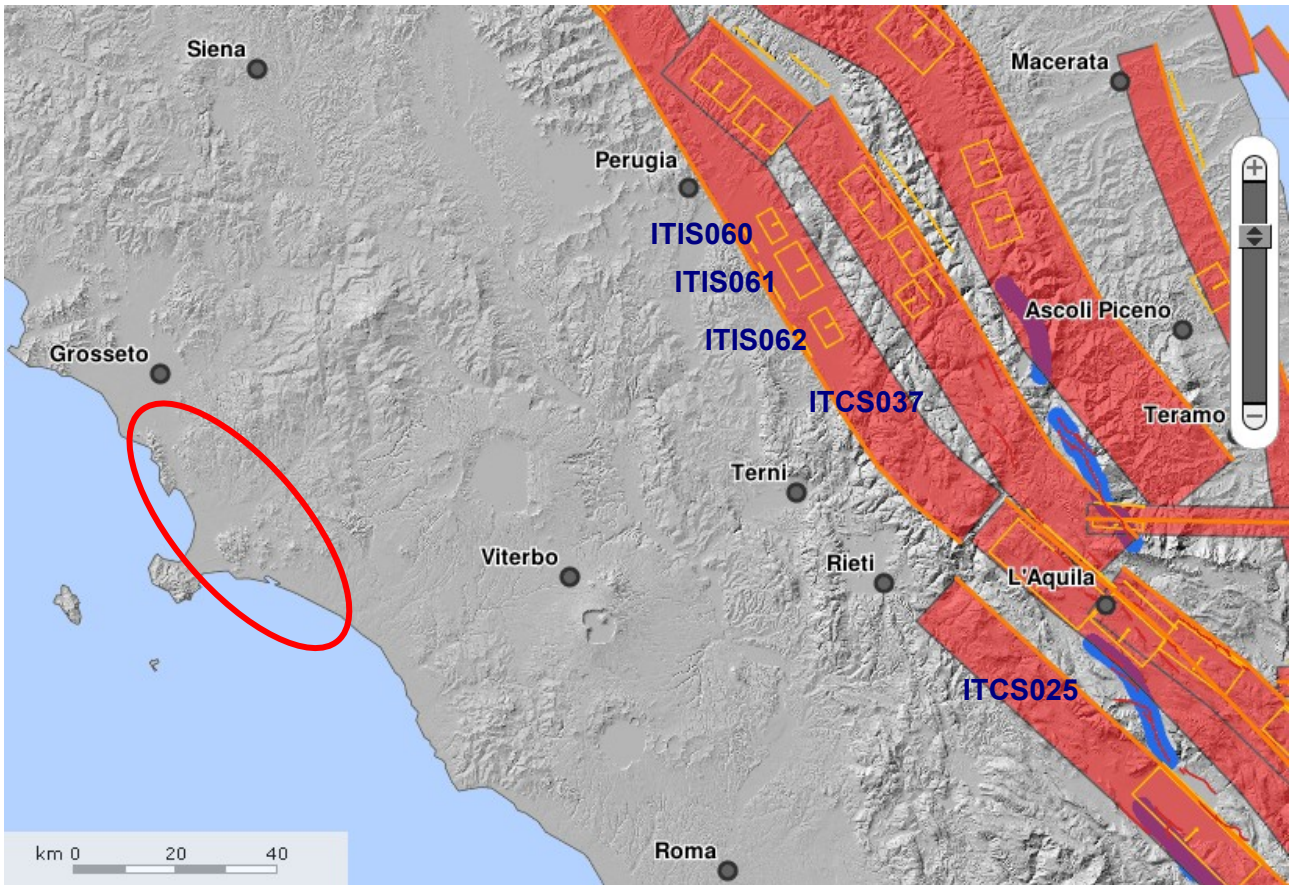


Fig.23 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2). Il cerchio rosso individua l'area di studio. Accesso dell'ottobre 2016.

Come si può osservare dalla figura 23 l'area di studio si colloca ad una distanza superiore ai 100 km dalle zone sismo genetiche ITIS060-Bastia ITIS061-Foligno, ITIS062 Trevi, ITCS037-Mugello-Città Castello-Leonessa; ITCS025 Salto lake, Ovindoli, Barrea, ecc.

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri, i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia); gli altri due caratteri identificano il tipo di dati (IS - Individual Seismogenic Source, CS-Composite Seismogenic Source, DS-Debated Seismogenic Source).

Le tabelle seguenti sintetizzano le principali caratteristiche delle strutture sismogenetiche menzionate:

Di seguito si riporta una sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse:

- **Bastia ITIS060:** risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 2 e 4 km e Max magnitudo momento Mw pari a 5.4 (ultimo aggiornamento ottobre 2005).
- **Foligno ITIS061:** risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 2 e 5 km e Max magnitudo momento Mw pari a 5.8 (ultimo aggiornamento ottobre 2005).
- **Trevi ITIS062:** risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 2 e 4,3 km e Max magnitudo momento Mw pari a 5.5, sorgente correlata ITCS037 (ultimo aggiornamento ottobre 2005).
- **Mugello Città di Castello Leonessa ITCS037:** risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 0,5 e 8,0 km e Max magnitudo momento Mw pari a 6,2, sorgenti correlate ITIS063 ITIS064 ITIS060 ITIS061 ITIS062 ITIS076 ITIS086 ITIS087 (ultimo aggiornamento aprile 2010).
- **Salto Lake-Ovindoli-Barrea ITCS025:** risulta associabile a terremoti con profondità comprese tra 1,0 e 14,5 km e Max magnitudo momento Mw pari a 6,7, sorgenti correlate ITIS002 ITIS028 (ultimo aggiornamento aprile 2010).

5.7 EVOLUZIONE RECENTE DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274, recepita dalla Regione Toscana con DGR n. 878 26 maggio 2014 (atti di recepimento a marzo 2015), suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche". Dove:

| | |
|--------|---|
| Zona 1 | E' 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 inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti. |
| Zona 4 | E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono bassi. |

In conformità a tale normativa, i comuni Orbetello e di Capalbio (Codice Istat 56018 e 53003), in cui si collo l'area di studio ricadono in Zona sismica 4.



Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della protezione civile
Ufficio rischio sismico e vulcanico

Classificazione sismica al 2015

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.

Atti di recepimento al 1° giugno 2014. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447. Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 19/11/10, n. 1362. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129. Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 2/8/06, n. 1171. Piemonte: DGR 12/12/11, n. 4-3084. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31. Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111. Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603

Fig 24 - Classificazione Sismica al 2015 (Dipartimento di Protezione Civile, Ufficio rischio simico e Vulcanico)

Con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica della regione Toscana, relativo all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012. Tale aggiornamento dell'elenco di classificazione sismica è divenuto necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1 gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali (Fig. 25).

MAPPA DI AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA
REGIONE TOSCANA – 2014

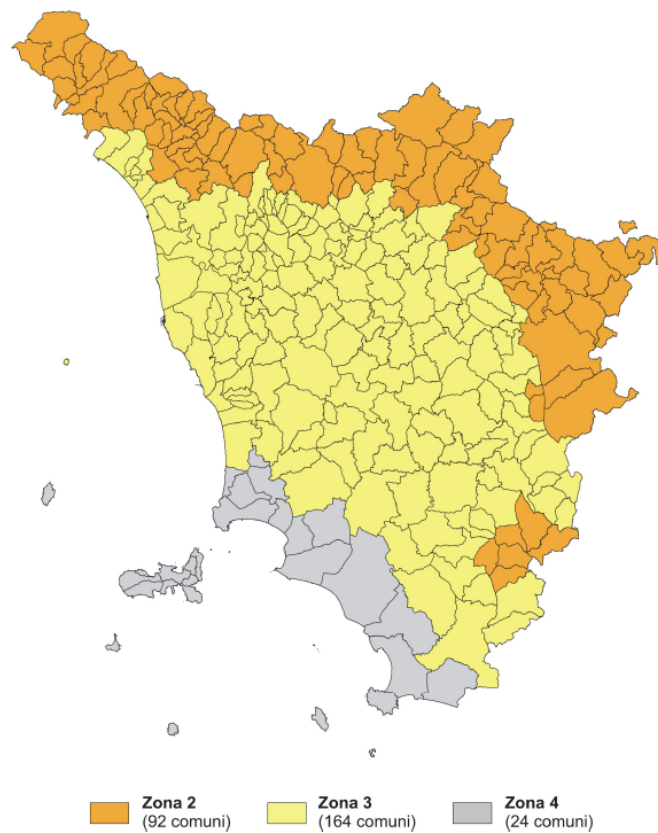


Fig 25 – Deliberata G.R.T. n 421 26/05/2014 "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. n. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. n. 14/01/2008"

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003 si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia.

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

Un ulteriore affinamento delle zone sismiche è stato fatto **con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519** recante "Criteri generali per l'individuazione delle

zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", in cui sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche che supera il concetto di categoria legato alle suddivisioni amministrative della precedente Ordinanza.

Con il medesimo provvedimento è stata approvata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale che contiene le accelerazioni orizzontali massime convenzionali al suolo di tipo A, necessarie per redigere il calcolo sismico delle costruzioni. Questi ultimi sono ricavabili dalla carta di pericolosità sismica introdotta dall'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 nella quale i valori di accelerazione a_g sono indicati su una maglia di 0,02 gradi.

Nella Figura 26 è riportato uno stralcio della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" con un dettaglio sulla Regione Valle d'Aosta, redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 sopra citata, che assume il ruolo di riferimento ufficiale per eventuali aggiornamenti della zonazione sismica del territorio da parte dei soggetti che ne hanno la competenza territoriale ovvero le Regioni.

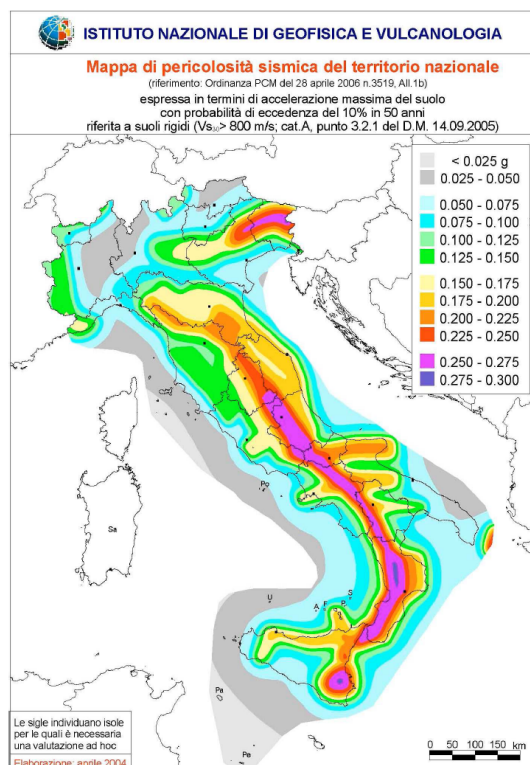


Fig. 26 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Opcm n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

| 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 | $a_g \leq 0.05$ |

I nuovi criteri per l'individuazione della zona sismica si basano su un elaborato grafico che rappresenta il territorio italiano in 12 fasce di valori di PGA di riferimento (valore massimo, o picco) di accelerazione del suolo attesa); innovando le disposizioni dell'O.P.C.M. 3274/03, oltre ai valori standard delle accelerazioni riferite a suoli rigidi viene fornita anche una stima dell'incertezza, tramite predefiniti percentili della distribuzione associata.

Quindi la OPCM 3519/2006 di fatto supera il concetto stesso di zonazione, imponendo valori discretizzati nello spazio. In sostanza si è passati da una mappa di pericolosità sismica utilizzabile dalle Regioni come riferimento per aggiornare l'assegnazione di un Comune a una delle 4 zone sismiche a una dettagliata descrizione dello scuotimento atteso, espresso in termini di parametri ingegneristici.

Successive elaborazioni (Progetto INGV-DPC S1, realizzato nell'ambito della Convenzione triennale 2004-2006 fra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, e INGV, avente come oggetto l'assistenza scientifica e manutenzione dell'elaborato di pericolosità rilasciato nel 2004) hanno portato ad ampliare la disponibilità di valori di pericolosità, riferiti a diverse probabilità di eccedenza, e/o valori di accelerazione spettrale.

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozone 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. Le zone sismiche tradizionali dell'Ordinanza 3274 sopravvivono solo per scopi amministrativi e per la zona 4.

Per calare la normativa in ambito locale, va ricordato che la classificazione nazionale e la mappa di pericolosità di cui all'Ordinanza 3519/2006 esprimono la sismicità di un'area sulla base dei terremoti avvenuti in epoca storica e della distanza dalle potenziali sorgenti sismogenetiche, senza considerare le caratteristiche locali del territorio che possono modificare il moto sismico atteso, soprattutto in termini di amplificazione.

Per una più rigorosa analisi della risposta sismica locale vanno quindi considerate sia le caratteristiche della superficie topografica che quelle stratigrafiche le quali possono modificare il moto sismico in superficie favorendo fenomeni di instabilità.

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona (e quindi territorio comunale) precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera.

Un valore di pericolosità di base, definito dunque per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio Civile, ecc.).

Le stime di pericolosità sismica proposte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica; tali parametri sono proposti nell'allegato A del Decreto Ministeriale.

I Programma sperimentale "Spettri di risposta" - Fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale (vers. 1.0.3).

6 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è stata analizzata sotto il profilo geomorfologico mediante fotointerpretazione in visione stereoscopica e con verifiche sul terreno dei dati acquisiti, al fine di discriminare e riconoscere l'insieme delle forme e dei fenomeni che possano avere interesse pratico nei confronti della realizzazione delle opere in progetto. Gli elementi derivati dalla fotointerpretazione risultano in buon accordo con quanto rilevato direttamente in sito, in ogni caso le verifiche di campagna e le risultanze delle indagini geognostiche hanno consentito di completare le indicazioni fornite dalla fotointerpretazione, definendo un quadro geomorfologico dettagliato dell'area, rappresentato nell'ambito della cartografia geomorfologica allegata al presente progetto.

6.1 METODOLOGIA

Per la realizzazione della carta geomorfologica è stata utilizzata sia la documentazione esistente sia l'interpretazione originale di foto aeree mediante stereoscopio. L'indagine è stata completata da sopralluoghi in sito per la verifica dei principali elementi riconosciuti e loro integrazione.

Per quanto concerne la cartografia esistente sono stati consultati i dati presenti nelle carte geomorfologiche allegata ai Piani Strutturali dei Comuni di Orbetello e Capalbio.

Relativamente alle tematiche del carsismo e dei *sinkholes* sono stati consultati il Censimento delle cavità carsiche della Regione Toscana e la banca dati di I.S.P.R.A. (ex APAT).

Le foto aeree utilizzate per l'interpretazione appartengono a due voli distinti, il primo è il volo EIRA in b/n del 1976 alla scala approssimativa di 1:13.000, il secondo al volo C.G.R. a colori del 2010 alla scala di circa 1:14.000 realizzato nell'ambito degli studi per l'opera in progetto.

I fotogrammi di entrambe le riprese risultano di buona qualità con assenza di coperture nuvolose, la copertura stereoscopica è completa su tutto il tracciato, a meno di una modestissima porzione sul margine nord per il solo volo in b/n.

Nelle seguenti tabelle si riporta l'elenco dei fotogrammi utilizzati:

| Volo EIRA - 1976 | |
|------------------|------------|
| Strisciata | Fotogrammi |
| 96 | 516 ÷ 519 |
| 97 | 600 ÷ 602 |
| 98 | 445 ÷ 446 |

| Volo EIRA - 1976 | |
|--------------------|-------------|
| 99 | 508 ÷ 510 |
| 100 | 367 ÷ 369 |
| Volo EIRA - 1976 | |
| 101 | 300 ÷ 303 |
| 102 | 289 ÷ 292 |
| 103 | 248 ÷ 252 |
| 104 | 196 ÷ 211 |
| 105/B | 220 ÷ 233 |
| Volo C.G.R. - 2010 | |
| Strisciata | Fotogrammi |
| 2 | 8015 ÷ 8017 |
| 2 | 8018 ÷ 8029 |
| 3 | 8075 ÷ 8081 |
| 4 | 8084 ÷ 8097 |

6.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU

Ad integrazione di quanto emerso dall'analisi geomorfologica effettuata mediante foto interpretazione, si è provveduto alla verifica in campagna, con restituzione cartografica alla scala 1:5000, degli elementi di maggior interesse progettuale.

6.3 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA

Sulla base delle informazioni acquisite, è stato ricostruito il quadro geomorfologico dell'area di studio. Tutte le forme riconosciute sul territorio sono state riportate nella cartografia tematica geomorfologica (scala 1:5.000) mediante l'utilizzo di simboli areali, lineari e puntuali; le descrizioni riportate nei seguenti paragrafi esplicitano alcune precisazioni relativamente ai contenuti della legenda ed alla diffusione dei fenomeni riconosciuti lungo il tracciato.

6.4 DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI.

L'analisi geomorfologica individua e riconosce le varie forme fisiche prodotte dagli agenti morfogenetici come la gravità, lo scorrimento delle acque superficiali, la dissoluzione chimica l'azione del vento, del mare e l'opera dell'uomo. Questo tipo di rilievo permette di ricostruire il quadro dinamico delle modificazioni del territorio che avvengono in maniera lenta o veloce a seconda del prevalere delle dinamiche fisiche su quelle indotte dalle attività antropiche.

La possibilità di osservare due distinti passaggi temporali, con riprese distanti 34 anni l'una dall'altra, ha permesso di effettuare alcune considerazioni sull'evoluzione recente di alcuni dei processi che modellano il paesaggio ed in particolare di quelle erosive ed antropiche.

La legenda utilizzata per la catalogazione e la descrizione dei fenomeni geomorfologici è stata quindi costruita differenziando le forme dovute ai vari agenti morfogenetici che nel tratto esaminato sono:

- Forme e processi dovuti a gravità e processi di pendio;
- Forme e processi dovuti allo scorrimento delle acque;
- Forme carsiche;
- Forme strutturali;
- Forme di origine marina ed eolica;
- Forme e processi antropici.

All'interno di queste principali categorie si è tenuto conto dell'attività delle forme rilevate che sono state distinte, quando possibile e significativo, in forme attive, quiescenti ed inattive; le prime indicano fenomeni che possono costituire condizioni di rischio reale tali da imporre interventi di messa in sicurezza, anche se in grado differente, mentre le forme inattive possono costituire situazioni di pericolosità potenziale che possono eventualmente degenerare in occasione di eventi meteorici eccezionali o di impropri interventi di trasformazione del suolo.

La carta geomorfologica contiene anche informazioni relative a tematismi ricavabili da fonti bibliografiche in particolare areali con problematiche di deflusso legate alla morfologia e all'andamento piano - altimetrico del territorio (zone a pericolosità idraulica).

I processi gravitativi comprendono fenomeni franosi e di soliflusso, le forme mappate sono orli ed accumuli di frana, orli di scarpate di degradazione attive e non attive, scarpate morfologiche con orlo arrotondato e variazioni di inclinazione dei versanti.

Per quanto attiene alle forme legate allo scorrimento delle acque sono state cartografate le zone con erosione areale diffusa, le aree con difficoltà di drenaggio e con drenaggio endoreico, le zone umide, gli alvei abbandonati, i corsi d'acqua in approfondimento, le forme di erosione incanalata, le conoidi, le vallecole a fondo concavo, i corpi d'acqua.

Le forme carsiche riconosciute sono le doline e gli ingressi di cavità ipogee.

Le forme di origine marina presenti sono falesie e dune costiere.

Le forme strutturali riguardano le lineazioni riconosciute da fotointerpretazione.

I processi e le forme antropiche sono state suddivisi in: orli di scarpata di sbancamento, rilevati (strade e ferrovie), rilevati per opere civili, le aree di cava distinte in cave inattive ed in cave recuperate e rinaturalizzate, argini e sbarramenti artificiali e discariche.

L'area esaminata presenta delle problematiche di tipo idraulico legate alla conformazione morfologica del territorio, sono state pertanto riportate le zone segnalate dal Bacino Regionale del Fiume Ombrone a Pericolosità idraulica molto elevata traendo queste informazioni dal: "Piano di Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" e successivi aggiornamenti approvati.

6.4.1 Forme di versante dovute alla gravità

Nicchia di frana

Si tratta di scarpate, con orlo generalmente netto, che marciano una rottura di pendio di forma concava, ad arco, sono raggruppate in due differenti tipologie la cui distinzione viene fatta in base al grado di attività ovvero se riferite a fenomeni quiescenti o non attivi.

