



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

**AUTOSTRADA (A12) : ROSIGNANO – CIVITAVECCHIA**  
**LOTTO 3**

**TRATTO: SCARLINO – GROSSETO SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INFRASTRUTTURA STRATEGICA DI PREMINENTE INTERESSE NAZIONALE LE CUI PROCEDURE DI APPROVAZIONE SONO REGOLATE DALL' ART. 161 DEL D.LGS. 163/2006**

**DOCUMENTAZIONE GENERALE**

**GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

<b>IL GEOLOGO</b>  Dott. Vittorio Boerio Ord. Geo. Lombardia N. 794  <b>RESPONSABILE UFFICIO GEO</b>	<b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>  Ing. Alessandro Alfì Ord. Ingg. Milano N. 20015  <b>COORDINATORE GENERALE APS</b>	<b>IL DIRETTORE TECNICO</b>  Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492  <b>RESPONSABILE DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURE</b>
---	--	---

RIFERIMENTO ELABORATO					DATA: FEBBRAIO 2011		REVISIONE	
DIRETTORIO			FILE			n.	data	
codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo				
12	12	1202	GE0001	--				
					SCALA:			

 <b>ingegneria europea</b>	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
	ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	Dott. Geol. Barbara Tognala
CONSULENZA A CURA DI :	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Tiziano Collotta Ord. Ingg. Lecco N. 122

<b>RESPONSABILE DI COMMESSA</b>  Ing. Michele Parrella Ord. Ingg. Avellino N. 933  <b>COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO</b>	<b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>  	<b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>  
---	---	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE</b>	<b>4</b>
2.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI	4
2.2	ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU	5
2.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	5
2.3.1	<i>Indagini bibliografiche</i>	6
2.3.2	<i>Indagini di progetto</i>	8
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>13</b>
3.1	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E TETTONICO GENERALE	13
3.2	ASSETTO STRUTTURALE	18
3.2.1	<i>Tettonica distensiva post collisionale</i>	19
3.2.2	<i>Tettonica comprensiva pre e sin - collisionale</i>	21
3.2.3	<i>Risorse Minerarie</i>	21
3.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	22
<b>4</b>	<b>SISMICITÀ</b>	<b>28</b>
4.1	SIMITICITA' E NEOTETTONICA	28
4.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI	30
<b>5</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>34</b>
5.1	METODOLOGIA	34
5.2	ANALISI FOTOGRAMMETRICA	34
5.3	ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU	36
5.4	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA	36
5.5	DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI.	36
5.5.1	<i>Forme di versante dovute alla gravità</i>	38
5.5.2	<i>Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali</i>	39
5.5.3	<i>Forme carsiche</i>	41
5.5.4	<i>Forme strutturali</i>	42
5.5.5	<i>Forme antropiche</i>	42
5.6	SINK-HOLES	44
5.6.1	<i>Area di studio</i>	47
5.6.2	<i>Indagini di Progetto</i>	49

5.7	BONIFICHE E PROBLEMATICHE IDRAULICHE	51
5.7.1	<i>Introduzione storica</i>	52
5.7.2	<i>Area di studio</i>	54
<b>6</b>	<b>REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGIA (STRATIGRAFIA)</b>	<b>57</b>
7.1	COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ	58
7.2	DEPOSITI QUATERNARI	59
7.3	DEPOSITI NEOGENICI	60
7.4	UNITÀ TETTONICHE LIGURI	63
7.5	UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURE	65
7.6	UNITÀ TETTONICHE TOSCANE	66
7.7	UNITÀ TETTONICHE TOSCANE METAMORFICHE (VERRUCANO AUTOCT.)	68
<b>8</b>	<b>DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO</b>	<b>70</b>
8.1	GEOLOGIA	70
8.2	GEOMORFOLOGIA	78
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione definitiva del Nuovo Corridoio Tirrenico A12, nel tratto compreso tra il Fiume Pecora (circa da loc. Pod. Marta nel Comune di Scarlino) e lo svincolo di Grosseto sud (Fig.1).

Il tracciato in oggetto ricade in un'area compresa tra i comuni di Scarlino, Gavorrano, Roccastrada e Grosseto. Lo studio è stato condotto su una fascia di territorio che si sviluppa per una lunghezza di circa 44,5 km ed un'ampiezza di circa 1 km a cavallo dell'attuale tracciato stradale.