Accumulo di frana

Si tratta di accumuli di materiale generati da movimenti su versante. Nell'area indagata sono presenti in due principali categorie le frane quiescenti e le frane inattive o antiche. Per forme quiescenti si intendono quelle con processi gravitativi non in atto, recenti, e probabilmente non ancora completamente stabilizzati. Per forme non attive o antiche si intendono tutti quei processi

avvenuti nel passato, talora in condizioni morfologiche e climatiche diverse da quelle attuali e che comunque ad oggi mostrano di avere raggiunto un loro grado di equilibrio. Questo equilibrio può tuttavia alterarsi a seguito di particolari eventi naturali o di consistenti interventi antropici, questa considerazione è, a maggior ragione, valida per i fenomeni quiescenti.

Una ulteriore suddivisione è stata fatta sulla base del tipo di movimento. Si sono distinti i fenomeni di scorrimento laddove si individua un movimento che comporta uno spostamento per taglio lungo una o più superfici cercando di individuare se di tipo traslazionale (scivolamento) o rotazionale (scoscendimento).

Al km 3+100 circa il tracciato lambisce il piede di un corpo di frana antica di scivolamento (rilievi collinari di Poggio Civitella).

All'interno delle frane di colamento si collocano tutte quelle deformazioni, lente o veloci, per le quali non sono individuabili dei piani di taglio ben definiti e che danno generalmente luogo a movimenti ritmici annuali; queste ultime interessano soprattutto i terreni a prevalente componente argillosa.

Una ulteriore tipologia riscontrata è costituita dalle frane di crollo caratterizzate da un distacco improvviso di masse di roccia disposte su pareti molto ripide o scarpate.

Frane non fedelmente cartografabili

Movimenti gravitativi di tipo puntuale non rappresentabili alla scala di lavoro.

Nel tratto in esame questa tipologia di dissesto è stata cartografata a sul versante a monte del tracciato in prossimità del chilometro 3+050 (Rilievi collinari di Poggio Civitella).

Superficie interessata da soliflusso o creep

Il soliflusso ed il creep sono tipologie di movimento superficiale correlabili a deformazioni plastiche del terreno, che possono verificarsi anche su pendenze limitate. La lentezza di questo tipo di processo e la mancanza di evidenti superfici di taglio o di nicchie di distacco modella il terreno in maniera non appariscente e quindi anche la delimitazione areale del fenomeno diventa talora difficoltosa. Per tale motivo non si è soliti perimetrare il fenomeno, ma lo si evidenzia mediante l'uso di una simbologia discreta. Le zone soggette a soliflusso devono essere considerate con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni, che possono essere equiparati a frane attive di coltre

Nel tratto in esame questa tipologia di dissesto è stata cartografata a sul versante a monte del tracciato in prossimità del chilometro 2+650 (Rilievi collinari di Poggio Civitella).

Scarpata di degradazione

Si tratta di brusche rotture di pendio che possono essere determinate da vari fattori tra cui semplici variazioni litologiche o particolari assetti strutturali degli ammassi rocciosi. Questa forma può essere attiva o non attiva, e generalmente è indicativa di condizioni d'equilibrio precarie, ovvero di situazioni che potrebbero dar luogo a dissesti nel caso in cui si verificassero incauti interventi antropici, azioni sismiche o variazioni della capacità erosiva delle acque superficiali.

Variazione di inclinazione del versante

Si tratta di aree marginali, di pianori in quota con debole pendenza o di aree di crinale subpianeggianti che, in poche decine di metri, subiscono un incremento la pendenza fino a formare un versante da mediamente a molto inclinato.

Scarpata morfologica con orlo arrotondato

Si tratta di modeste variazioni di pendenza di un versante che determinano la formazione di un piccolo gradino, generalmente con orlo molto ben arrotondato e pertanto testimoniano una situazione attuale di sostanziale equilibrio geomorfologico; tali forme possono essere utili per focalizzarsi sull'evoluzione recente del paesaggio. Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali

6.4.2 Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali

Alveo abbandonato

In prossimità della foce dell'Albegna si sono osservate delle forme attribuibili a quelle di alveo abbandonato. In queste forme l'indizio più appariscente è dato dalla presenza di ambiti depressi rispetto al contesto circostante. Si rinvengono lungo la costa mentre nell'interno le tracce sono state probabilmente obliterate dalle opere di bonifica che hanno mascherato eventuali forme arcuate marcate da piccole depressioni.

Corso d'acqua in approfondimento

Alcune incisioni vallive mostrano fenomeni di erosione laterale ed un profilo con fondo inciso. Questo processo può, in qualche caso, evolvere e generare condizioni di instabilità lungo l'orlo della scarpata fluviale o dei versanti che vengono scalzati al piede.

Vallecola con fondo concavo (U)

In molti casi le vallecole presenti sui versanti meno acclivi hanno una forma concava a testimonianza dell'assenza di fenomeni erosivi di fondo e del raggiungimento di una sorta di equilibrio geomorfologico locale tra le pendenze del fondo e la capacità erosiva delle acque incanalate, talora queste morfologie sono determinate anche dalle pratiche colturali che tendono a mascherare nel corso delle stagioni eventuali solchi di erosione. Da un confronto tra le foto aeree attuali e quelle degli anni '70 si è osservato che, in tutta l'area di indagine, queste forme di sostanziale equilibrio risultano notevolmente aumentate nel tempo a scapito dei fenomeni erosivi lineari.

Erosione areale diffusa

Sono quelle aree ove avviene un trasporto delle particelle detritiche lungo linee di massima pendenza ad opera del velo d'acqua che ricopre diffusamente il suolo, il quale subisce un logoramento pressoché uniforme su tutta la superficie. Questo fenomeno è caratterizzato da un finissimo reticolato di rivoli, i quali si distribuiscono sul pendio in maniera diversa nel tempo, i solchi generati, nelle zone coltivate, vengono facilmente eliminati dalle lavorazioni agrarie stagionali. Queste forme sono presenti in piccoli areali, queste fenomenologie risultano meno estese attualmente rispetto agli anni '70.

Erosione incanalata (rill)

Nelle aree collinari, in particolare nella parte sud del tracciato in esame, si osserva la presenza di solchi erosivi tipo "rill" in alcune vallecole, è possibile individuare localmente, al termine del solco, i depositi colluviali di neo formazione e marcati dall'assenza di vegetazione.

Conoide alluvionale

Allo sbocco in pianura di alcuni corsi d'acqua minori è possibile individuare la presenza di un cono alluvionale che si sviluppa al piede dei versanti. Queste risultano attualmente delle forme relitte in quanto molto spesso il bacino di alimentazione non giustifica la presenza di depositi di tali dimensioni ed ampiezza.

Area con drenaggio endoreico (EN)

Nelle aree collinari immediatamente retrostanti la costa frequentemente si individuano delle aree, anche con estensione di alcuni ettari, con una forma a conca ed un drenaggio endoreico che non permette il deflusso all'esterno.

Area con difficoltà di drenaggio (DD)

Queste aree a differenza delle precedenti mostrano dei dislivelli minimi rispetto al contesto circostante; si individuano comunque chiari segni di ristagno e/o di difficoltà di drenaggio delle acque meteoriche in occasione degli eventi pluviometrici più intensi.

Zona umida (U)

Nelle zone di contatto tra la laguna di Orbetello e la pianura retrostante si osservano delle aree dove le acque salmastre possono essere presenti saltuariamente e dove pertanto non si rileva l'attività agricola, sono zone di vegetazione naturale di tipo probabilmente palustre.

Corpo d'acqua

Sono stati raccolti in questa classe tutti i corpi d'acqua interni, ovvero laghi naturali o artificiali ed acque della laguna, la copertura è coincidente con quella delle acque individuate nella CTR della Regione Toscana.

6.4.3 Forme carsiche

Dolina

La presenza dell'ammasso carbonatico, costituito dalla formazione del Calcarea Cavernoso, determina una situazione favorevole allo sviluppo di doline.

Le doline sono le forme superficiali più comuni del paesaggio carsico, si tratta di depressioni rotondeggianti formate dalla dissoluzione superficiale delle rocce carbonatiche; esse vengono erose più velocemente dell'area circostante formando depressioni chiuse, il fondo di una dolina, inoltre, può condurre ad un inghiottitoio dove confluiscono e si infiltrano in profondità le acque piovane.

Sono osservabili numerose doline nelle aree di affioramento delle rocce carbonatiche, generalmente mostrano dimensioni modeste, una profondità limitata e forme rotondeggianti o ellissoidali.

Ingresso di Grotta

Vengono riportati nella cartografia i punti di ingresso di grotta che si rinvencono nel territorio. Questi dati sono ricavati dalla cartografia degli strumenti di pianificazione territoriale comunale. Le grotte censite dal Catalogo regionale delle Grotte ricadono in zone adiacenti a quelli di interesse.

6.4.4 Sinkhole

I sinkholes sono dei fenomeni di sprofondamento improvvisi che possono essere generati sia da cause naturali che antropiche.

Sinkhole è un termine introdotto per la prima volta da Fairbridge (1968) per descrivere depressioni superficiali o collassi sub-circolari formatisi per il crollo di piccole cavità carsiche sotterranee. Con il tempo questa definizione si è estesa fino a comprendere voragini superficiali indipendentemente dalla loro forma e dalla loro genesi (naturale o antropica) (Kaufmann and Quinif, 1999; Brinkmann et al., 2008; Caramanna et al., 2008; Guarino and Nisio, 2012; Krawczyk et al., 2012). Nonostante tali fenomeni siano conosciuti sin da tempi antichi, non esistono molti studi che li analizzino in termini di rischi naturali e non vi è nemmeno un'unica classificazione universalmente riconosciuta (Cramer, 1941; Beck and Sinclair, 1986; White, 1988; Williams, 2003; Waltham et al., 2005; Gutiérrez and Guerrero, 2008).

L'evoluzione tipica di un sinkhole prevede la formazione di una cavità sotterranea che nel tempo si propaga verso la superficie andando a costituire una cavità a sviluppo verticale di forma approssimativamente cilindrica. Questa fase può durare anche anni. Quando la cavità è prossima alla superficie, a seconda del tipo di materiale affiorante, è possibile individuare le prime deformazioni del terreno, segnali precursori del collasso. A seguito del collasso in genere si assiste al cosiddetto "annegamento", ovvero sia al riempimento d'acqua nella cavità, spesso favorito dall'acqua di falda o da fluidi idrotermali profondi intercettati durante la propagazione verso l'alto del fenomeno.

I processi che li generano, classicamente attribuiti a fenomeni di carsismo che inducono il crollo e lo sprofondamento di cavità sotterranee, sono in realtà più complessi. In Italia, soprattutto in questi ultimi anni si è venuta a creare una notevole attenzione relativamente a questo fenomeno ed è stata prodotta un'abbondante bibliografia al riguardo. In particolare gli Enti Pubblici hanno

manifestato grande attenzione al fenomeno sia a scala locale, nelle zone dove gli eventi si sono manifestati (Comuni, Province e Regioni), sia a livello statale. In particolare l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A. ex APAT) ha avviato nel 2002 un "Progetto Sinkhole", che oltre a fornire un censimento delle aree interessate dal fenomeno, si occupa dello studio dei meccanismi genetici volti alla definizione di linee guida che permettano una più corretta classificazione del fenomeno (<http://sgi1.isprambiente.it/sinkhole/>). Gli studi sui sinkhole evidenziano una certa difficoltà nel classificare il fenomeno dal punto di vista genetico-evolutivo dato che la sua manifestazione è legata alla coesistenza di più fattori. In generale sono riconosciute tre classi genetiche principali: antropica, carsica e di piping profondo (Fig. 27).

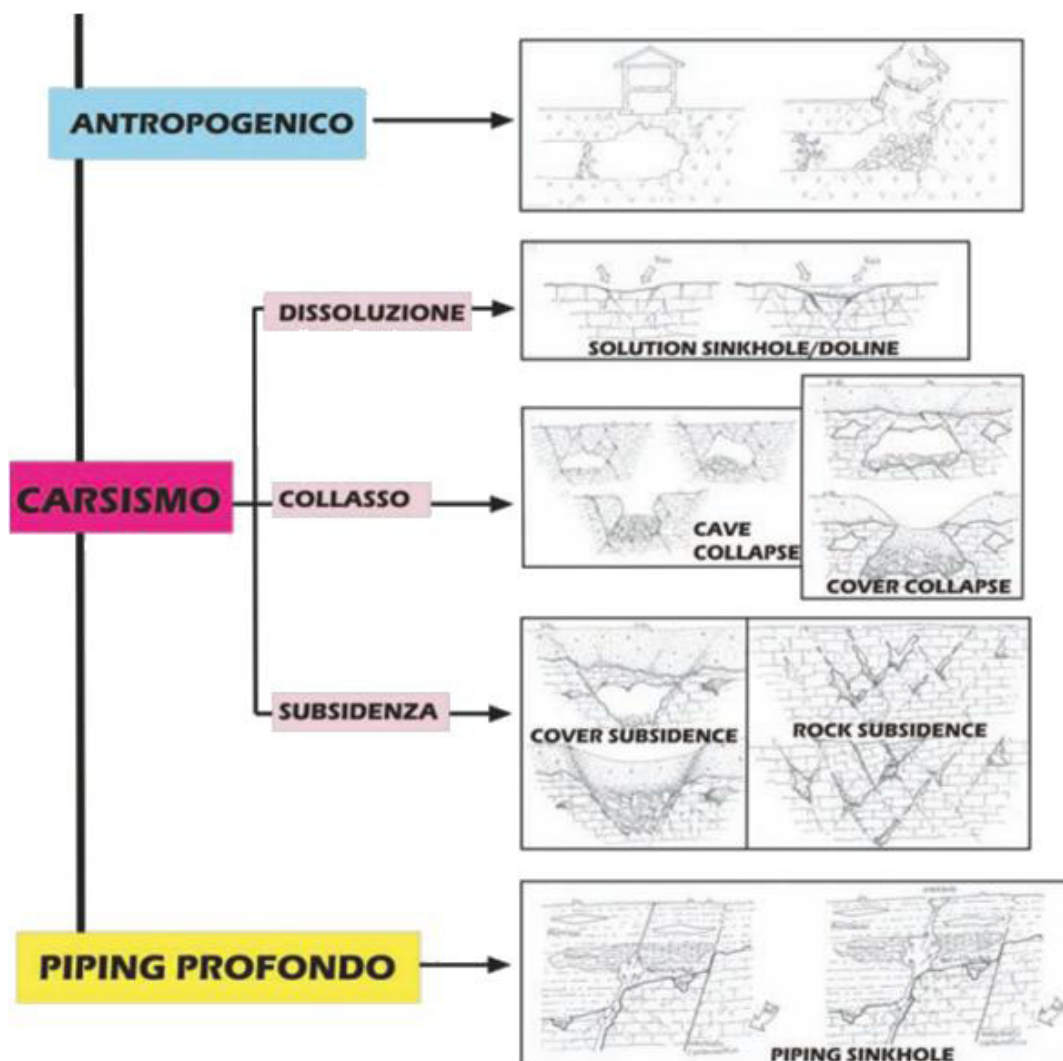


Fig. 27 – Classificazione dei fenomeni di sprofondamento (tratta da Nisio in: I.S.P.R.A. -2008)

Le cause predisponenti al verificarsi del fenomeno sono in linea generale:

- substrato calcareo profondo e fratturato (generalmente oltre i 100 m);

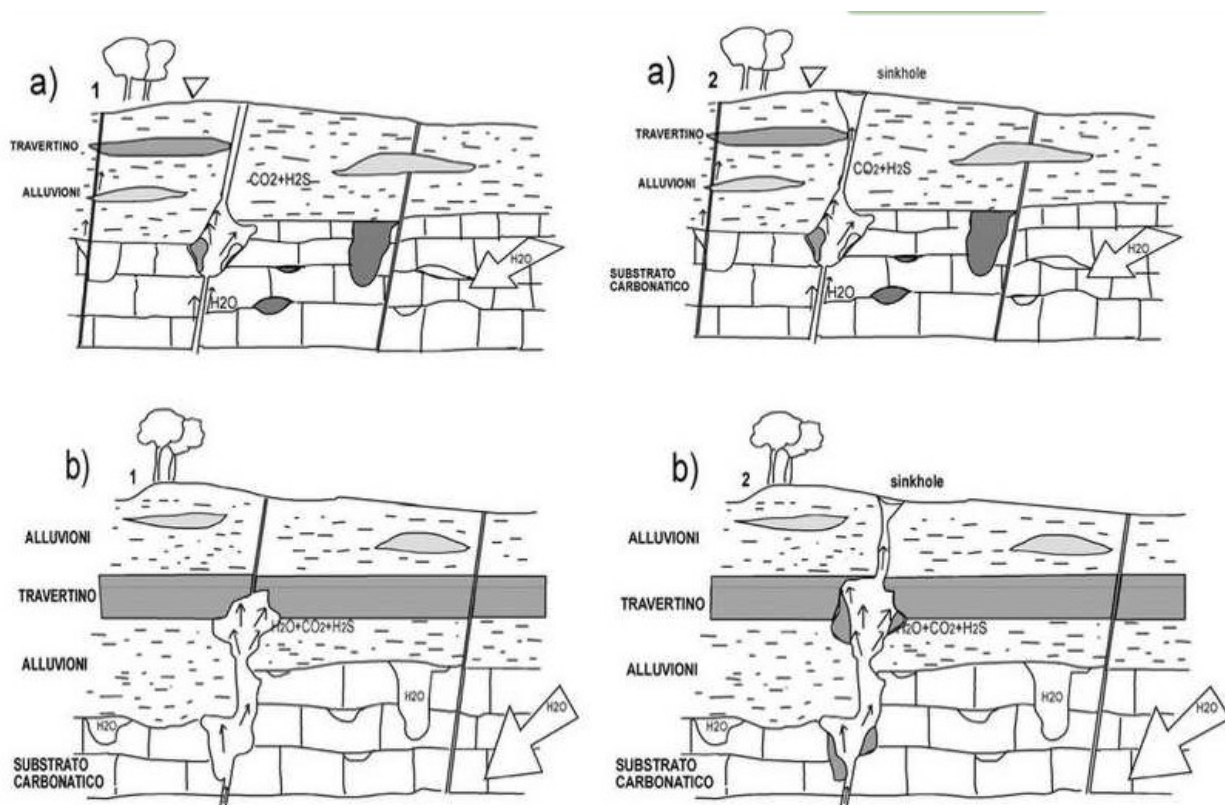
- spessore di alluvioni con forti variazioni granulometriche orizzontali e verticali ma generalmente con ampi livelli impermeabili o semipermeabili;
- scadenti caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di copertura;
- presenza di linee tettoniche importanti ed attive e di un reticolo di fratture che permettano un maggiore circolazione idrica con scambi tra terreni di copertura e substrato;
- presenza di acque mineralizzate;
- presenza di acque sotterranee confinate con flussi importanti e sorgenti con portate elevate;
- presenza di risalite di flussi gassosi che consentano, talora, la dissoluzione dei materiali di copertura e la risalita delle acque.

Tra le cause innescanti si possono citare:

- eventi sismici,
- alternanza di periodi secchi a periodi piovosi con rilevanti oscillazioni della falda pluviometrici;
- attività antropica di emungimento o di immissione; attività estrattive.

Gli studi più recenti individuano nel meccanismo di piping profondo un fattore genetico importante in molti fenomeni di sprofondamento avvenuti in Italia. Tale meccanismo spiegherebbe meglio la genesi di sinkholes in aree di pianura con depositi di terreni sciolti di spessore fino a 200 metri, che rendono piuttosto improbabile una manifestazione in superficie di un processo di crollo per solo scorrimento di materiale verso il basso (raveling).

Il meccanismo di piping profondo fa capo ad un complesso meccanismo di erosione che procede dal basso, nel quale sembrano giocare un ruolo importante la presenza di faglie e fratture nel bedrock carbonatico, la presenza di falde in pressione fortemente aggressive (mineralizzate) e la presenza di gas endogeni (si veda Nisio 2003 e Nisio in I.S.P.R.A. 2008)



Schema dei meccanismi di risalita (da Nisio, 2003)

Fig. 28 – Schema di meccanismo di risalita (tratta da Nisio in: I.S.P.R.A. -2003)

Nella zona in esame è segnalata la presenza di fenomeni di *sinkhole* nella piana compresa tra il Fiume Osa ed il Fiume Albegna.

In relazione al tema Sink-Holes l'Università di Firenze (gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Casagli) ha sviluppato uno studio finalizzato ad inquadrare la problematica nell'area di studio, comprensivo di una valutazione preliminare del rischio sinkhole lungo il tracciato in progetto al quale si rimanda per gli aspetti di dettaglio.

6.4.5 Forme strutturali

Lineazione principale

Linea di probabile origine strutturale, che appare netta all'osservazione stereoscopica e dominante nel contesto delle forme lineari contigue.

6.4.6 Forme di origine marina ed eolica

Duna costiera (DU)

Nel tratto di costa compreso tra la foce del Torrente Osa e la foce del Fiume Albegna si rileva una fascia, pressoché continua, dove si è sviluppata una duna costiera stabile. La duna, ricoperta da vegetazione, risulta delimitata sul lato mare dall'arenile e su quello di terra dalla pineta.

Falesia

A nord della foce del Torrente Osa la costa da sabbiosa diviene alta e rocciosa, ed è ben rimarcata dalla presenza di una falesia alta alcune decine di metri.

6.4.7 Forme antropiche

Orlo di scarpata di sbancamento

Indica la presenza di rotture di pendio determinate da sostanziali modifiche del profilo del versante dovute all'opera dell'uomo. Appartengono a queste forme le scarpate connesse ai tracciati stradali e ferroviari esistenti, i coronamenti delle cave, i salti morfologici determinati da movimenti di terra realizzati per opere di urbanizzazione, i margini dei maggiori accumuli di terreno di riporto o di sbancamento connessi ad opere civili..

Cava inattiva

Le aree di cava non più attive molto spesso sono state abbandonate senza realizzare ulteriori sistemazioni del profilo del terreno; questo ha reso le cave assai evidenti, in quanto la crescita della vegetazione appare scarsa anche a distanza di parecchio tempo dalla dismissione dei siti.

Cava inattiva recuperata

Dal punto di vista tipologico e di modifica del territorio si tratta di elementi simili ai precedenti, con la differenza che sono state attuate lavorazioni volte al recupero ambientale dei siti che hanno determinato la presenza di aree coltivate, costruzioni o altre opere antropiche.

Cava inattiva rinaturalizzata

Si è osservato, con una certa frequenza, che le depressioni causate dall'attività estrattiva vengono abbandonate e progressivamente invase dalla vegetazione che tende a coprire sia i piazzali

pianeggianti, sia le scarpate dei fronti di coltivazione, probabilmente questo processo si svolge con maggior rapidità laddove vi sia minore dislivello e minore pendenza delle scarpate; queste forme, oramai obliterate dalla vegetazione, in qualche caso sono riconoscibili solo mediante un confronto con le foto aeree degli anni '70.

Rilevato stradale (R) o ferroviario (F)

Questi elementi sono stati desunti prevalentemente dalla fotointerpretazione, con l'ausilio della base topografica.

Rilevato (P) per opere civili

Si tratta di riprofilature del terreno ottenute mediante apporto di materiali inerti, in generale sono localizzati in prossimità di rilevati stradali o nel tessuto urbano, in qualche caso si rinvencono riporti di terreno anche significativi in aperta campagna, si tratta di depositi che attualmente non sarebbero individuabili, ma che sono stati rilevati dal confronto tra fotogrammi ripresi in epoche diverse.

Argine (A)

Le arginature dei corsi d'acqua risultano uno degli elementi caratterizzanti delle zone di pianura, generalmente gli argini sono presenti in corrispondenza di tutti i corsi d'acqua principali e pertanto sono stati rappresentati con elementi poligonali piuttosto continui.

Discarica (D)

Nell'area indagata, nei pressi di Fonteblanda, è possibile rilevare le forma e la struttura di una discarica, ben visibile nelle foto aeree meno recenti, probabilmente collocata in una zona estrattiva abbandonata, o comunque in una zona interessata da sbancamenti.

7 COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA (VERIFICA PAI, IFFI, PSC)

7.1 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone è stato redatto, adottato e approvato ai sensi dell'art. 17 comma 6-ter della legge 18 maggio 1989, n. 183, quale piano stralcio del piano di bacino. Esso ha valore di piano territoriale di settore e integra gli strumenti di governo del territorio di cui alla legge regionale 16 gennaio 1995 n. 5 e costituisce atto di pianificazione ai sensi dell'art. 18 comma 2 della Legge 11 febbraio 1994 n. 109.

Le autorità di Bacino regionali sono state soppresse dalla Legge Regionale 24 dicembre 2013, n.77 (Legge finanziaria per l'anno 2014). Attualmente la materia è in fase di riordino in riferimento alle decisioni che verranno assunte per l'aggiornamento del D.Lgs. 152 del 03/04/2006.

Con l'adozione del PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni), il PAI (Piano stralcio Assetto Idrogeologico) ha visto modificato i propri contenuti per quanto riguarda la pericolosità idraulica. Per quanto riguarda il bacino dell'Ombrone i temi relativi alla pericolosità e rischio idraulico sono trattati nel PGRA e nella relativa disciplina di piano con lo scopo di semplificarli ed aggiornarli secondo i disposti europei (direttiva "alluvioni" 2007/60/CE e Dlgs 49/2010),.

Il PAI mantiene i propri contenuti e le proprie norme d'uso per quanto riguarda la pericolosità ed il rischio da frana nel bacino.

Le indicazioni del PAI in tema pericolosità da frana, sono state recepite nel corso del presente studio, al fine di valutare eventuali interferenze con le opere. In particolare, gli elaborati PAI segnalano aree a pericolosità da frana molto elevata P.F.M.E. interferenti con il progetto nel tratto compreso tra le progr. km 21+300 ed il km 21+600 circa. Le aree a P.F.M.E. ricadono in corrispondenza delle doline e delle aree carsificate cartografate sul promontorio di Ansedonia.

Di seguito si riporta uno stralcio delle aree classificate a pericolosità molto elevata (P.F.M.E.) redatto a partire dagli shape file forniti dall'Autorità di Bacino Ombrone (Piano di Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" e successivi aggiornamenti approvati da BRO) e uno stralcio della cartografia annessa al piano strutturale del Comune di Orbetello (Carte della Pericolosità Geologica) (Figure 29 e 30).

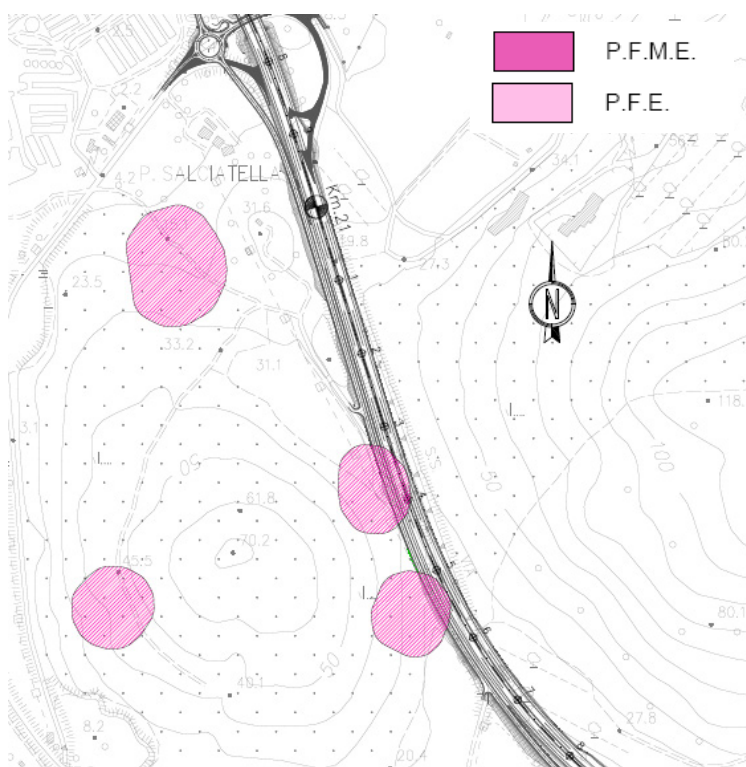


Fig. 29 - Aree classificate a pericolosità da frana molto elevata (P.F.M.E.) redatte a partire dagli shape file forniti dall'Autorità di Bacino Ombrone. In grigio il tracciato di progetto.

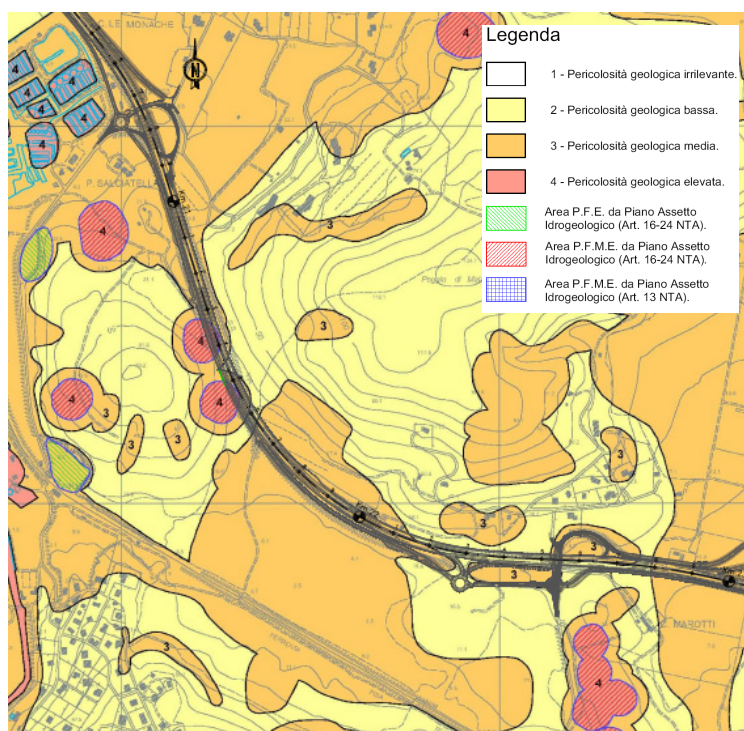


Fig. 30 – Carta della Pericolosità Geologica – Tav. 7H scala 1:10.000 (Elaborati Piano Strutturale Orbetello). Immagini non in scala. In grigio il tracciato di progetto. Accesso dell'ottobre 2016.

7.2 CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Il territorio nazionale, relativamente al governo delle risorse idriche e della difesa del suolo, è ripartito in bacini idrografici classificati in tre categorie: nazionale, interregionale e regionale. L'area in esame si colloca all'interno il Bacino Regionale del Fiume Ombrone (BRO).

La configurazione morfologica dell'area indagata si caratterizza per un andamento decisamente pianeggiante interrotto brevemente dai rilievi della zona di Fonteblanda ed Ansedonia. In particolare nella parte settentrionale il tracciato si imposta nel tratto finale della pianura compresa tra le dorsali dei Monti dell'Uccellina ad ovest e di Monte Cornuto-Poggio Aquilone ad est, nel tratto centrale dalla pianura del Fiume Albegna, del Torrente Osa e nella parte finale dalla zona pianeggiante ad est di Ansedonia. I settori con problematiche di tipo idraulico sono ampiamente presenti sia nel tratto a nord di Fonteblanda che in vasti settori della pianura Osa-Albegna, ed in alcuni tratti ad est ed ovest del rilievo di Ansedonia.

7.3 DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE – UNIT OF MANAGEMENT OMBRONE (ITADBR093) – PROGETTO PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI

La normativa di riferimento in materia di valutazione e gestione del rischio di alluvioni è la Direttiva europea 2007/60/CE conosciuta anche come "Direttiva Alluvioni".

La Direttiva, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispose la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, intende creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone pertanto l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture.

Il recepimento della normativa europea da parte della legislazione nazionale ha portato alla definizione dei Distretti idrografici, soggetti competenti per gli adempimenti previsti dalla Normativa, tra i quali fondamentale importanza ha la redazione delle mappe di pericolosità idraulica e rischio idraulico. In Italia, sono stati individuati 8 Distretti Idrografici. Il territorio dei Distretti è stato a sua volta suddiviso in Unit of Management (UoM) ovvero unità territoriali omogenee di riferimento per la gestione del rischio di alluvione corrispondenti ai principali bacini idrografici, ognuna delle quali fa riferimento alla relativa Autorità Competente o Competent Authority (CA).

Nel caso in esame, il distretto competente è il Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, suddiviso in 11 UoM. L'Autorità Competente per il progetto in corso di studio è la Autorità di Bacino Ombrone, la UoM è la Regionale Toscana Ombrone.

Nel Dicembre 2014 il Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale ha pubblicato il "P.G.R.A." Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, strumento finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio del Distretto. Il P.G.R.A. è un Piano composito, in quanto relativo alle 11 Unit of Management (UoM) di cui si compone il distretto dell'Appennino Settentrionale: ogni UoM ha predisposto il proprio P.G.R.A., i diversi Piani prodotti sono stati poi coordinati e resi congruenti dalla Autorità di Bacino del fiume Arno. Per alcune UoM, il P.G.R.A. predisposto si sovrappone alla pianificazione dei PAI adottati in precedenza dalle diverse AdB, mentre le UoM Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone hanno elaborata una nuova Disciplina di Piano ad hoc per il P.G.R.A..

Il PGRA ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato e sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni di cui all'art. 6, le misure di prevenzione, di protezione, di preparazione e di risposta e ripristino finalizzate alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio.

La Direttiva Alluvioni prevede che per ogni UoM siano realizzate nella scala più appropriata delle mappe della pericolosità idraulica da alluvione e mappe del rischio alluvioni.

Le mappe della pericolosità da alluvione contengono la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo i seguenti scenari:

- a) scarsa probabilità di alluvione o scenari di venti estremi;
- b) media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno probabile 100 anni);
- c) elevata probabilità di alluvioni, se opportuno.

Le mappe di pericolosità e di rischio redatte per l'UoM Ombrone hanno preso origine dal quadro conoscitivo del PAI che è stato continuamente aggiornato anche sulla base degli studi che le varie amministrazioni hanno redatto ai fini dell'adeguamento dei propri strumenti di governo del territorio al PAI stesso. Sono stati inoltre condotti studi di modellazione idraulica.

Poiché sia la direttiva che il decreto di recepimento richiedono, per ciò che concerne la pericolosità, l'individuazione di tre scenari di riferimento, sono state accordate le procedure di

omogeneizzazione indicate negli indirizzi operativi (MATTM, 2013) per non perdere la coerenza tecnica con il PAI.

Le pericolosità individuate nel PAI dell'UoM Ombrone sono state uniformate ed omogenizzate secondo lo schema seguente:

- P4 e P3 (molto elevata ed elevata) =>P3
- P2 (media) =>P2
- P1 (bassa) =>P1

Nella cartografia allegata al progetto ("Mappe della Pericolosità da Alluvione") sono state riportate quelle aree attualmente classificate a pericolosità da alluvione elevata (P3 – alluvioni frequenti), pericolosità da alluvione media (P2 – alluvioni poco frequenti) e pericolosità da alluvione bassa (P1 – alluvioni rare o di estrema intensità) redatte dal Distretto Appenninico Settentrionale UoM Ombrone (digitalizzazione ottenuta dalle immagini raster acquisite dal sito "Geoscopio" della Regione Toscana); di seguito si riporta, con riferimento alle progressive dell'asse di progetto, i tratti in cui le fasce di pericolosità interferiscono con il tracciato:

Tratti in cui il tracciato interferisce con aree a Pericolosità da Alluvione Fluviale Elevata (P3)

- Da inizio tratto alla progr. 1+412
- Dalla progr. 3+693 alla progr. 9+958
- Dalla progr. 10+016 alla progr. 12+637

Tratti in cui il tracciato interferisce con aree a Pericolosità da Alluvione Fluviale Media (P2)

- Dalla progr. 1+546 alla progr. 1+588
- Dalla progr. 3+200 alla progr. 3+600 (in questo tratto le fasce intersecano l'asse stradale di progetto o comunque si situano in posizione immediatamente adiacente)
- Dalla progr. 3+650 alla progr. 3+693
- Dalla progr. 9+958 alla progr. 10+016
- Dalla progr. 12+637 alla progr. 13+361
- Dalla progr. 13+435 alla progr. 16+747
- Dalla progr. 18+077 alla progr. 20+723
- Dalla progr. 23+063 alla progr. 23+237

Tratti in cui il tracciato interferisce con aree a Pericolosità da Alluvione Fluviale Bassa (P1)

- Dalla progr. 1+412 alla progr. 1+546
- Dalla progr. 1+588 alla progr. 1+940
- Dalla progr. 3+534 alla progr. 3+650

- Dalla progr. 13+361 alla progr. 13+435
- Dalla progr. 16+747 alla progr. 18+077
- Dalla progr. 20+723 alla progr. 20+754
- Dalla progr. 22+900 alla progr. 23+063
- Dalla progr. 23+237 a fine lotto

7.4 PIANO STRUTTURALE COMUNE DI ORBETELLO

Per la descrizione dei temi affrontati in questo capitolo sono stati consultati gli elaborati del Piano Strutturale del comune di Orbetello attualmente vigente (approvato nella seduta del 19 Marzo 2007, con Del. C.C. n. 16, ai sensi e per gli effetti dell'entrata in vigore della nuova Legge Regionale n. 1/2005 "Norme per il governo del territorio").

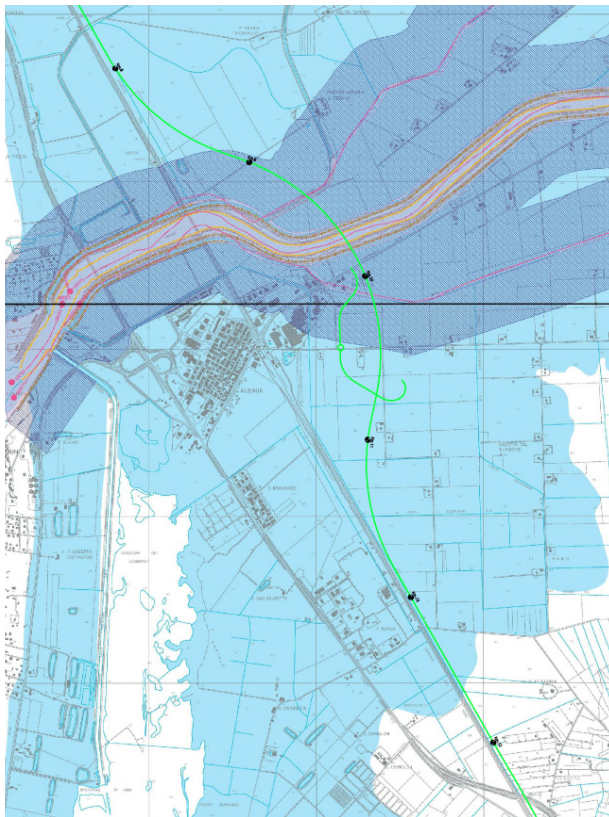
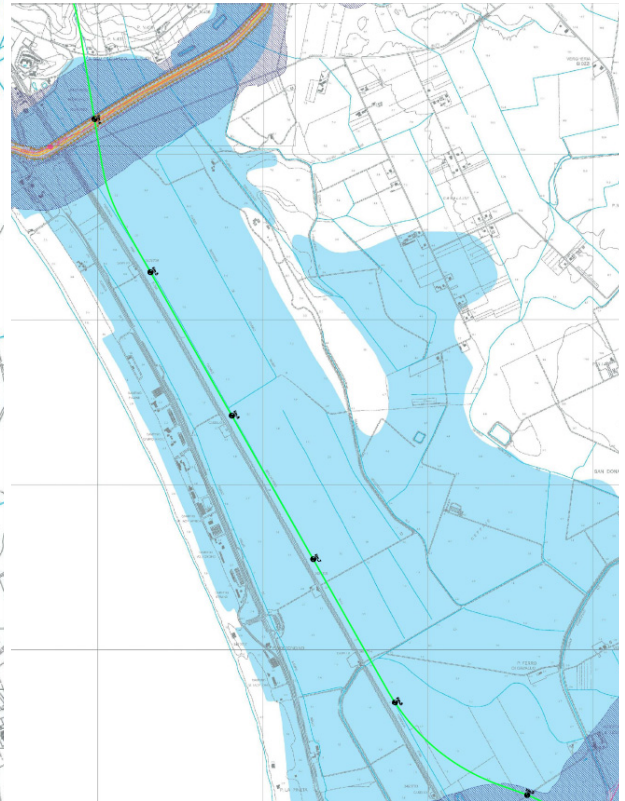
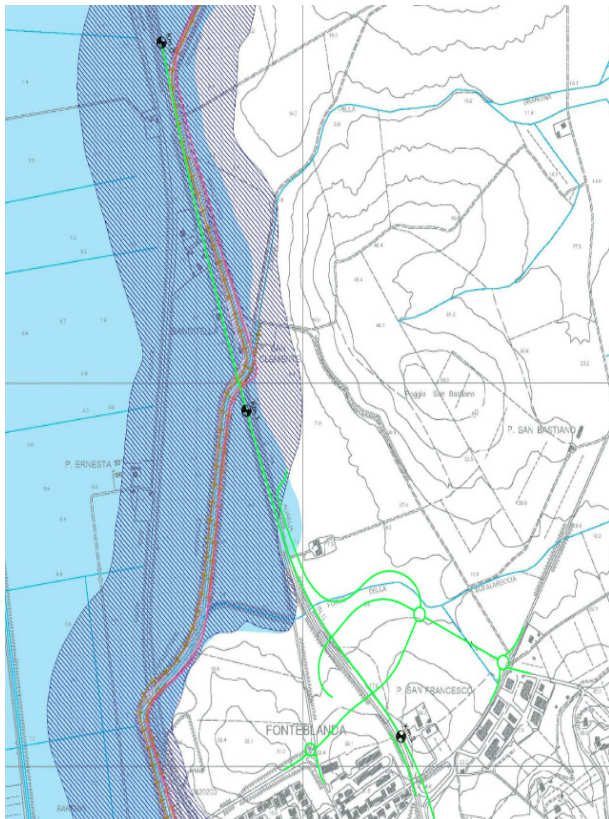
La cartografia consultata è relativa alle Aree Allagate ed ai Contesti Idraulici, alla Pericolosità Idraulica ed alla Pericolosità geologica.