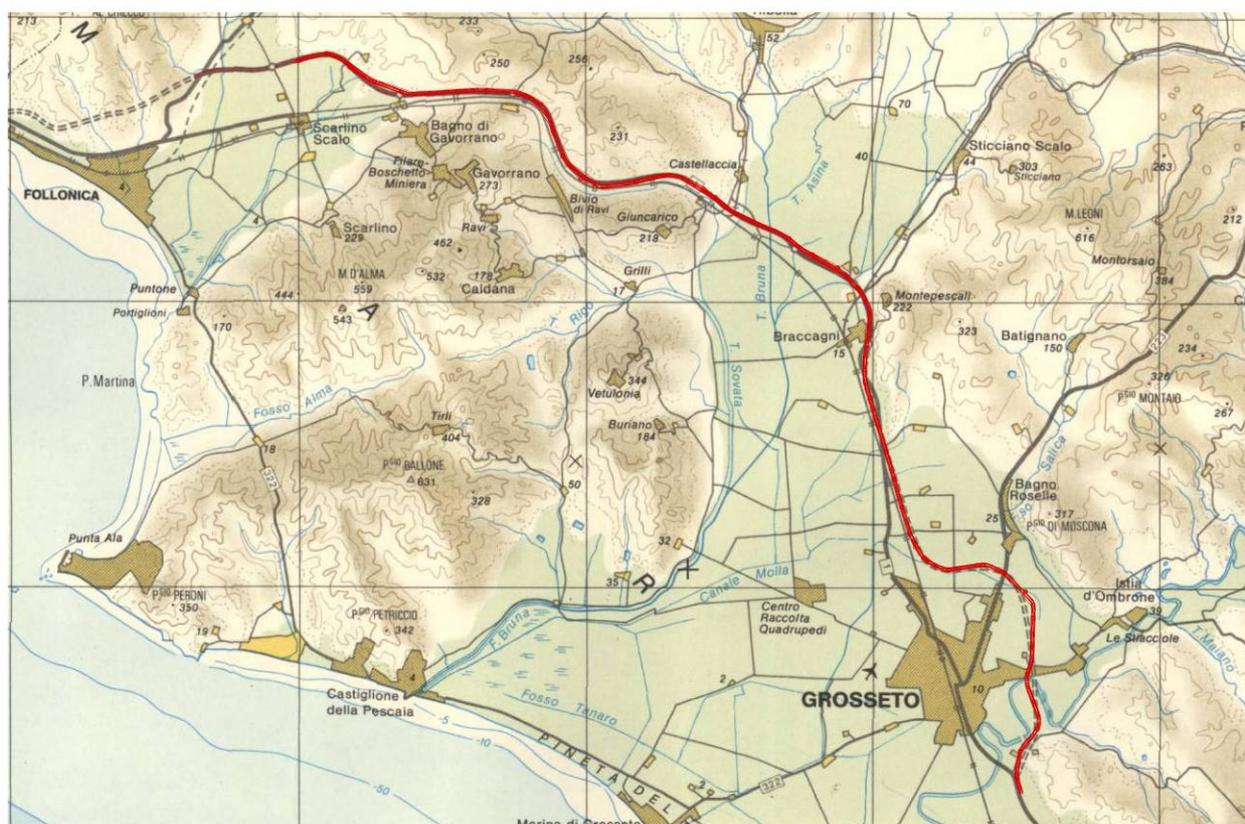


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio (lotto 3).

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

La presente relazione descrive quanto rappresentato nella cartografia geologica geomorfologica, e nei profili longitudinali geologico (scala 1:5000 e e 1:5000/500) allegati al progetto.