Cartografia 1:10.000 - Aree Allagate e Contesti Idraulici (Tav. 8)

Da inizio tratto a progr. 1+400 circa, da progr. 3+600 circa a progr. 12+650 circa e da progr. 15+000 a progr. 15+600 circa il tracciato si colloca in aree con notizie storiche di esondazione che intersecano l'asse stradale di progetto o comunque si situano in posizione immediatamente adiacente.

Sempre da inizio tratto a progr. 1+500 circa, da progr. 3+650 a progr. 4+400 circa e da progr. 8+800 a progr. 10+450 circa il tracciato attraversa aree in "Ambito B" e in "Ambito A" (in corrispondenza degli alvei principali) (*"L'ambito B è definito come area potenzialmente inondabile e stabilito come zona a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a due metri sopra il piede esterno dell'argine o in mancanza il ciglio di sponda. Il limite esterno di tale ambito è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica come sopra individuata e non potrà comunque superare la distanza di metri lineari 300 dal piede esterno dell'argine o dal ciglio di sponda. Appare importante sottolineare che le ex-salvaguardie indicano tale ambito come aree che possono essere necessarie per gli eventuali interventi di regimazione idraulica tesa alla messa in sicurezza degli insediamenti; l'ambito A1 è definito come zona di assoluta tutela del corso d'acqua e corrisponde all'area d'alveo, le golene, agli argini e alla zone comprese nelle due fasce della larghezza di 10 ml adiacenti al piede esterno dell'argine o in mancanza dal ciglio di sponda"*).

Di seguito si riportano, procedendo da nord verso sud, gli stralci non in scala della cartografia relativa ai soli tratti di interferenza (Fig. 31).



Legenda










| | |
|---|---|
|  | Aree con notizie storiche di esondazione (dati S.I.T. rielaborati). |
|  | Ambito A1 - ex salvaguardie (Del. C.R. 12/00). |
|  | Ambito B - ex salvaguardie (Del. C.R. 12/00). |
|  | Aree A.S.I.P. da Piano Assetto Idrogeologico (Del. C.R. 12/05). |
|  | Aree con difficoltà di drenaggio e/o soggette a fenomeni di ristagno. |
|  | Tratti di corsi d'acqua arginati. |
|  | Tratti di corsi d'acqua con S.I.I. |
|  | Reticolo significativo P.A.I. |
|  | Estremi cartografati dei corsi d'acqua classificati (secondo Del. C.R. 12/00) con relativo codice regionale (tracciato come da banca dati fornita - Regione Toscana). |

Fig. 31 – Carta delle aree allagate e dei contesti idraulici – Tav. 8A-8C-8E-8H scala 1:10.000 (Elaborati Piano Strutturale Orbetello). Immagini non in scala. In verde l'asse del tracciato. Accesso dell'ottobre 2016.

Cartografia 1:10.000 - Pericolosità idraulica

Nei riguardi della **pericolosità idraulica** gli elaborati del Piano Strutturale segnalano:

- aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P.I.M.E.5) interferenti con il tracciato alle progressive: **0+000 - 0+950; 3+800 – 4+200 (area alveo fiume Osa) e 9+450 – 9+950 (area alveo fiume Albegna);**
- Aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P.I.M.E.8) interferenti con il tracciato alle progressive: **0+950 – 1+450, 3+610 – 3+800, 4+200 – 9+450, 9+950 – 12+640 e 15+000 e 16+000** (in questo tratto le aree lambiscono il tracciato in carreggiata sud);
- Aree a Pericolosità Idraulica media (3) interferenti con il tracciato alle progressive: **1+560 – 1+590, 12+640 – 17+600 e 18+060 – 20+730;**
- Aree a Pericolosità Idraulica bassa (2) interferenti con il tracciato alle progressive: **17+600 – 18+060 e 23+690 – 24+000;**
- Aree a Pericolosità Idraulica Irrilevante (1) interferenti con il tracciato alle progressive: **1+450 – 3+610 e 20+730 – 23+690**

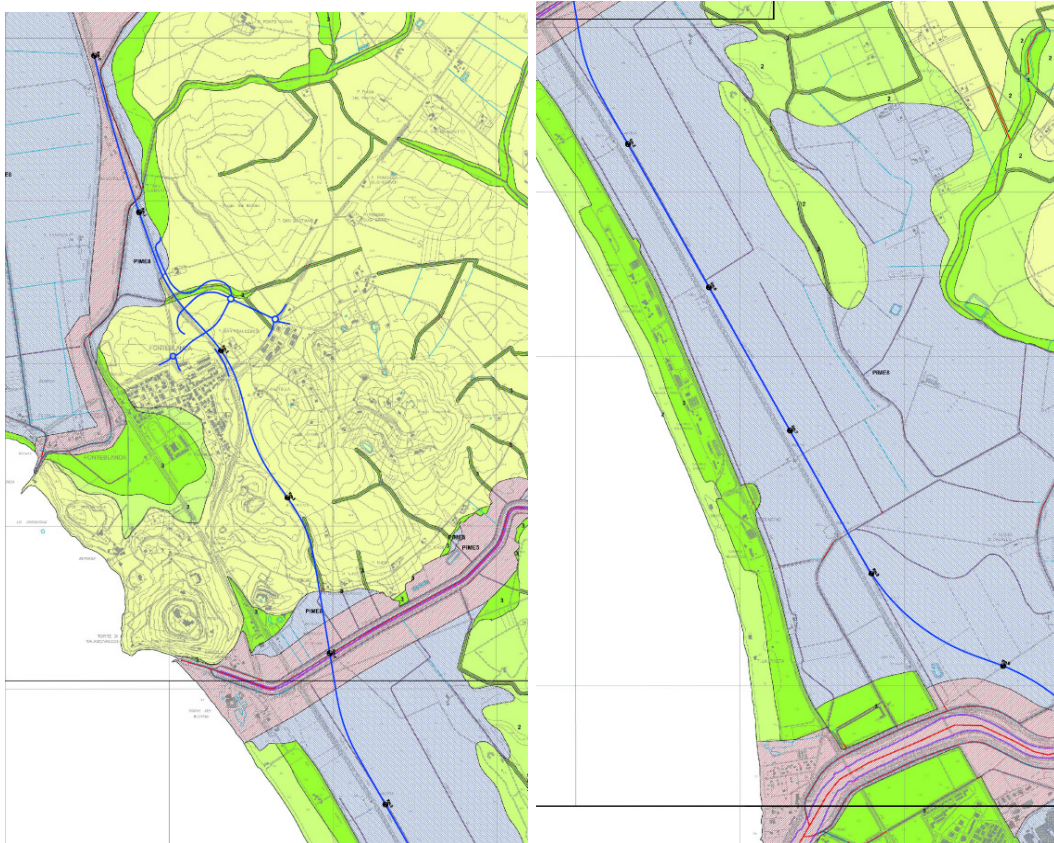
Dove (da relazione geologica annessa al PSC):

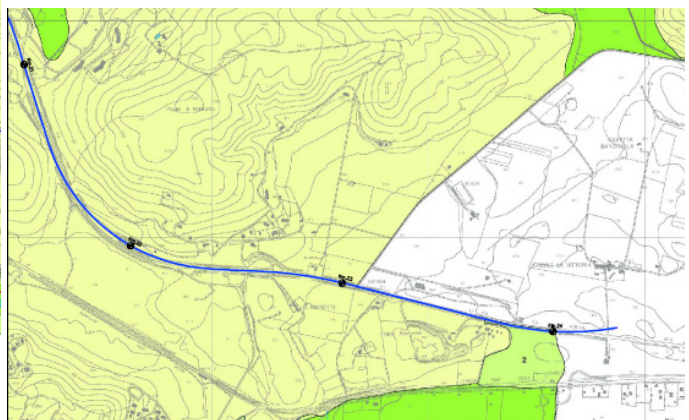
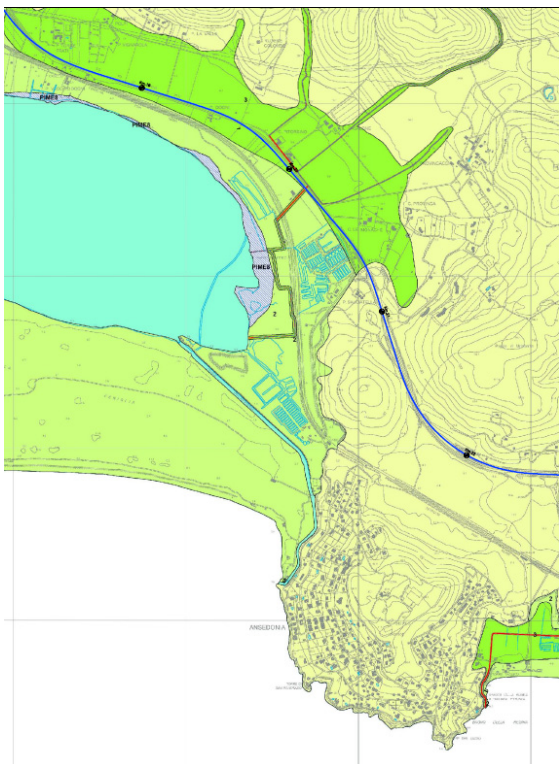
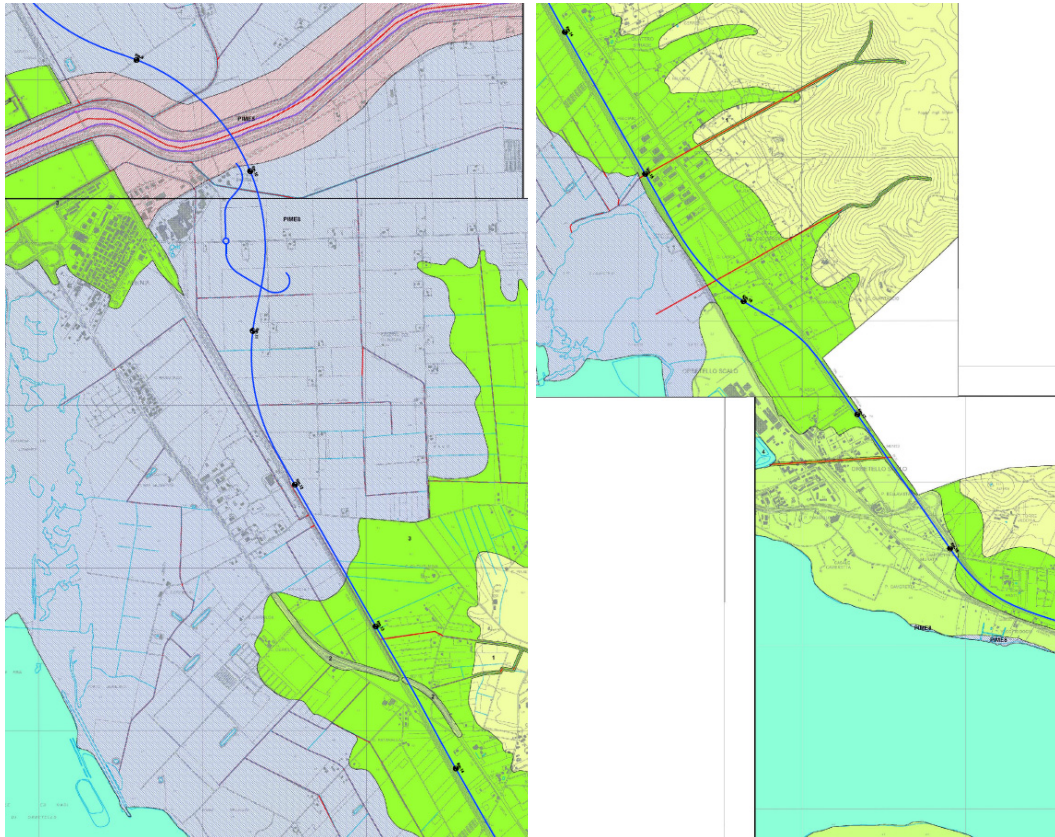
- CLASSE 2 - PERICOLOSITA' IDRAULICA BASSA: In questa classe sono comprese le aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni; b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente di

riferimento rispetto all'intero reticolo significativo del P.A.I. E degli altri corsi d'acqua classificati dalla ex Del. 12/00 (quote altimetriche superiori a ml 2 rispetto al piede esterno dell'argine o del ciglio di sponda).

- **CLASSE 3 - PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA:** In questa classe sono comprese le aree per le quali ricorre almeno una delle seguenti condizioni: a) vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole (quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml 2 sopra al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda).
- **CLASSE 4 - PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA:** In questa classe sono comprese le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono entrambi le seguenti condizioni: a) vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole (quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml 2 sopra al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda).

Di seguito si riportano, procedendo da nord verso sud, gli stralci non in scala, della cartografia (Fig. 32).





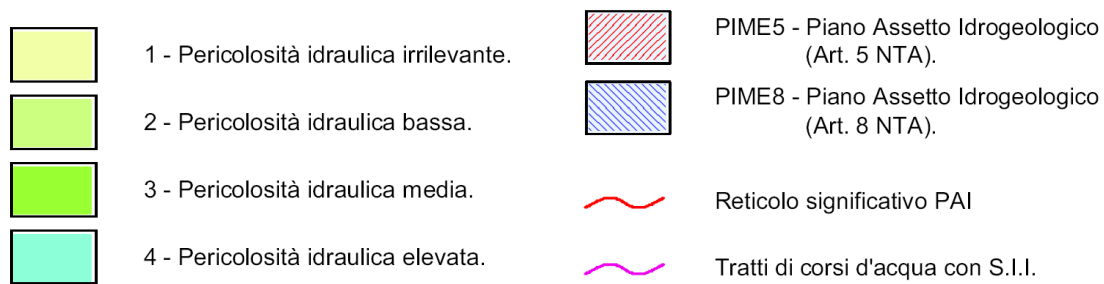


Fig. 32 – Carta della Pericolosità Idraulica – Tav. 9A-9C-9E-9H scala 1:10.000 (Elaborati Piano Strutturale Orbetello). Immagini non in scala. In blu l'asse del tracciato. Accesso dell'ottobre 2016.

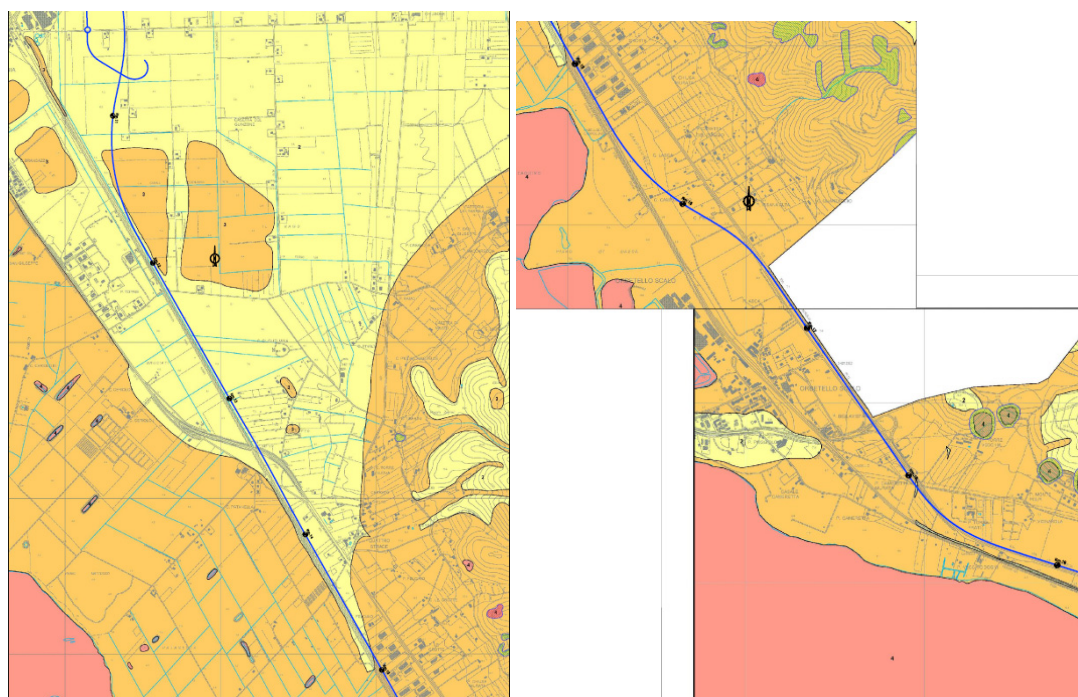
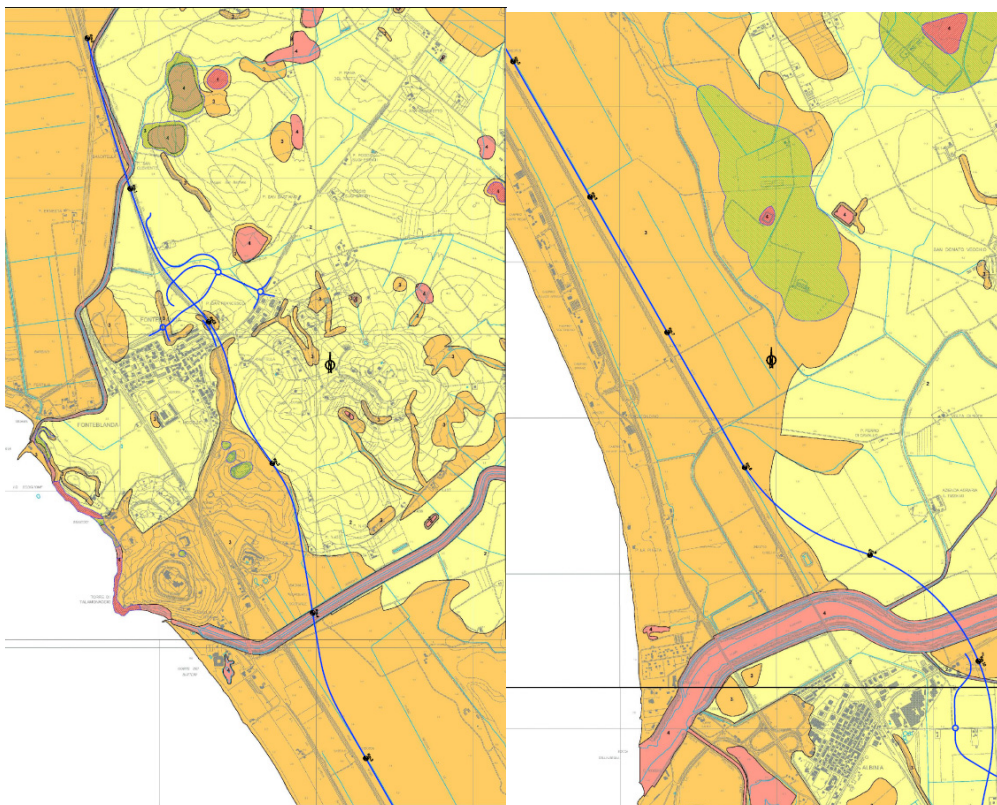
Cartografia 1:10.000 - Aree a Pericolosità Geologica

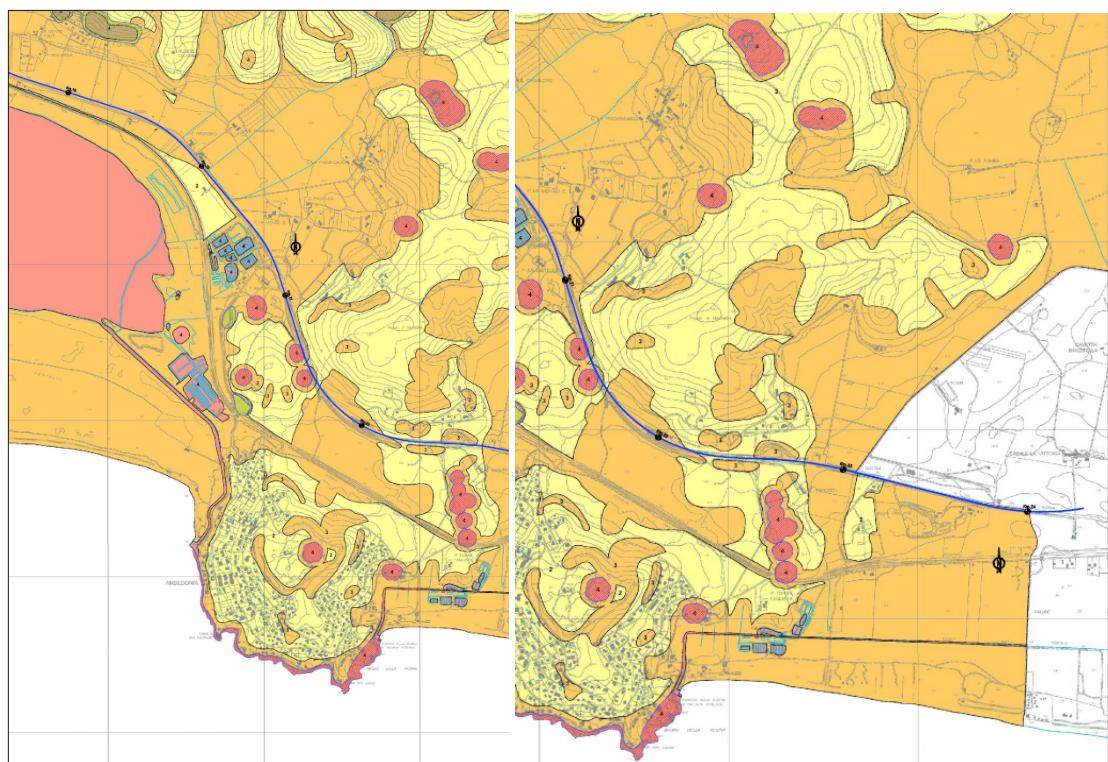
In relazione a questo tema il tracciato si sviluppa in aree a pericolosità geologica media (3) e bassa (2) con alcuni settori caratterizzati da pericolosità geologica elevata: alveo Collettore Orientale da inizio tratto a **progr. 1+000 circa**, alveo fiume Osa **progr. 4+000 circa**, alveo canale principale **progr. 9+410 circa**, alveo fiume Albegna **dalla progr. 9+610 alla progr. 9+890 circa** e tra la **prog. 21+300 e 21+600 circa** dove sono cartografate due aree a pericolosità geologica elevata con sovrassegno P.F.M.E. da PAI. Dove (da relazione Geologica annessa al PSC):

- **CLASSE 2 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA:** in questa classe sono comprese quelle aree collinari di varia acclività comprese quelle pianeggianti dove si verificano situazioni geomorfologiche e geologico-tecniche apparentemente stabili su cui però permangono dubbi che potranno essere chiariti a livello di indagini di supporto alla progettazione edilizia. Dal punto di vista geomorfologico non si verificano situazioni di dissesto degne di nota ed i terreni affioranti risultano di caratteristiche geotecniche medio-buone. Particolare attenzione dovrà essere posta alle zone classificate in questa classe ma poste in prossimità di zone instabili o con dissesti o con classe di pericolosità 3 o 4
- **CLASSE 3 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA MEDIA:** in tali aree, per le zone collinari, non sono presenti fenomeni di dissesto attivo come frane rilevanti, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e soprattutto geomorfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trova al limite dell'equilibrio e/o può essere interessato da fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica o dissesti geomorfologici in genere. Rientrano in questa classe anche le zone interessate da ruscellamento diffuso, erosione superficiale diffusa, rotture di pendio, coperture detritiche, zone in abbandono o acclivi con scarsa regimazione e zone limitrofe alle aree interessate da frane o fenomeni di dissesto (aree fittizie definite in precedenza con un intorno significativo, aree potenzialmente coinvolgibili). In tale classe sono comprese le aree pianeggianti in cui vi è la presenza di terreni di bonifica o di colmata e le zone dove affiora detrito o riporto con scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali, zone con difficoltà di drenaggio e ristagni e aree a rischio sinkholes . Qui ogni intervento edilizio è condizionato e le indagini di approfondimento dovranno essere condotte al livello di area nel suo complesso. Per le aree a rischio sinkholes le indagini di dettaglio di tipo geoelettrico o di tipo gravimetrico dovranno accertare la profondità del substrato, le caratteristiche dei terreni di copertura e di ogni altra informazione utile per la comprensione del fenomeno e l'adozione di eventuali misure di salvaguardia e mitigazione.
- **CLASSE 4 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA ELEVATA:** In tali zone ricadono le aree interessate da fenomeni di dissesto attivi (frane, aree di influenza, soliflussi, fenomeni di subsidenza, grotte e doline ecc.). In tali aree, per le zone collinari, sono presenti fenomeni di dissesto attivi o fenomeni di

elevata amplificazione della sollecitazione sismica. E' stata inoltre individuata e mappata nel dettaglio la pericolosità da frana molto elevata derivante dal Piano di Bacino del Fiume Ombrone.

Di seguito si riportano, procedendo da nord verso sud, gli stralci non in scala della cartografia (Fig. 33).





Legenda


| | | | |
|---|---|---|--|
|  | 1 - Pericolosità geologica irrilevante. |  | Area P.F.E. da Piano Assetto Idrogeologico (Art. 16-24 NTA). |
|  | 2 - Pericolosità geologica bassa. |  | Area P.F.M.E. da Piano Assetto Idrogeologico (Art. 16-24 NTA). |
|  | 3 - Pericolosità geologica media. |  | Area P.F.M.E. da Piano Assetto Idrogeologico (Art. 13 NTA). |
|  | 4 - Pericolosità geologica elevata. | | |

Fig. 33 – Carta della Pericolosità Geologica – Tav. 7A-7C-7E-7H scala 1:10.000 (Elaborati Piano Strutturale Orbetello). Immagini non in scala. In blu l’asse del tracciato. Accesso dell’ottobre 2016.

7.5 PIANO STRUTTURALE COMUNE DI CAPALBIO

Per la descrizione dei temi affrontati in questo capitolo sono stati consultati gli elaborati del Piano Strutturale del comune di Capalbio attualmente vigente (approvato dal Consiglio Comunale con Delibera n. 25 del 03/07/2008).

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia allegata al Piano relativa alla Pericolosità idraulica e alla Pericolosità Geologica / Geomorfologica.

Nei riguardi della **pericolosità idraulica** gli elaborati del Piano Strutturale segnalano aree a Pericolosità Idraulica Elevata (Classe 3 - P.I.E.) interferenti con il tracciato nel tratto compreso tra la **progr. 23+000 e la progr. 23+200** e aree a Pericolosità Idraulica Bassa (Classe 2) interferenti nel tratto compreso tra le **progr. 23+200 e fine lotto** (Fig. 34).

CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA

PERICOLOSITA' IDRAULICA BASSA: CLASSE 2

Aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a 2 ml. rispetto al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda.

PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA (PIE art.6 PAI): CLASSE 3

Aree per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a 2 ml. rispetto al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda.

Rientrano in questa classe le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorre una sola delle condizioni di cui sopra.

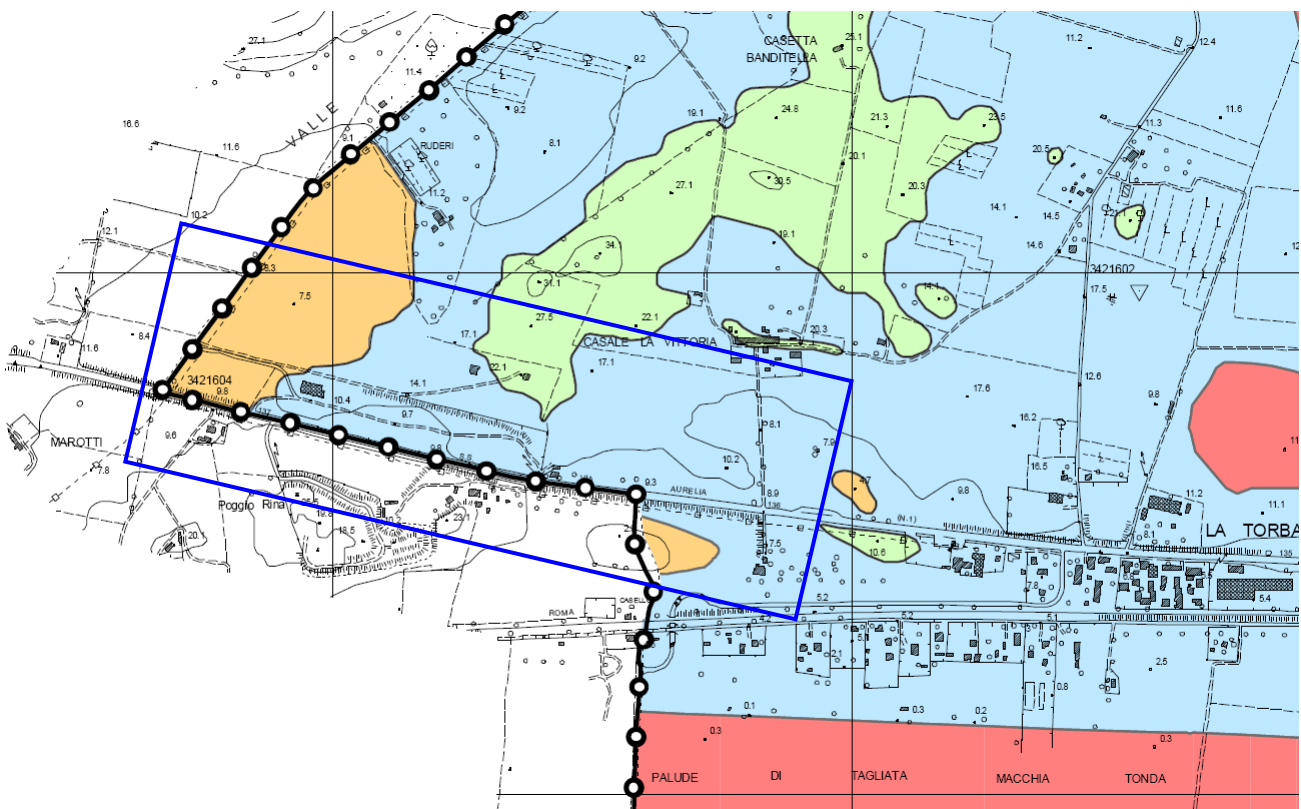
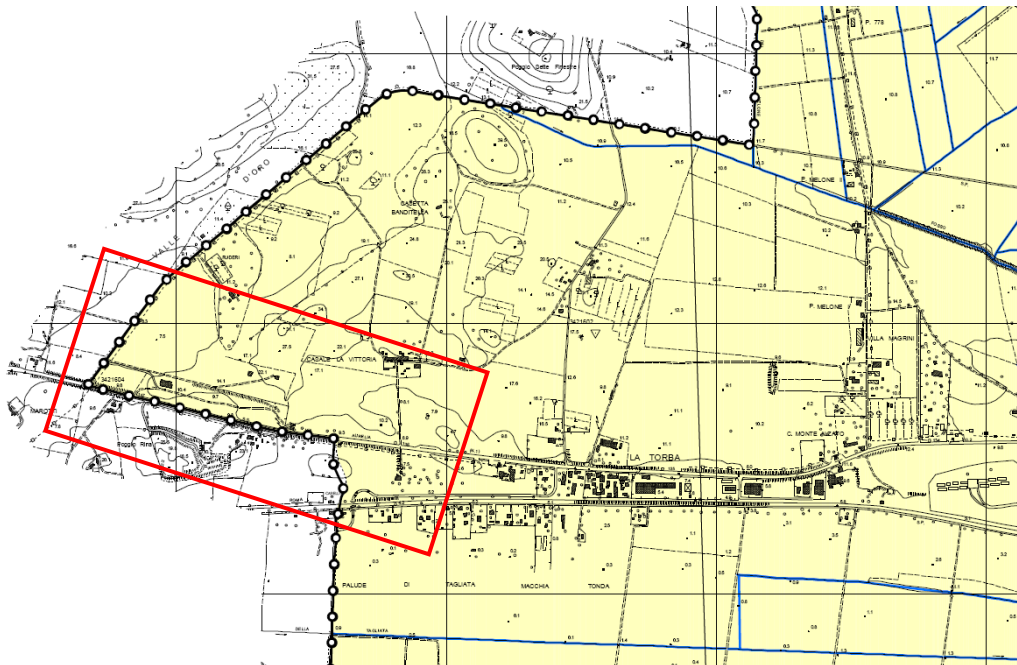


Fig. 34 - Carta della Pericolosità Idraulica (Piano Strutturale Comune di Capalbio – elaborato QC.G.08). Il rettangolo blu individua l'area di studio. Accesso del gennaio 2016.

Da segnalare nella zona di confine tra il Comune di Orbetello e il comune di Capalbio una diversa attribuzione delle classi di pericolosità idraulica.

Nei confronti della **Pericolosità geologica**, le opere in progetto si collocano in un'area classificata in Classe 2 (Pericolosità Geologica Bassa). *“In questa classe ricadono le aree in cui la situazione geologica del versante appare stabile e con assenza di fenomeni erosivi. Risulta tuttavia necessaria la conoscenza dei dati del sottosuolo che potrà essere verificata in sede di progettazione specifica. Generalmente versanti a pendenza media e medio bassa costituiti da litotipi con assetti strutturali e caratteristiche di stabilità sufficientemente buone testimoniate anche dalla assenza di paleofrane, di fenomeni gravitativi locali in atto o relitti”* (Fig. 35).



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Sulla base della D.C.R.T. 94/85 e sulle indicazioni del P.T.C. della Provincia di Grosseto sono state individuate le classi di pericolosità geologica/geomorfologica (la suddetta D.C.R.T. 94/85 non è stata modificata ed allo stato attuale il Comune di Capalbio non è da considerarsi sismico).
 La carta della pericolosità geologica è stata ottenuta dalla sovrapposizione delle carte geologica, litotecnica, geomorfologica e dell'acclività, fornendo dei pesi alle classi di pendenza, alle categorie litotecniche ed ai dissesti presenti sul territorio.
 L'elaborazione dei suddetti dati ha prodotto una suddivisione del territorio in tre classi di pericolosità:
 (note: nessuna porzione di territorio comunale è stata inserita in classe I -Pericolosità irrilevante in quanto non sono disponibili dati conoscitivi di tipo geologico tecnico tali da rendere superflua qualsiasi tipo di indagine preliminare o qualsiasi intervento).
 (estratto della relazione geologica)

CLASSE 2 PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA
 In questa classe ricadono le aree in cui la situazione geologica del versante appare stabile e con assenza di fenomeni erosivi. Risulta tuttavia necessaria la conoscenza dei dati del sottosuolo che potrà essere verificata in sede di progettazione specifica. Generalmente versanti a pendenza media e medio bassa costituiti da litotipi con assetti strutturali e caratteristiche di stabilità sufficientemente buone testimoniate anche dalla assenza di paleofrane, di fenomeni gravitativi locali in atto o relitti.

Fig. 35 - Carta della Pericolosità Geologica (Piano Strutturale Comune di Capalbio – elaborato QC.G.09). Il rettangolo rosso individua l'area di studio. Accesso dell'ottobre 2016.

7.6 BANCA DATI ISPRA (SINK-HOLES)

Il Data Base Nazionale dell'ISPRA segnala nell'area di studio la presenza di otto Sinkhole di cui tre ("Ceppaie 3", "Ceppaie 2" e "Ceppaie 1") sono ubicati ad una distanza di circa 900 - 1000 metri dal tracciato di progetto nel tratto compreso tra la progr. 5+700 e lam progr. 7+300 (Fig. 36).



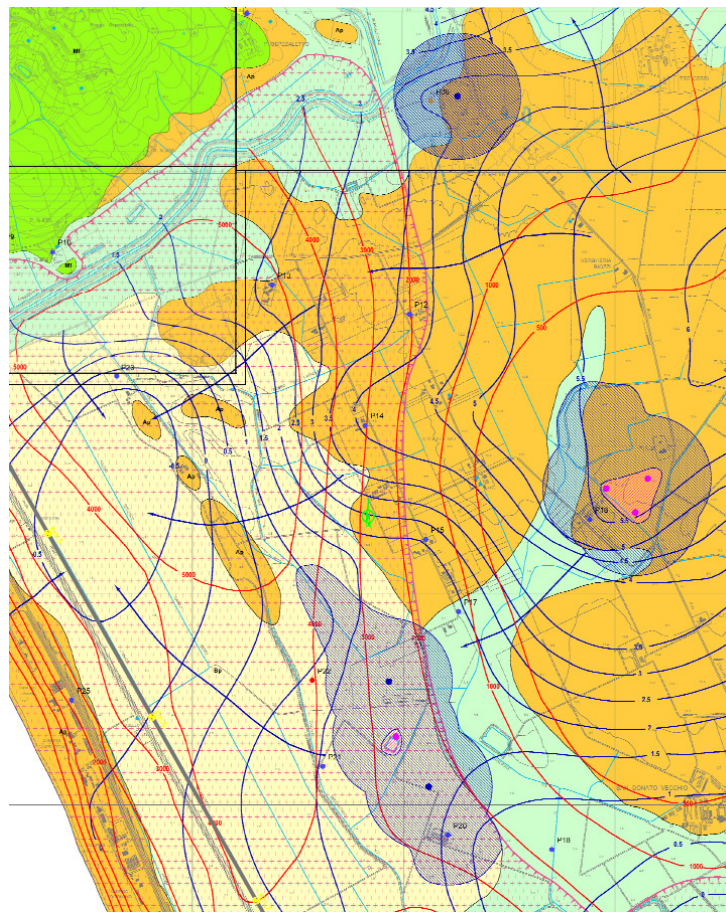
Fig. 36 – ISPRA – Data Base Nazionale Sinkhole – Mappatura dei Sinkhole nella piana compresa tra i fiumi Osa ed Albegna. Accesso dell'ottobre 2016.

Il database relativo al Progetto Sinkhole segnala come incerto il fenomeno indicato come "Podere 34", mentre per "Podere 55" indica la possibile presenza di travertini nel sottosuolo. La formazione di questi fenomeni è indicata come sconosciuta e comunque antecedente al 1950.

| ID | Nome | Latitudine | Longitudine | Diametro |
|-------|-----------|------------|-------------|----------|
| 53028 | Ceppaie 1 | 42°31'50" | 11°12'17" | 80 m |
| 53029 | Ceppaie 2 | 42°31'58" | 11°12'11" | 75 m |
| 53030 | Ceppaie 3 | 42°32'7" | 11°12'10" | 35 m |

| | | | | |
|-------|---------------|-----------|-----------|-------|
| 53031 | Podere 34 | 42°33'37" | 11°12'27" | 190 m |
| 53032 | Podere 55 | 42°32'47" | 11°14'25" | 130 m |
| 53033 | Tre piscine 1 | 42°32'32" | 11°13'2" | 123 m |
| 53034 | Tre piscine 2 | 42°32'36" | 11°12'56" | 110 m |
| 53035 | Tre piscine 3 | 42°32'37" | 11°13'4" | 50 m |

Nella carta Idrogeologica allegata al Piano Strutturale del Comune di Orbetello di cui si riporta uno stralcio nella figura 37 è riportata l'ubicazione dei "sinkholes storici" e di una relativa area di contorno (intorno significativo di circa 300 ml) in cui, in caso di nuovi interventi di tipo edificatorio, si devono eseguire indagini di dettaglio di tipo geoelettrico o di tipo gravimetrico in modo da accertare la profondità del substrato, le caratteristiche dei terreni di copertura e di ogni altra informazione utile alla definizione del problema delle aree soggette a rischio sinkholes. Le suddette aree saranno normate con specifica vincolistica nelle NTA del P.S. con i contenuti di cui sopra.



- Sink holes da storico-inventariale S.I.T. Regione Toscana.
 - Area di contorno sink holes.
- Sink holes da storico-inventariale S.I.T. Regione Toscana; con voragine evidente.
 - Area di contorno sink holes con voragine evidente.

Fig. 37 – Carta della Pericolosità Idraulica – Tav. 5C scala 1:10.000 (Elaborati Piano Strutturale Orbetello). In grigio l'asse del tracciato. Accesso dell'ottobre 2016.

7.7 INVENTARIO FENOMENI FRANOSI IN ITALIA (PROGETTO IFFI)

Il Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia), promosso dal Comitato dei Ministri per la Difesa del Suolo (ex legge 183/89), nasce dalla esigenza di fornire un quadro completo ed aggiornato sulla distribuzione dei fenomeni franosi dell'intero territorio nazionale, attraverso la raccolta e l'omogeneizzazione dei dati e di offrire uno strumento conoscitivo di base per la valutazione del rischio da frana, per la programmazione degli interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale a scala nazionale e locale.