## 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 (elaborato GEO025) .

### 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 riferite a tre distinti voli:
  - a) volo Avioriprese in b/n del 1998 alla scala approssimativa di 1:35.000,
  - b) voli BLOM C.G.R. a colori del 2010 alla scala di circa 1:15.000 e 1:4.000 appositamente realizzati per la progettazione del tratto autostradale Rosignano - Civitavecchia;
- Università degli Studi di Firenze e Pavia per la raccolta di letteratura relativa all'area in oggetto, come riportato in bibliografia;

Dati forniti da Enti:

- Comuni di Scarlino, Massa Marittima, Gavorrano, Roccastrada e Grosseto: consultazione della cartografia geologico-geomorfologica ed idrogeologica disponibile a supporto degli strumenti urbanistici (Piani Strutturali - Legge Regionale 16 gennaio 1995 n.5);
- Autorità di Bacino del Fiume Ombrone (AdBO) ed Autorità di Bacino Toscana Costa (AdBTC) relativamente agli aspetti di pericolosità idraulica e per frana espressi nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e successive integrazioni fornite;
- Consorzio di Bonifica Grossetana e Consorzio di Bonifica Alta Maremma per la verifica degli aspetti morfologici legati alla pericolosità idraulica e alla ricostruzione storica delle zone sottoposte a bonifica;
- Provincia di Grosseto: Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (aprile 2009);
- Sito internet della Provincia di Grosseto sul Parco degli Etruschi per alcuni elementi introduttivi sulla storia della piana grossetana (<http://www.parcodelietruschi.it>).

- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ex-APAT) relativamente agli studi sulle tematiche dei sinkholes.
- Cartografia geologica: - Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, 1982;
- Carta Geologica Nazionale in scala 1:100.000 fogli. Letteratura relativa alla caratterizzazione geologica, strutturale, litologica ed idrogeologica dell'area in oggetto, come riportato in bibliografia;
- 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 (sito internet [http://www.rete.toscana.it/sett/pta/cartografia\\_sit/sit/javagis/](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/cartografia_sit/sit/javagis/)).
- Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana (BDSRI);

## **2.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU**

Per la redazione del presente lavoro sono state eseguite le seguenti attività:

- analisi diretta delle carote di sondaggio nel corso della campagna di indagini geognostiche appositamente predisposta per il presente progetto definitivo;
- attività di rilevamento geologico e geomorfologico;
- verifica ed integrazione dei dati emersi dal rilevamento geologico e geomorfologico, in scala 1:5.000, sulla base delle risultanze della campagna di indagini geognostiche;

## **2.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Per la redazione del progetto definitivo, ci si è avvalsi delle campagne di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) appositamente predisposte lungo tutto il tratto oggetto di studio nelle diverse fasi progettuali (2003-2004 Progetto Preliminare, 2010 Progetto Definitivo) e di una serie di indagini bibliografiche reperite da studi pregressi (Indagini ANAS relative a lavori progettuali di adeguamento della SS1 Aurelia) o presso enti pubblici (Indagini Consorzio Lamma – Regione Toscana).

Tutte le indagini sono state ubicate in una apposita cartografia tematica (elaborati GEO019-GEO024) allegata al progetto. I dati stratigrafici e tecnici derivanti dalla documentazione geognostica sono sintetizzati di seguito.

### 2.3.1 Indagini bibliografiche

Le informazioni geognostiche bibliografiche provengono sostanzialmente da documentazione ANAS relativa a progetti di adeguamento della SS1 Aurelia, di seguito si riporta una sintesi:

- Indagini ANAS (1975) – “Lavori di Adeguamento tra Grosseto e Follonica, variante esterna all’abitato di Grosseto tra le progressive 176+920 (Località Spadino) e 194+550 (Località Braccagni)”. Nel tratto oggetto di studio ricadono n. 5 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo e n. 13 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH (PB, PA, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PL, PM, PN, PO), riportate solo il planimetria in quanto disponibili solo in forma grafica (pdf) senza tabulati numerici associati;
- Indagini ANAS (1981) – “Adeguamento delle s.s. 1 Aurelia tra le località di Braccagni e fosso Beccarello” : Nel tratto oggetto di studio ricadono n. 11 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo e n. 5 prove penetrometriche (P1 P2, P3, P5, P5bis), riportate solo il planimetria in quanto disponibili solo in forma grafica (pdf) senza tabulati numerici associati;
- Indagini ANAS (1986) – “Lavori di Adeguamento tra Grosseto e Follonica variante esterna all’abitato di Grosseto tra le progressive 176+920 (Località Spadino) e 194+550 (Località Braccagni)”. Nel tratto oggetto di studio ricadono n. 29 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo e n. 38 prove penetrometriche (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P22, P23, P24, P25, P26, P28, P29, P30, P31, P32, P34, P35, P36, P37, P39, P40, P41, P42), di queste la prova n.9 e le prove da 17 a 42 non sono state riportate in profilo per mancanza di dati numerici. La documentazione relativa a tali indagini risulta integrata di prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni.
- Indagini ANAS (1989) - “Lavori di Adeguamento tra Grosseto e Follonica variante esterna all’abitato di Grosseto, Lotto 2 tra la s.s. 223 di Paganello e la località Braccagni”. Nel tratto oggetto di studio ricadono n. 13 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo;
- Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana (BDSRI).