Il progetto, realizzato per conto del Servizio Geologico - ISPRA con l'ausilio delle Regioni e Province autonome, costituisce il primo inventario omogeneo e aggiornato dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale. L'inventario dei fenomeni franosi rappresenta, un utile strumento conoscitivo per la valutazione della pericolosità da frana e, più in generale, come supporto alle decisioni da operare in ambito territoriale.

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia IFFI relativa **ai soli tratti** con elementi in frana dalla quale non si osservano dissesti interferenti con le opere in progetto (Fig. 38).





Fig. 38 - Cartografia IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) - Accesso dell'ottobre 2016. Con linea blu è riportato il tracciato di progetto

8 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Le principali fonti bibliografiche consultate per redigere le planimetrie geologiche di progetto sono state la carta geologica d'Italia 1:100.000, la Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, la cartografia geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000, nonché le carte geologiche allegare ai Piani Strutturali dei Comuni di Orbetello e Capalbio. Queste fonti hanno rappresentato la base d'inquadramento sulla quale sono stati integrati i dati di più recente acquisizione, quali quelli derivanti dalle indagini geognostiche e dal rilevamento geologico di dettaglio.

Sulla base delle attività svolte e di tutti i dati raccolti, è stato possibile ricostruire il quadro geologico dell'area di studio. Gli elementi acquisiti hanno portato alla compilazione di documenti di sintesi, in particolare è stata redatta una carta geologica di dettaglio.

La carta geologica è corredata di due profili longitudinali in scala 1:5.000/1:500 ed 1:5.000/1:5.000, realizzati da inizio tratto al km 20+000 in asse al tracciato e dal km 20+000 a fine tratto 30 metri in destra rispetto all'asse stradale in progetto (linea blu in planimetria). L'esagerazione verticale del profilo 1:5.000/1:500 permette di rappresentare con chiarezza la distribuzione ed i rapporti fra le unità stratigrafiche distinte, nonché la loro litologia principale. Il profilo in scala 1:5.000 descrive la reale pendenza dei contatti esistenti fra le principali unità stratigrafiche riconosciute.

Nella fase di interpretazione stratigrafica sono stati attribuiti vari gradi di attendibilità ai dati esaminati; in particolare sono stati considerati più attendibili i sondaggi per i quali è stato possibile effettuare osservazione diretta delle cassette catalogatrici (campagne indagini 2010 e 2015), rispetto ai sondaggi di cui sono state reperite stratigrafie e relativa documentazione fotografica (progetto preliminare ed indagini integrative, indagini cassa di espansione camporeggio) o solo stratigrafia (in BDSRI).

Da inizio tratto al km 20+000, i sondaggi sono stati rappresentati sul profilo geologico proiettandoli perpendicolarmente all'asse del tracciato (per determinarne la distanza progressiva rispetto all'origine di lotto; dal km 20 a fine lotto i sondaggi sono stati rappresentati sul profilo geologico proiettandoli perpendicolarmente alla traccia del profilo (30 metri in destra rispetto all'asse di progetto), l'intercetta ricavata in questo modo è stata a sua volta proiettata perpendicolarmente all'asse del tracciato per determinarne la distanza progressiva rispetto all'origine di lotto. Lo stesso procedimento è stato adottato per l'intercetta dei limiti geologici e delle faglie. Nella descrizione del profilo geologico, riportata nell'apposito capitolo, si fa riferimento alle progressive del tracciato stradale così ricavate.

Planimetria geologica

Per quanto concerne la geologia sono state riportate in carta le unità stratigrafiche, distinguendo le aree in affioramento da quelle dove l'ammasso roccioso è sub - affiorante cioè ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito (1-2 metri). Per quanto attiene agli elementi strutturali presenti (faglie e sovrascorrimenti) ed al loro assetto, è opportuno evidenziare come la loro ubicazione in planimetria ed in sezione presenti un certo grado di indeterminatezza legato alla scarsità di dati osservabili in campagna.

Profili geologici

Lungo la sezione geologica sono rappresentate le colonne stratigrafiche dei sondaggi proiettati lungo la traccia del profilo. Al loro interno sono rappresentate con apposito retino le litologie prevalenti riconosciute. Un opportuno riquadro evidenzia la sigla di quei sondaggi che sono stati solo parzialmente utilizzati in quanto la loro stratigrafia testimoniava una variazione laterale di alcuni dei depositi riportati in profilo o la cui proiezione ricadeva al di fuori dell'unità geologica mappata in superficie. Le loro informazioni sono state utilizzate per la ricostruzione della planimetria geologica. Nei depositi del substrato litoide le porzioni alterate sono riscontrabili a più livelli all'interno della formazione e sono state rappresentate in profilo in corrispondenza delle colonnine stratigrafiche ove effettivamente riscontrare (es. litofacies limoso argillosa o ghiaiosa nei Calcari Cavernosi piuttosto che livelli di argilla nelle formazioni delle Argille e Calcari di Canetolo). Sono state infine rappresentati i dati con stratigrafia presenti nella Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana (BDSRI).

Relativamente agli elementi morfologici antropici (argini e rilevati), l'estremo dettaglio del profilo topografico, derivato dai rilievi appositamente realizzati per l'opera in progetto, mostra una lieve discrepanza rispetto alla posizione dei medesimi elementi individuati sulla cartografia regionale (cartografia in scala 1:10.000 restituita in progetto in scala 1:5.000) che è stata utilizzata come base topografica per gli elaborati geologici. Nella realizzazione della sezione geologica sono segnalate con apposito simbolo i settori con riporti antropici mappati in planimetria.

9 DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA DELL'AREA

La grande mole di dati acquisita nell'ambito del presente progetto rappresenta un notevole incremento alla conoscenza del sottosuolo dell'area. La nomenclatura proposta per i depositi quaternari è in gran parte originale e risponde alla necessità di definire i vari corpi geologici dal punto di vista delle loro caratteristiche di facies, della loro posizione stratigrafica e dei riferimenti temporali individuati. Alcuni limiti di incertezza nell'attribuzione dei depositi quaternari derivano tuttavia dall'impossibilità di eseguire verifiche cronostatigrafiche puntuali.

Nell'elaborazione della stratigrafia rappresentata nella carta di superficie e nel profilo di sottosuolo si è fatto riferimento ad alcuni lavori relativi a zone limitrofe (citati nel capitolo di inquadramento geologico e presenti in bibliografia) che forniscono degli elementi di riferimento fondamentali per la ricostruzione cronostatigrafica dei depositi di questo settore della Toscana Meridionale.

L'alternanza degli episodi trasgressivo-regressivi (Fig. 39) determinati dalle variazioni del livello del mare porta alla sovrapposizione di ambienti simili durante il corso del tempo. La ricostruzione che viene presentata si basa pertanto sulla correlazione fisica delle stratigrafie dei singoli sondaggi. Nella suddivisione stratigrafica in ogni sondaggio i sedimenti sono stati descritti nei loro caratteri:

- 1 - litologia;
- 2 - tessitura (litologie ciottoloso sabbiose);
- 3 - eventuali strutture sedimentarie (laminazioni, gradazioni);
- 4 - contenuto fossilifero (quando possibile è stata verificata anche la autoctonia o alloctonia);
- 5 - presenza di minerali vulcanici;
- 6 - colore dei sedimenti, che è espressione delle diverse condizioni ossido-riducenti degli ambienti di sedimentazione o di alterazione e pedogenesi.

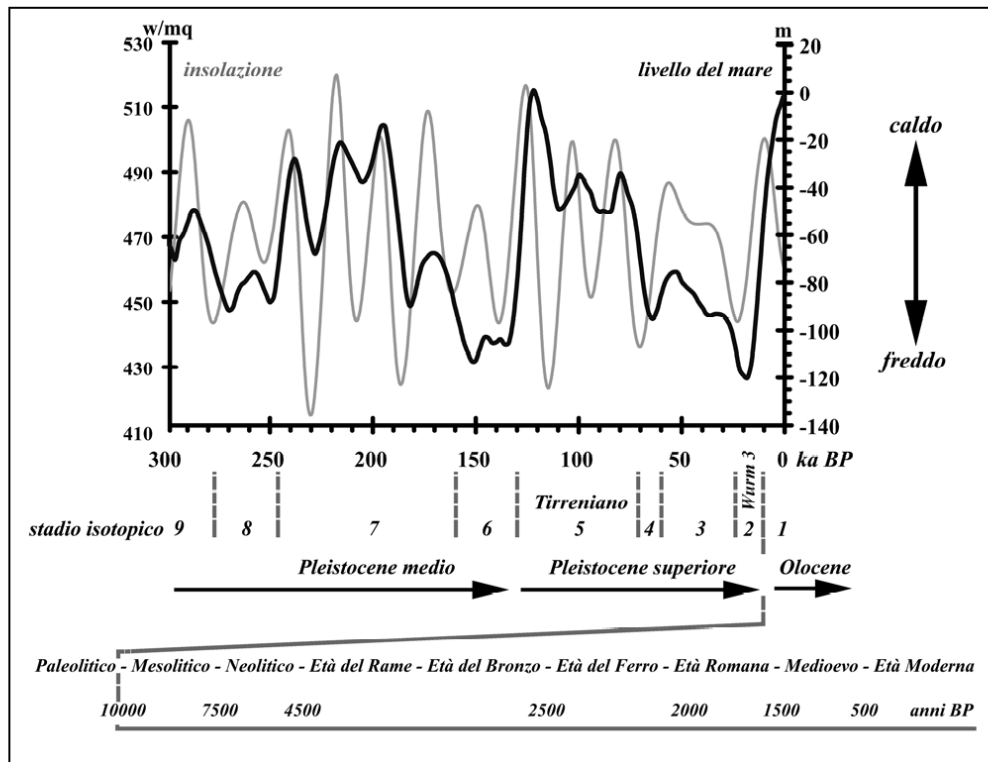


Fig. 39 – Variazioni del livello del mare e dell’insolazione dal Pleistocene medio all’Olocene (da: Silenzi et al. 2004)

Nel caso in cui la mancanza di datazioni dirette inibisca un chiaro riferimento cronostratigrafico, è risultato importante enfatizzare la natura dei contatti stratigrafici tra le unità (concordante e discordante), in quanto in questo caso la cronostratigrafia risulta comunque ipotizzabile sulla base dei seguenti elementi:

- correlazioni tra diversi ambiti desumibili sulla base della geologia di superficie (cartografia geologica ufficiale e studi precedenti);
- presenza in letteratura di informazioni relative alla cronologia di specifici intervalli stratigrafici.

I terreni del settore indagato per il lotto 5b sono caratterizzati nel tratto centrale della piana dell’Albegna –Osa, da depositi olocenici da tardo a post-glaciali ovvero successivi all’ultima fase di abbassamento marino (LGM). I depositi trasgressivi post glaciali sembrano partire con depositi di piana costiera (Qt1k) palustro-lagunari proseguono con depositi lagunari (H3a) ai quali si interdigitano nell’asse del Fiume Albegna depositi deltizi (H3b), passanti verso nord a depositi di spiaggia (H3c). Successivamente, nel pieno della trasgressione, si passa a depositi di spiaggia (H2) nel tratto tra Ansedonia ed Albinia. In generale al di sopra si registra un chiaro trend regressivo, espresso da depositi lagunari (H1a) sui quali progradano i sistemi fluviali, complicato

dalla presenza di depositi di spiaggia (H1a2) (episodio trasgressivo). Depositati legati alla fase LGM (di abbassamento marino) e alle fasi precedenti sono presenti, in sondaggio, avvicinandosi alla zona di Ansedonia (Qt1d, Qt2 e Qt3a).

9.1 COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ

La dicitura in legenda “Coperture senza attribuzione di età” viene fatta in quanto questi depositi, che sono di età olocenica quando si trovano in affioramento, possono essere presenti anche nel sottosuolo con diverse attribuzioni cronologiche, poiché interdigitati in unità quaternarie di età diversa.

a4 - Depositi eluvio - colluviali

Limi, limi argillosi e limi sabbiosi, talora sabbie limose, con ghiaie minute e clasti millimetrici eterogenei. Colori frequentemente rossastri. Nei pressi di rilievi costituiti da unità litoidi sono stati riconosciuti in sondaggio terreni eluvio - colluviali interdigitati in unità quaternarie di età diversa. Per semplicità di rappresentazione e per limitare la proliferazione di sigle si è deciso di indicare con “a4” l’insieme di tutti questi terreni.

a3 - Depositi di versante

Limi, limi sabbiosi e sabbie limose con clasti centimetrici e millimetrici eterogenei. La foto seguente è indicativa della facies dei depositi di versante “a3” così come è stata prelevata nei sondaggi:



Fig. 40 – Depositi di versante nel sondaggio (5b-SD1)

a2, ap - Depositi di frana

Limi, limi argillosi, sabbie e sabbie limose con clasti eterometrici ed eterogenei. Sono distinti in depositi quiescenti (a2) ed antichi (ap) come descritto nel paragrafo relativo alla geomorfologia.

9.2 DEPOSITI QUATERNARI

H1e - Depositi di spiaggia attuale

Sabbie color marrone con malacofauna diffusa. Età: Olocene

H1c - Ambiente costiero di retro duna, passante a lagunare o palustre e di colmata (non differenziato)

Limi sabbiosi e limi, sabbie limose con possibile presenza di frustoli vegetali. Ambiente costiero di retro duna, passante a lagunare o palustre (non differenziato). Età: Olocene

H1b - Ambiente fluviale

Sabbie fini spesso limose, limi, limi sabbiosi e limi argillosi. Presenza di elementi millimetrici nerastri di manganese e calcinelli. Età: Olocene

La foto seguente è indicativa della facies di ambiente fluviale “H1b”:



Fig. 41 – Depositi di ambiente fluviale (H1b) in sondaggio (5b-SD23 0-5 m)

H1a3 - Depositi eolici (duna)

Sabbie e sabbie limose color marrone, talora cementate. Età: Olocene

H1a2 - Ambiente marino (spiaggia?)

Sabbie fini talora cementate, e sabbie limose. In affioramento presenza di malacofauna. Età: Olocene

La foto seguente è indicativa della facies di ambiente marino “H1a2”:



Fig. 42– Depositi di ambiente marino (H1a2) in sondaggio (5b-SD29 1.20-5 m)

H1a1 - Depositi palustri

Limi, limi argillosi e limi sabbiosi da marroni a grigi talora con presenza di elementi vegetali e cristalli di gesso. Sabbie fini limose subordinate. Età: Olocene

La foto seguente è indicativa della facies dei depositi palustri “H1a1” così come è stata prelevata nei sondaggi:



Fig. 43 – Depositi palustri (H1a1) in sondaggio (5b-SD15 /1.40 m)

H1a - Depositi lagunari

Argille limose, limi argillosi debolmente sabbiosi di colori prevalentemente bruni, grigi e verdastri, talora nocciola per probabile alterazione. Localmente livelli di sabbie fini limose. Presenza di malacofauna di ambiente salmastro e resti vegetali. Nel caso del sondaggio 4/1-SD22 è presente un livello di 2,8 metri di ghiaia e sabbia che si presume legato ad un evento fluviale locale di limitata estensione. Età: Olocene.

Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi lagunari “H1a” così come è stata prelevata nei sondaggi:



Fig. 44 – Depositi lagunari (H1a) in sondaggio (5b-SD24 / 9 m)



Fig. 45 – Depositi lagunari (H1a) in sondaggio (5b-SD27 / 13,70 m)



Fig. 46 – Depositi lagunari (H1a) in sondaggio (5b-SD31 14.0 m)



Fig. 47 – Depositi lagunari (H1a) in sondaggio (5b-SD33 11-13.50 m)

H2 - Depositi di spiaggia

Sabbie e sabbie limose colori marroni, talora con malacofauna e qualche livelletto cementato. Età: Olocene. Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi di spiaggia "H2" così come è stata prelevata nei sondaggi:



Fig. 48 – Depositi di spiaggia (H2) in sondaggio (5b-SD34bis 11.55-16.50 m)



Fig. 49 – Depositi di spiaggia (H2) in sondaggio (5b-SD27 / 16.50 m)

H3c - Depositi di spiaggia

Sabbia fine e media, sabbia limosa e subordinata argilla limosa. Presenza di malacofauna. Età: Olocene

Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi di spiaggia “H3c” in sondaggio:



Fig. 50 – Depositi di spiaggia (H3c) in sondaggio (5b-SD15 / 11.0 m)



Fig. 51 – Depositi di spiaggia (H3c) in sondaggio (5b-SD15 m)



Fig. 52 – Depositi di spiaggia (H3c) in sondaggio (5b-SD18 / 11.30 m tronco fossile)



Fig. 53 – Depositi di spiaggia (H3c) in sondaggio (5b-SD16 / 7.50 m)

H3b - Depositi di ambiente deltizio

Sabbie fini e medie, alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose con locali intervalli argillosi, subordinata presenza di argilla con limo debolmente sabbioso. Età: Olocene

La foto seguente è indicativa della facies dei depositi deltizi “H3b” in sondaggio:



Fig. 54 – Depositi di ambiente deltizio (H3b) in sondaggio (5b-SD20 m)

H3a - Depositi lagunari

Argille limose, limi argillosi debolmente sabbiosi, talora in fitte alternanze, di colori prevalentemente bruni e grigi. Presenza locale di malacofaune di ambiente salmastro. Età: Olocene

La foto seguente è indicativa della facies dei depositi lagunari “H3a” in sondaggio:



Fig. 55 – Depositi lagunari (H3a) in sondaggio (5b-SD33)

Qt1j - Depositi fluviali

Sabbie medie grossolane e ghiaie. Riconosciuti in sondaggio nella zona del Fiume Albegna (paleoalveo?). Età: Pleistocene superiore

La foto seguente è indicativa della facies dei depositi fluviali “Qt1j” in sondaggio:



Fig. 56 – Depositi fluviali (Qt1j) in sondaggio (5b-SD22 35 / 39.20 m)

Qt1k - Depositi di piana costiera palustro-lagunari

Argille ed argille limose con qualche livello sabbioso, resti vegetali e presenza di gusci di malacofauna. Età: Pleistocene superiore.

L'attribuzione cronologica proposta per questi depositi si basa sul contributo scientifico (Mazzini et al. - 1999) che descrive dal punto di vista stratigrafico e paleoecologico un sondaggio di circa 50 metri effettuato nella piana dell'Albegna, in prossimità del fiume, poco distante dall'area indagata. L'analisi stratigrafica è correlata da alcune datazioni radio-carbonio che pongono il limite Pleistocene – Olocene ad una profondità di circa 27 metri dal piano campagna (posto a quote raffrontabili con quelle dei sondaggi considerati lungo il tracciato).

I sedimenti fangosi sottostanti a questo limite, coincidenti in profilo all'unità Qt1k, sono riferiti dagli autori, sulla base di ostracofauna, ad ambienti di piana costiera. E' ragionevole ritenere che questi sedimenti siano riferibili al Pleistocene finale posteriore all'ultimo massimo glaciale (LGM – Last Glacial Maximum).

Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi di piana costiera palustro - lagunari "Qt1k" in sondaggio:



Fig. 57 – Depositi di piana costiere palustro lagunare (Qt1k) in sondaggio (5b-SD15 18.60 m)



Fig. 58 – Depositi di piana costiere palustro lagunare (Qt1k) in sondaggio (5b-SD15 18.50-19.40 m)

Qt1e - Depositi eolici (dune)

Sabbie da fini a medie talora con livelli parzialmente cementati. Sabbie debolmente limose. Età: Pleistocene superiore .

Le foto seguente è indicativa della facies dei depositi elolici “Qt1e”:



Fig. 59 – Depositi eolici (Qt1e) in sondaggio (5b-SD40 / 10-15 m)

Qt1d – Depositi fluviali. (LGM (?) - 18ka BP)

Sabbie limose, limi sabbiosi, sabbie con ghiaia (clasti tondeggianti da millimetrici a centimetrici); Ghiaia con sabbia (in sondaggio). Presenza di calcinelli e concrezioni manganesifere nei suoli, colori prevalenti marrone ocracei talora screziati più raramente verdastri. Le sabbie limose e con limo di colore rossiccio, con residui carboniosi ed elementi arenacei tondeggianti, presenti nella parte finale dei sondaggi 5/1SD1 e 5/2SD15 sono state attribuite a questi depositi in mancanza di datazioni che ne accertassero una ipotetica età più antica. Età: Pleistocene superiore.

Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi fluviali “Qt1d” in sondaggio:



Figura 60 – Depositi fluviali (Qt1d) in sondaggio (5b-SD12 34.50 m)



Figura 61 – Depositi fluviali (Qt1d) in sondaggio (5b-SD12 39.80 m)



Figura 62 – Depositi fluviali (Qt1d) in sondaggio (5b-SD12 35–40 m)



Figura 63 – Depositi fluviali (Qt1d) in sondaggio (5b-SD20 40-50 m)

Qt2 - Depositi marino-costieri (?)

Sabbie fini, giallastre e giallo-ocra, talora debolmente cementate. A luoghi sono presenti frammenti di malacofauna (marina?). Età: Pleistocene medio - inferiore

Le foto Le foto seguenti sono indicative della facies dei depositi marino costieri “Qt2”:



Figura 64 – Depositi Marino Costieri (Qt2) in sondaggio (5b-SD33 26–30 m)



Figura 65 – Depositi Marino Costieri (Qt2) in sondaggio (5b-SD40 20-25 m)

Qt3 - Depositi costieri (palustri?)

Sabbie fini da debolmente limose a limose, colori grigi. Questo deposito è presente nel solo sondaggio 5/2 SD4. Età: Pleistocene inferiore?

9.3 DEPOSITI NEOGENICI

PLLs

Sabbie gialle, sabbie argillose talora con fossili e lenti di conglomerati a diverso grado di cementazione. Età: Pliocene inf.-medio

9.4 UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURI

ACC - Argille e Calcari di Canetolo

Argilliti e siltiti scure alternate a calcari grigi e grigio verdastri e calcareniti grigie. E' stata distinta una litofacies calcarea (ACCb) caratterizzata da strati calcarei spessi e molto spessi ed una litofacies argillitico-calcarea (ACCa) con alternanza di argilliti scure prevalenti, siltiti calcari micritici e calcareniti. In sondaggio le argilliti si alternano ad argilliti tenere ed argille nelle quali a volte si intravede a malapena la struttura scagliosa. Età: Paleocene - Eocene



Fig. 66 – Particolare di un affioramento di ACCa (argilliti con livelli sottili di calcari) nella zona di Fonteblanda.

Le foto seguenti sono indicative della facies dell'”ACCa” riscontrate in sondaggio:



Fig. 67 – Argille e calcari di Canetolo (ACCa) in sondaggio (SD1 25 – 35 m)



Fig. 68 – Argille e calcari di Canetolo (ACCa) in sondaggio (SD2 10 - 15 m)



Fig. 69 – Argille e calcari di Canetolo (ACCa) in sondaggio (SD3bis 30 – 35 m)



Fig. 70 – Argille e calcari di Canetolo (ACCa) in sondaggio (SD3bis 35 – 40 m)



Fig. 71 – Argille e calcari di Canetolo (ACCa) in sondaggio (SD4 10 - 15 m)

Le foto seguenti sono rappresentative della facies dell'”ACCb” riscontrate in sondaggio:



Figura 72 – Argille e calcari di Canetolo (ACCb) in sondaggio (SD6 5 - 10 m)

9.5 UNITÀ TETTONICHE TOSCANE

Le Unità Tettoniche Toscane presenti nell'area comprendono formazioni del Triassico, del Giurassico, del Cretaceo, dell'Oligocene. Il complesso quadro geologico dell'area risulta caratterizzato dalla sovrapposizione di diverse unità tettoniche che vengono descritte per ordine di impilamento dalla superiore alla inferiore.

Unità di Collelungo

MAC – Macigno

Areniti quarzoso-feldspatiche, micacee e siltiti in strati da sottili a spessi talora molto spessi, granulometria da fine a medio-grossolana, colori grigi al taglio fresco marroni e giallastre all'alterazione. Età: Oligocene superiore-Miocene inferiore

STO3 - Scaglia Toscana (membro delle Calcareniti di Montegrossi, Calcareniti a nummuliti)

Calcari stratificati con interstrati pelitici, colore grigio. Presenza di liste di selce e livelli di brecciole con clasti di quarzo. Possibile presenza di bancate calcarenitiche grossolane a macroforaminiferi. Età: Cretaceo superiore-Eocene inferiore.

Unità dei Monti dell'Uccellina

SCA - Scaglia

Argilliti varicolorate, talora marnose, siltiti, con sottili intercalazioni di calcilutiti silicee e calcareniti. Presente nel sondaggio (4/1SD10). Età: Cretaceo medio - Paleogene (Albiano-Oligocene)

Unità di Talamone

CV - Calcare Cavernoso

Calcarei dolomitici, dolomie nere stratificate o brecciate, calcari "a cellette". Rari gessi. I fenomeni carsici interessano tutto l'ammasso del Calcare Cavernoso (come testimoniato dalla presenza di grotte e cavità nelle zone limitrofe al tracciato - v. Censimento delle cavità carsiche nella Banca Dati della Regione Toscana). I fenomeni di dissoluzione portano ad una diffusa presenza di cavità di dimensioni estremamente variabili. Le porzioni alterate della formazione si presentano come breccie con matrice di sabbia e limo, argille limoso sabbiose con clasti, sabbie limose e limi sabbiosi. I colori sono rossastri talora abbastanza vivi. Età: Trias (Norico)



Fig. 73 – Calcare Cavernoso in affioramento

Le foto seguenti sono rappresentative delle diverse facies del Calcare Cavernoso "CV" riscontrate in sondaggio:



Fig. 74 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD37).



Fig. 75 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD37).



Fig. 76 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD37bis - "calcare a cellette")



Fig. 77 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD34 bis 25-30 m)



Fig. 78 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD36 25-30 m)



Fig. 79 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD36 30-35 m)



Fig. 80 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD8 10-15m in prossimità delle terme dell' Osa)



Fig. 81 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD8 15-20 m in prossimità delle terme dell' Osa)



Fig. 82 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD9 25-30 m in prossimità delle terme dell' Osa)



Fig. 83 – Calcare Cavernoso in sondaggio (SD10 25-30 m in prossimità delle terme dell' Osa)

10 DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO

10.1 GEOLOGIA

Nell'ambito del presente capitolo si riportano, procedendo da nord a sud, le considerazioni a tema geologico e geomorfologico di interesse tecnico per l'opera oggetto di progettazione. Nella descrizione si fa riferimento al profilo geologico longitudinale, che è stato realizzato sull'asse di tracciamento da inizio tratto al km 20+000 e 30 metri in destra rispetto a tale asse dal km 20+000 a fine tratto.

Si precisa che l'andamento del substrato (Unità Tettoniche Toscane ed Unità Subliguri) presenta un'inevitabile incertezza mano a mano che ci si allontana dalle verticali sondate, in quanto l'andamento piano altimetrico dei limiti geologici non dipende da rigorosi criteri geometrici.

Il tracciato nella sua parte iniziale si sviluppa a raso o in rilevato e si imposta su depositi alluvionali olocenici (H1b) fino a **progr. 1+700** circa. In questo primo tratto, al di sotto dei depositi quaternari viene riconosciuto un substrato a prevalenza argillitica (ACCa) così come riscontrato nel sondaggio 4/1SD3 ad una profondità di circa 6 m da p.c. Da **progr. 1+700 a progr. 1+932** l'opera intercetta depositi di versante (a3). Questi depositi sono stati riconosciuti in sondaggio (4/1SD6, 4/1SD8 e 5b-SD1) ed interpretati come interdigitati con depositi quaternari di età diversa. Al km 1+656,86 è previsto il Nuovo Svincolo di Fonteblanda.

Il tracciato prosegue con tratti in trincea e tratti in rilevato fino a **progr. 3+235** attraversando terreni della Formazione ACCa, presenti in questo settore sia in affioramento che in sondaggio (**in questo tratto tra la progr. 2+800 e la progr. 2+900 è prevista la Nuova galleria artificiale Foneblanda**). A **progr. 3+235** la Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo (ACCa) sovrascorre sul Calcare Cavernoso (Cv) dell'Unità Tettonica di Talamone. In analogia al comportamento registrato nei sondaggi in areali limitrofi, si ipotizza che il contatto sia tettonizzato ed interessato da fenomeni di dissoluzione carsica. Questo settore è anche complicato dalla presenza di una faglia a **progr. 2+619** circa. Dalla **progr. 2+730** alla **progr. 3+603** il tracciato si imposta su depositi di versante (a3) che ricoprono con spessori variabili (fino ad un massimo di circa 16,5 m da p.c. in corrispondenza del sondaggio 5b-SD3/3bis) dapprima la formazione delle Argille e Calcari di Canetolo (Acca) e poi a partire dalla **progr. 3+235** il Calcare Cavernoso (Cv). Sebbene questi terreni siano stati attribuiti a depositi di versante, la configurazione morfologica dell'area e la vicinanza del sovrascorrimento delle Unità Sub-Liguri (Acca) sulle Unità di Talamone

(Cv) lascia spazio ad ipotesi genetiche diverse, quali azione della gravità, erosione incanalata o deformazioni tettoniche.

Da **progr. 3+603** il tracciato si attesta nei depositi olocenici della piana del Torrente Osa e del Fiume Albegna, nei quali rimane fino al raggiungimento dei rilievi di Ansedonia al **km 20+951** circa. L'evoluzione pleistocenico-olocenica di questo settore, descritta nei paragrafi precedenti, determina una successione piuttosto regolare di depositi appartenenti ad ambienti da marino costieri, palustri deltizi e fluviali; tutti con andamento tabulare. Da **progr. 3+603** a **progr. 7+951** l'opera attraversa depositi palustri (H1a1), intercettando solo localmente i depositi fluviali (H1b) dell'alveo del Torrente Osa (**progr. 3+990 – 4+028 e progr. 4+047 – 4+061**). Da **progr. 7+951** il tracciato si sviluppa invece su depositi alluvionali (H1b) fino a **progr. 11+983** dove si intercettano i depositi prevalentemente sabbiosi di ambiente marino (H1a2) fino a **progr. 14+946**. Da questa progressiva in poi i depositi sono nuovamente alluvionali (H1b) fino a **progr. 16+070** dove si passa ad una coltre eluvio colluviale (a4) nella quale il tracciato prosegue fino a **progr. 18+141**.

Nella piana del Fiume Albegna e del Torrente Osa, al di sotto dei depositi quaternari, sono presenti calcari molto tettonizzati e carsificati riscontrati in diverse verticali di sondaggio (5b-SD7bis, 5b-SD8, 5b-SD9, 5b-SD10, 5/2-SD8, 5b-SD34bis, 5b-SD35, 5/2-SD11, 5b-SD36, 5/2-SD13, 5/2-SD12 e 5b-SD37, 5/2-SD15, 5/1-SD1, 5/1-SD2, 5/1-SD3, 5/1-SD3bis e 5/1-SD5); pertanto si è ipotizzata la presenza della formazione del Calcare Cavernoso tra **progr. 3+235 e progr. 3+990**, tra **progr. 15+259 e progr. 15+638**, tra **progr. 16+615 e progr. 18+115**, tra **progr. 19+617 e progr. 19+826** e tra **progr. 20+425 e progr. 22+966** ricordando ancora l'inevitabile incertezza nella delimitazione di questi corpi rocciosi il cui andamento non è prevedibile con criteri geometrici ma solamente invocando la ragionevolezza.

In particolare, spostandosi dai rilievi collinari di Poggio Civitella verso la piana del Fiume Osa, nel tratto compreso tra la **progr. 3+235 e la progr. 3+990**, al di sotto dei depositi quaternari viene intercettato a profondità variabile dai 4 a 17 m circa da p.c. il substrato costituito da calcari spesso estremamente tettonizzati e carsificati della Formazione del Calcare Cavernoso riscontrati nei sondaggi 5b-SD7bis, 5b-Sd8, 5b-SD9, 5b-SD10 (in questi sondaggi il calcare cavernoso si presenta fortemente brecciato ed alterato a ghiaia biancastra); il Nuovo Ponte sul Fiume Osa si sviluppa dalla **progr. 3+500,37 e la progr. 4+300,37**.

Tra la **progr. 16+615 e la progr. 18+115** nel tratto in cui si prevede di realizzare la Nuova Galleria Artificiale Orbetello (tra la **progr. 17+430 e la progr. 17+920**) il substrato roccioso costituito da calcari tettonizzati e carsificati è intercettato in sondaggio a profondità variabile da circa 20 m a

circa 28 m da p.c. (cfr. sondaggi 5b-SD34bis, 5b-SD35, 5/2-SD11, 5b-SD36, 5/2-SD13, 5/2-SD12 e 5b-SD37).

A partire dal **km 16+716** circa la porzione basale della successione quaternaria è costituita da depositi fluviali pleistocenici (Qt1d) associati alla presenza di conoidi legate ai rilievi retrostanti la costa. La loro estensione fa ritenere che queste forme siano relitte, ovvero che il loro bacino di alimentazione non sia quello attuale ma sia legato ad una differente paleogeografia. Da **progr. 18+141** l'opera si imposta su terreni prevalentemente sabbiosi attribuiti ai depositi di spiaggia (H2) fino a **progr. 20+255**.

Da **progr. 20+255** a **progr. 20+951** l'opera si sviluppa su una coltre di depositi eluvio-colluviali (a4) derivante dal disfacimento dei depositi di Calcere Cavernoso (Cv) che il tracciato interseca da **progr. 20+951** a **progr. 22+806** (zona di Ansedonia). Altre coltri di detrito (a4) sono presenti da **progr. 21+270** a **progr. 21+380**, da **progr. 21+555** a **progr. 22+088** e da **progr. 22+806** a **progr. 22+951**. **A partire da progr. 22+951 a fine tratto** il tracciato si imposta sui depositi sabbiosi di duna (Qt1e).

10.2 GEOMORFOLOGIA

Vengono di seguito descritti i principali elementi geomorfologici di interesse per la realizzazione dell'opera rappresentati nella cartografia allegata (Planimetria Geomorfologica e Mappa della Pericolosità da Alluvione) e riferiti alle progressive del tracciato.

Gli elementi di maggiore impatto riguardano gli aspetti idraulici legati all'attraversamento dei corsi d'acqua in aree con morfologie sfavorevoli al deflusso ed a rischio di allagamento. In particolare si segnalano i settori e a pericolosità idraulica elevata (P3 – alluvioni frequenti) redatte dal Distretto Appenninico Settentrionale UoM Ombrone:

Tratti in cui il tracciato interferisce con aree classificate a Pericolosità da Alluvione Fluviale Elevata (P3)

- Da inizio tratto alla progr. 1+412
- Dalla progr. 3+693 alla progr. 9+958
- Dalla progr. 10+016 alla progr. 12+637

Per i tratti di interferenza con le aree a Pericolosità da Alluvione Media (P2) e Bassa (P1) si rimanda allo specifico paragrafo.

Oltre a questi areali sono numerosi i settori con difficoltà di deflusso in particolare nel settore compreso tra Orbetello Scalo ed Ansedonia oltre alle aree attorno al corso del Fiume Albegna e del Torrente Osa.

In prossimità dei rilievi collinari di Poggio Civitella il tracciato si sviluppa **da progr. 2+700 circa a progr. 3+500 circa** lungo una valle che risulta per un buon tratto in approfondimento (**da progr. 3+200 a progr. 3+500**), sempre in questo settore i rilievi collinari sono interessati da variazioni di inclinazione del versante e da scarpate di degradazione. Il rilievo che si trova ad est del tracciato (versante esposto ad ovest) è interessato da erosione areale diffusa e da fenomeni di soliflusso; **da progr. 3+100 circa a progr. 3+150** circa il tracciato lambisce il piede di un antico corpo di frana di scivolamento; sempre nel medesimo tratto è presente un piccolo areale interessato da uno scivolamento di dimensioni non cartografabili alla scala di rappresentazione.

Superata la soglia dell'alto morfologico di Fonteblanda il tracciato si sviluppa nella piana del Fiume Albegna e del Torrente Osa. Tutto questo settore presenta delle difficoltà di drenaggio; peraltro la piana dell'Albegna è oggetto di interventi di bonifica e regimazione delle acque. Attualmente la Regione Toscana e le amministrazioni locali stanno progettando una cassa di espansione proprio in questa zona. In particolare, dalla **progr. 3+693 alla progr. 9+958** e da **progr. 10+016 alla progr. 12+637** il tracciato si colloca in una zona a Pericolosità Idraulica Elevata (P3), in questo tratto il tracciato risulta per buona parte in affiancamento al rilevato ferroviario classificato a Pericolosità idraulica bassa (P1); i rilevati stradali sovente svolgono una funzione di "argine" o "diga" durante gli episodi più critici di piovosità. A questo proposito per la prevenzione degli episodi di esondazione appare di grande importanza la buona manutenzione di tutti i tombini ed i fossi di scolo delle acque attorno alla viabilità. Il rilevamento geomorfologico in situ svolto nella stagione primaverile ha confermato una diffusa difficoltà di drenaggio in tutto questo settore. Zone con difficoltà di drenaggio sono segnalate nei tratti compresi da **progr. 4+145 a progr. 4+500** circa, **da progr. 9+835 a progr. 10+117** circa, **da progr. 11+210 a progr. 12+120** circa, **da progr. 14+850 a progr. 17+179** circa e **da progr. 18+100 a progr. 20+750**.

Il settore che attraversa l'alto morfologico di Ansedonia, costituito dalla formazione carbonatica del Calcare Cavernoso (Cv), è interessata da diffusi fenomeni di carsismo in particolare da doline e da grotte, riportate nella cartografia geomorfologica, alcune di queste trovano riscontro con quanto segnalato dalla Federazione Speleologica Toscana (Catasto Online delle Grotte in Toscana – Geoscopio). Una grotta (Grotta Antonizia cod. 1171) è segnalata dal catasto sui rilievi ad est di Orbetello Scalo in un'area non interferente con le opere in progetto; sempre il catasto segnala un

area carsica che lambisce le opere in progetto nel tratto compreso dalla **progr. 21 + 100 alla progr. 21 + 400** circa.

11 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono alcune criticità geologiche che possono avere grande influenza per la progettazione delle opere:

- presenza di materiali con scadenti caratteristiche meccaniche: depositi di ambiente fluviale, palustre e lagunare fini e plastici ad alto contenuto organico (le analisi sui campioni prelevati dai pozzetti e dai sondaggi indicano contenuti di sostanza organica anche superiore all'11%); livelli torbosi (resti vegetali, frammenti di legno ecc.) sono stati intercettati a diverse profondità nei fori di sondaggio; dovranno pertanto essere prese in considerazione le problematiche connesse all'elevata compressibilità di questi terreni. Oltre a considerare questi elementi, bisognerà porre particolare attenzione alla parte alterata del substrato, sia nelle porzioni disgregate delle argilliti della Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo (livelli di argillite spesso alterate ad argilla) sia nei calcari tettonizzati e carsificati della Formazione del Calcere Cavernoso (in diversi sondaggi il calcere cavernoso si presenta fortemente brecciato ed alterato in maniera tale da costituire una sorta di ghiaia biancastra);
- la presenza di gesso impone di porre particolare attenzione nei confronti dei fenomeni di rigonfiamento, e di eventuali trattamenti volti a padroneggiare tali fenomeni;
- l'ubicazione degli elementi strutturali è soggetta ad un certo grado di indeterminatezza in ragione della frammentaria esposizione del substrato e della presenza di estese coperture di vario tipo. Attorno alle zone di faglia ed alle strutture tettoniche principali è probabile la presenza di una zona cataclastica associata a fratture più o meno cementate da calcite;
- a sud dello svincolo di Fonteblanda, al km 2+400 circa, il tracciato si distacca dall'attuale Aurelia andando ad incidere il Poggio Civitella. Il passaggio ai piedi del poggio avviene in prossimità del contatto tettonico tra la Formazione di Canetolo "Acca" e quella del Calcere Cavernoso "Cv". La prima è un flysh costituito da siltiti ed argilliti (in sondaggio spesso alterate ad argilla) alternate a calcari e calcareniti, mentre la seconda è una formazione calcarea costituita da calcari dolomitici, dolomie spesso brecciate, calcari a cellette con possibile presenza di cavità carsiche e le cui porzioni alterate sono costituite da brecce con sabbia e limo, argille limoso sabbiose ecc.
- tra il km 2+800 e il km 2+900 circa, il tracciato si sviluppa in galleria artificiale in un'area di contatto tettonico tra la Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo e il Calcere

Cavernoso. E' pertanto lecito aspettarsi dei materiali fortemente alterati o milonitizzati, le cui caratteristiche possono ripercuotersi anche sulla stabilità delle scarpate; rimanendo in questo settore dalla progr. 2+730 alla progr. 3+603 il tracciato si imposta su depositi di versante (a3) che ricoprono con spessori variabili (fino ad un massimo di circa 16,5 m da p.c. in corrispondenza del sondaggio 5b-SD3/3bis) dapprima la formazione delle Argille e Calcari di Canetolo (Acca) e poi, a partire dalla progr. 3+235, il Calcare Cavernoso (Cv). Sebbene questi terreni siano stati attribuiti a depositi di versante, la configurazione morfologica dell'area e la vicinanza del sovrascorrimento delle Unità Sub-Liguri (Acca) sulle Unità di Talamone (Cv) lascia spazio ad ipotesi che correlano la loro genesi ad altri fattori quali azione della gravità, erosione incanalata e tettonica;

- precedenti studi di settore riguardanti la sostenibilità delle risorse idriche locali, sottolinearono la possibilità che si verificano diffusi fenomeni di risalienza del circuito idrotermale profondo nell'ammasso calcareo, soprattutto in presenza degli allineamenti strutturali e dei contatti tettonici;
- al km 3+100 circa il tracciato lambisce il piede di un antico corpo di frana di scivolamento con un fronte di circa 50 – 60 m; il versante è anche interessato da fenomeni di soliflusso ed erosione diffusa. Questi elementi devono essere considerate con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni, da annoverarsi fra quelli attivi ed equiparabili a frane di coltre o superficiali, in particolar modo quando si manifestano su terreni prevalentemente argillosi;
- tra i km 3+500 e km 4+000 il tracciato si sviluppa nella piana settentrionale dell'Osa, a circa 200 m di distanza dalle sorgente sulfuree Bagnacci, captate e utilizzate ai fini termali (terme dell'Osa). Come sottolineato precedentemente, l'alimentazione profonda di dette sorgenti, in parte miscelata con acque superficiali, deve essere salvaguardata tenendo in dovuta considerazione l'eventuale impatto prodotto dalle opere di fondazione;
- il Data Base Nazionale dell'ISPRA nell'area di studio segnala la presenza di otto Sinkhole di cui tre "Ceppaie 3", "Ceppaie 2" e "Ceppaie 1" ubicati ad una distanza di circa 900 - 1000 metri dal tracciato di progetto all'altezza delle progressive km 5+700 - km 7+300. Sempre in relazione a questo tema, nella Carta Idrogeologica allegata al Piano Strutturale del Comune di Orbetello è riportata l'ubicazione dei "sinkholes storici" e di una relativa area di contorno (intorno significativo di circa 300 ml) in cui, in caso di nuovi interventi di tipo edificatorio, si devono eseguire indagini di dettaglio di tipo geoelettrico o di tipo

gravimetrico in modo da accertare la profondità del substrato, le caratteristiche dei terreni di copertura e di ogni altra informazione utile alla definizione del problema delle aree soggette a rischio sinkholes. La complessità e la scarsa prevedibilità di questi fenomeni, oltre ad imporre l'adozione di cautele nelle assunzioni progettuali, legittima il ricorso a modelli probabilistici di rischio. Si tratta di approcci che considerano simultaneamente sia la probabilità di accadimento di determinati danni indotti dalle lavorazioni sia la gravità dei danni medesimi. Questo tipo di modelli consente valutazioni utili nell'ottica di verificare la sostenibilità delle scelte strategiche. In relazione al tema Sink-Holes l'Università di Firenze (gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Casagli) ha sviluppato uno studio finalizzato ad inquadrare la problematica nell'area di studio, comprensivo di una valutazione preliminare del rischio sinkhole lungo il tracciato in progetto al quale si rimanda per gli aspetti di dettaglio.

- La nuova galleria artificiale di Orbetello (km 17+430 km 17+920) si colloca in un contesto idrogeologico estremamente complesso e delicato, caratterizzato dal deflusso delle acque di falda provenienti dal complesso collinare (costituito da calcare cavernoso) a monte del tracciato e dall'incontro con l'acqua marina della laguna di Orbetello;
- i dati bibliografici reperiti mostrano che le zone prospicienti la costa, sia a nord in corrispondenza della bonifica di Talamone, sia a sud in prossimità della foce del Fiume Albegna, sono interessate da fenomeni di intrusione marina; questo fenomeno può comportare la presenza di acque a salinità elevata in prossimità del piano campagna;
- gli elementi geomorfologici di maggiore impatto riguardano gli aspetti idraulici legati all'attraversamento dei corsi d'acqua in aree con morfologie sfavorevoli al deflusso e soggette al rischio di allagamento. Superata la soglia dell'alto morfologico di Fonteblanda il tracciato si sviluppa nella piana del Fiume Albegna e del Torrente Osa. Tutto questo settore è soggetto a difficoltà di drenaggio e la piana dell'Albegna è oggetto di interventi di bonifica e regimazione delle acque;
- Il settore che attraversa l'alto morfologico di Ansedonia, costituito dalla formazione carbonatica del Calcare Cavernoso (Cv), è interessata da diffusi fenomeni di carsismo in particolare da doline e da grotte, riportate nella cartografia geomorfologica, alcune di queste trovano riscontro con quanto segnalato dalla Federazione Speleologica Toscana (Catasto Online delle Grotte in Toscana – Geoscopio). Una grotta (Grotta Antonizia cod. 1171) è segnalata dal catasto sui rilievi ad est di Orbetello Scalo in un'area non interferente

con le opere in progetto; sempre il catasto segnala un area carsica che lambisce le opere in progetto nel tratto compreso dalla progr. 21 + 100 alla progr. 21 + 400 circa. Grotte, Doline e aree carsificate sono segnalate anche negli elaborati del piano Strutturale di Orbetello.

- ritombamento delle linee di deflusso naturale delle acque.
- presenza di edifici civili in prossimità delle opere rappresenta, elemento da considerare con la massima attenzione, in quanto una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di scavi, emungimenti, riporti, ecc. può generare lesioni; ciò risulta evidente soprattutto nel caso in cui in tali contesti siano state segnalate forme di dissesto più o meno estese;
- la possibile interferenza con le acque sotterranee nei tratti in cui il tracciato sarà realizzato in galleria artificiale e in trincea viene affrontato nelle relazioni con acronimo IDR;
- in relazione al tema della pericolosità Idraulica (PRGA) il tracciato interferisce con aree classificate a Pericolosità da Alluvione Elevata (P3) in corrispondenza dei seguenti tratti: da inizio tratto alla progr. 1+412, dalla progr. 3+693 alla progr. 9+958, dalla progr. 10+016 alla progr. 12+637;
- Piano Strutturale Comune di Orbetello:
 - Aree Allagate e Contesti Idraulici: da inizio tratto a progr. 1+400 circa, da progr. 3+600 circa a progr. 12+650 circa e da progr. 15+000 a progr. 15+600 circa il tracciato si colloca in aree con notizie storiche di esondazione che intersecano l'asse stradale di progetto o comunque si situano in posizione immediatamente adiacente; da inizio tratto a progr. 1+500 circa, da progr. 3+650 a progr. 4+400 circa e da progr. 8+800 a progr. 10+450 circa il tracciato attraversa aree in "Abito B" e in "Ambito A"
 - Pericolosità idraulica: aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P.I.M.E.5) interferenti con il tracciato alle progressive: 0+000 - 0+950; 3+800 - 4+200 (area alveo fiume Osa) e 9+450 - 9+950 (area alveo fiume Albegna); aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P.I.M.E.8) interferenti con il tracciato alle progressive: 0+950 - 1+450 circa, 3+610 - 3+800 circa, 4+200 - 9+450 circa, 9+950 - 12+640 circa e 15+000 e 16+000 circa (in questo tratto le aree lambiscono il tracciato in carreggiata sud); aree a Pericolosità Idraulica media (3) interferenti con il tracciato alle progressive: 1+560 -

1+590, 12+640 - 17+600 e 18+060 - 20+730; aree a Pericolosità Idraulica bassa (2) interferenti con il tracciato alle progressive: 17+600 - 18+060 e 23+690 - 24+000; aree a Pericolosità Idraulica Irrilevante (1) interferenti con il tracciato alle progressive: 1+450 - 3+610 e 20+730 - 23+690

- Cartografia Aree a Pericolosità Geologica: in relazione a questo tema il tracciato si sviluppa in aree a pericolosità geologica media (3) e bassa (2) con alcuni settori caratterizzati da pericolosità geologica elevata (alveo Collettore Orientale da inizio tratto a progr. 1+00 circa, alveo fiume Osa progr. 4+00 circa, alveo canale principale progr. 9+410 circa, alveo fiume Albegna dalla progr. 9+610 alla progr. 9+890 circa e tra la progr. 21+300 e 21+600 dove sono cartografate due aree a pericolosità geologica elevata con sovrassegno P.F.M.E. da PAI).

- Piano Strutturale Comune di Capalbio:
 - Nei confronti della pericolosità idraulica gli elaborati del Piano Strutturale segnalano aree a Pericolosità Idraulica Elevata (Classe 3 - P.I.E.) interferenti con il tracciato nel tratto compreso tra la progr. 23+000 e la progr. 23+200 e aree a Pericolosità Idraulica Bassa (Classe2) interferenti nel tratto compreso tra le progr. 23+200 e fine lotto.

 - Da segnalare nella zona di confine tra il Comune di Orbetello e il comune di Capalbio una diversa attribuzione delle classi di pericolosità idraulica.

 - Nei confronti della Pericolosità geologica, le opere in progetto si collocano in un'area classificata in Classe 2 (Pericolosità Geologica Bassa)

Con riferimento ai fenomeni gravitativi di versante segnalati negli elaborati di progetto si sottolineano i seguenti meccanismi connessi alla realizzazione di scavi:

Per quanto attiene alle possibili interferenze degli scavi con: (a) frane attive, quiescenti, relitte; (b) aree caratterizzate da franosità diffusa; (c) aree potenzialmente instabili; (d) zone contraddistinte da solifluzione, si evidenzia la necessità di considerare sia la possibilità di accadimento di eventi naturali "eccezionali" (piovosità, sisma, ecc.) sia le caratteristiche specifiche delle opere progettate. In particolare, in relazione alla complessità della

componente antropica, si ritiene significativa l'enumerazione dei meccanismi più significativi che coinvolgono il sottosuolo:

i principali effetti indotti dagli scavi riguardano il drenaggio delle acque ipogee e la deformazione dell'ammasso circostante; (2) il drenaggio delle acque diminuisce le pressioni interstiziali nei terreni e nelle rocce e di conseguenza incrementa gli sforzi efficaci in un intorno più o meno ampio (l'ampiezza dei volumi coinvolti è funzione della permeabilità dei terreni, della metodologia di scavo / sostegno e dell'eventuale utilizzo di drenaggi o di impermeabilizzazioni); tale aumento degli sforzi efficaci incrementa la resistenza del versante nei confronti degli scivolamenti di frana; di contro però, genera cedimenti (l'entità dei cedimenti è funzione delle caratteristiche di compressibilità dell'ammasso definibili con gli usuali criteri geotecnici e/o geomeccanici); (3) le deformazioni indotte dallo scavo diminuiscono gli sforzi efficaci in un intorno più o meno ampio, usando una metafora è possibile rappresentare questo fenomeno come effetto degli spostamenti interni all'ammasso che "creano dello spazio utile per la diminuzione della pressione" (l'ampiezza delle alterazioni è funzione della metodologia di scavo / sostegno adottata); tale diminuzione degli sforzi efficaci diminuisce a sua volta la resistenza del versante nei confronti dei movimenti franosi ed, inoltre, genera cedimenti proporzionali all'entità delle deformazioni.

Anche la variabile tempo gioca un ruolo importante nei confronti dei meccanismi di versante, poiché è legittimo ipotizzare che il drenaggio operato dallo scavo nei confronti dell'ammasso si instauri progressivamente e che poi rimanga attivo a lungo termine (l'effetto stabilizzante di cui al punto 2 non è immediato ma poi permane, fatto salvo un eventuale intasamento); viceversa, l'ammasso si detensiona più o meno rapidamente e poi tende a ricompattarsi con il passare del tempo (l'effetto deleterio di cui al punto 3 può instaurarsi anche rapidamente per poi tendere a ridursi progressivamente). In ragione di quanto sopra, dopo che si saranno esaurite le deformazioni iniziali e conseguentemente si sarà assistito ad un aggravio delle condizioni di stabilità, è legittimo attendersi un lento ma progressivo miglioramento.

La complessità dei fenomeni, oltre ad imporre l'adozione di cautele nelle assunzioni progettuali, legittima il ricorso a modelli probabilistici di rischio. Si tratta di approcci che considerano simultaneamente sia la probabilità di accadimento di determinati danni indotti dalle lavorazioni sia la gravità dei danni medesimi. Questo tipo di modelli consente valutazioni agili ed attente nell'ottica della sostenibilità delle scelte.

Ponendosi nella prospettiva del monitoraggio in corso d'opera, si afferma che gli elementi maggiormente sensibili su cui è opportuno concentrare l'attenzione (il fine del monitoraggio è quello di prevenire danni inattesi intervenendo per tempo sui sostegni degli scavi) sono quelli contraddistinti da fattori di sicurezza minori, e cioè: frane attive, frane quiescenti o DGPV, frane relitte e manufatti costruiti su versanti generalmente stabili ma in corrispondenza dei quali esistono segnali di propensione al dissesto (es. soliflussi, aree "potenzialmente instabili", ecc.).

12 BIBLIOGRAFIA

Di seguito vengono qui elencati i lavori bibliografici utilizzati per l'inquadramento delle tematiche e degli areali di interesse, compresi quelli non espressamente citati nel testo. I riferimenti ai siti internet da cui sono state ricavate informazioni, sono indicati per esteso nel testo e non riportati in bibliografia.

Arnoldus-Huyzendveld A. (2005) - Alcuni aspetti dell'ambiente olocenico del Parco Regionale della Maremma. Università di Siena, Polo Universitario di Grosseto, 20 pp.

Barbieri M., Chiocchini U., Madonna S. (2003) - Nuovi dati sull'età dell'Arenaria di Manciano (Miocene) sulla base dei valori di rapporto isotopico $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ (Italia centrale). Boll. Soc. Geol. It., 122, 351-354.

Bartolini C., Corda L., D'Alessandro L., La Monica G.B., Regini E. (1977) - Studi di geomorfologia costiera: III. Il tombolo di Feniglia. Boll. Soc. Geol. It., 96, 117-157.

Bettelli G. (1985) - Geologia delle valli dei fiumi Albegna e Fiora (Toscana meridionale). Geologica Romana, 24, 147-188.

Bettelli G.; Fazzini P. Gelmini B. (1980) - Evoluzione strutturale della Toscana meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 21, 137-141.

Biserni G., Berendsen H.J.A., Sandrelli F., (2005) - Holocene evolution of the Ombrone alluvial plain (Tuscany, Central Italy). Boll. Soc. Geol. It. 124 , 465-474.

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

Boccaletti, M., Ficarelli, G., Manetti, P., and Turi, A. 1969 - Considerazioni sulla "Serie Toscana Ridotta" a sud dell'Arno", Mem. Soc. Geol. It., 8, 265-272.

Bonazzi U., Fazzini P., Gasperi G. (1992) - Note alla carta geologica del bacino del fiume Albegna. Boll. Soc. Geol. It., 111, 341-354.

Bonazzi U., Gasperi G., Fregni P. (1980) - Il Bacino neoautoctono del Fiume Albegna. Mem. Soc. Geol. It., 21, 267-271.

Bosi C., Messina P., Rosati M., Sposato A. (1996) - Età dei travertini della Toscana meridionale e relative implicazioni neotettoniche. Mem. Soc. Geol. It., 51, 293-304.

Bossio A., Foresi L.M., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F., Bilotti M., Colli A., Rossetto R. (2003-2004) - Geology and Stratigraphy of the southern sector of the Neogene Albegna River Basin (Grosseto, Tuscany, Italy). *Geologica Romana*, 37, 165-173.

Caramanna G., Nisio S., Vita L. (2004) - I fenomeni di annegamento dei sinkholes: studi preliminari su alcuni laghetti di origine incerta. In: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. Seminario APAT, 20-21 Maggio 2004, Roma, 229-248.

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

Cavanna C. (a cura di) (2007) - La preistoria nelle grotte del parco naturale della Maremma. Atti del museo di storia naturale della Maremma supplemento al N. 22, Grosseto 10.VII.2007.

D' Alessandro L., Evangelista S., La Monica G.B., Landini B. & De Marco R. (1979) - Dinamica del litorale della Toscana meridionale fra Talamone e Monte Argentario. *Boll. Soc. Geol.* 98, 259-292.

De Pippo T. (2004) - Tavola 29. Coste basse: lagune, tomboli stagni costieri. Italia - Atlante dei Tipi Geografici, IGM, 196-198.

Decandia F.A., Lazzarotto A. & Liotta D. (1993) - La "serie ridotta" nel quadro della evoluzione geologica della Toscana meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 49, 181-191.

Dessau G., Duchi G., Stea B. (1972) - Geologia e depositi minerali della zona Monti Romani-Monteti (comuni di Manciano e Capalbio (Grosseto) ed Ischia di Castro (Viterbo). *Mem. Soc. Geol. It.*, 11, 217-260 con carta geologica.

Elter F.M. & Sandrelli F. (1995) - La fase post-nappe nella Toscana Meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino Settentrionale. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra* (1994) 37, 173 - 193.

Finetti I.R., Boccaletti M., Bonini M., Del Ben A., Gelati R., Papani M., Sani F. (2001) - Crustal section based on CROP seismic data across the North Tyrrhenian- Northern Apennines-Adriatic Sea. *Tectonophysics*, 343, 135-163.

Fontana D. (1980) - Confronti tra arenarie mioceniche nella Toscana meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 21, 85–87.

Grauso S., Zarlenga (1991) - Il Quaternario di P.ta dell'Avoltore (Monte Argentario - Toscana meridionale). Il Quaternario 4, 311-326.

Hearty P.J., Dai Pra G. (1987) - Ricostruzione paleogeografica degli ambienti litoranei quaternari della Toscana e del Lazio settentrionale con l'impiego dell'aminostratigrafia. Boll. Serv. Geol. Ital. 106, 189–224.

I.S.P.R.A. (2008) - I fenomeni naturali di *sinkhole* nelle aree di pianura italiane. Di Stefania Nisio. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Vol. LXXXV .

I.S.P.R.A. (2009) 2° Workshop internazionale - I *Sinkholes*. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato. Atti del Convegno, Roma, 3-4 Dicembre 2009.

Lazzarotto A., Mazzanti R., Mazzoncini F. (1964) - Geologia del Promontorio Argentario (Grosseto) e del Promontorio del Franco (Isola del Giglio, Grosseto). Boll. Soc. Geol. It., 83, 1-124 con carta geologica.

Mancini F. (1960) - Sulla geologia della Piana d'Albegna (Grosseto), Boll. Soc. Geol. It., 79, 1-90 con carta geologica.

Martini I.P., Cascella A, Rau A. (1995) - The Manciano Sandstone: a shoreface deposit of Miocene basins of the Northern Apennines, Italy. Sediment. Geol., 99 (1), 37-59.

Mazzanti R. (1983) - Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana. Boll. Soc. Geol. It. 102: 419-556.

Mazzini I., Anadon P., Barbieri M., Castorina F., Ferreli L., Gliozzi E., Mola M., Vittori E. (1999) - Late Quaternary sea-level changes along the Tyrrhenian coast near Orbetello (Tuscany, Central Italy): palaeoenvironmental reconstruction using ostracods. Marine Micropaleontology, 37, 289-311.

Montomoli C., Carosi R., Pertusati P.C. (2009) - Tectonic history of the Monti dell'Uccellina range, southern Tuscany, Italy. Boll. Soc. Geol. It., 128, 515-526 (con carta geologica).

Nisi M., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G., Silenzi S. (2003) - Coastal deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) since the last interglacial stage. *Journal of Quaternary Science*, 18, 709-721.

Pascucci V., Merlini S., Martini P. (1999) - Seismic stratigraphy of the Miocene-Pleistocene sedimentary basin of the Northern Tyrrhenian Sea and western Tuscany (Italy). *Basin Research*, 11, 337-356.

Pasquarè G, Chiesa S, Vezzoli L, Zanchi A (1983) - Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene superiore. *Mem. Soc Geol It.*, 25,145–157.

Sardella, R., Petrucci M., Rook L. (2008) - The African species *Megantereon whitei* from the Early Pleistocene of Monte Argentario (South Tuscany, Central Italy). *Comptes Rendus Palevol.* 7, 601-606.

Sestini, G. (1970) - Postgeosynclinal deposition, in: *Development of the Northern Apennines Geosyncline*, Sestini, G. (ed.), *Sedimentary Geology*, 4, 481–520.

Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. *Quaderni di Geofisica*, Vol 49, pp.38.

Theye T., Reinhardt B., Goffé L., Jolivet L., Brunet C. (1997) - Ferro- and magnesiocarpholite from Monte Argentario (Italy): first evidence for high-pressure metamorphism of the metasedimentary Verrucano sequence, and significance for P-T path reconstruction. *Eur. J. Mineral.* 9: 859-873.

Tortora P. (1996) - Depositional and erosional coastal processes during the last postglacial sea-level rise; an example from the central Tyrrhenian continental shelf (Italy). *Journ. Sed. Res.* 66, 391-405.

Vai G.B., (2001) - Structure and stratigraphy: an overview. In: G.B. Vai & I.P. Martini (eds), *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, 15-32, Kluwer Ac. Publ.