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche delle indagini menzionate e riportate nella documentazione cartografica di progetto.

<b>Indagine</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Strumentazione</b>
SA	20	n. 1 Cella (8.0 – 12.0)
SB	13	n. 1 Cella (8.0 – 12.0)
SC	20	n. 1 Cella (12.0 – 16.0)
SD	30	n. 1 Cella (21.0 – 25.0)
SE	30	n. 1 Cella (23.5 – 27.5)
S1	22	TA - finestrato (0.00-22.00)
S2	20	TA - finestrato (0.00-20.00)
S3	36.5	TA - finestrato (0.00-33.00)
S4	30	-
S5	30	-
S6	30	-
S7	30	-
S8	35.5	-
S9	34.5	TA - finestrato (0.00-34.50)
S10	20	TA - finestrato (0.00-20.00)
S11	30	TA - finestrato (0.00-28.50)
S12	30	TA - finestrato (0.00-20.50)
S1	23	n. 1 Cella (19.0 – 23.0)
S2	13.2	n. 1 Cella (7.5 – 13.2)
S3	15	n. 1 Cella (10.0 – 15.0)
S4	23.7	n. 1 Cella (18.5 – 23.7)
S5	25.5	n. 1 Cella (17.5 – 23.5)
S6	36.8	n. 1 Cella (25.0 – 31.0)
S7	31.4	n. 1 Cella (24.0 – 30.0)
S8	39.5	-
S9	39.8	n. 1 Cella (28.0 – 34.0)
S10	40	n. 1 Cella (29.0 – 35.0)
S11	40	n. 1 Cella (27.0 – 33.0)
S12	24	n. 1 Cella (20.0 – 24.0)
S13	28.3	n. 1 Cella (23.0 – 28.3)
S14	29	n. 1 Cella (19.0 – 24.0)
S15	39	n. 1 Cella (32.0 – 37.0)
S16	33.9	n. 1 Cella (10.0 – 14.0)
S17	34.5	-
S18	30.5	n. 1 Cella (16.5 – 21.5)
S19	36.5	n. 1 Cella (29.0 – 33.0)
S20	36.5	n. 1 Cella (28.5 – 32.5)
S21	38.5	n. 1 Cella (22.0 – 26.0)
S22	40	n. 1 Cella (20.0 – 24.0)
S23	36	-
S24	40	n. 1 Cella (21.0 – 25.0)
S25	30	n. 1 Cella (15.0 – 19.0)
S26	31	n. 1 Cella (26.0 – 30.0)
S27	24.5	n. 1 Cella (17.0 – 21.0)
S28	26.5	n. 1 Cella (23.0 – 27.0)

S29	40	n. 1 Cella (20.0 – 24.0)
S30	33.5	n. 1 Cella (24.0 – 28.0)
S31	17	n. 1 Cella (15.0 – 17.0)
S32	10.5	-
S33	13	n. 1 Cella (7.0 – 11.0)
S1	30	-
S3	32	-
S4	30	-
S5	35	-
S6	30	-
S7	35	-
S8	31	-
S9	35	-
S10	36	-
S11	35	-
S13	30	-
S14	30	-
S15	30	-

### 2.3.2 Indagini di progetto

Le indagini geognostiche eseguite per la progettazione del Nuovo Corridoio Tirrenico nel tratto compreso tra Follonica e Grosseto, fanno riferimento, come di seguito descritto, a diverse fasi temporali.

- 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 n. 23 sondaggi a carotaggio spinti a profondità variabili e fino a 30 m, n. 20 pozzetti esplorativi superficiali e n. 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 solo n. 11 sondaggi e n. 10 pozzetti di Fase A ricadono in prossimità dell'attuale fascia di studio. La tabella seguente illustra le principali caratteristiche delle indagini menzionate e riportate nella documentazione cartografica di progetto.

Indagine	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
A2-S1	30	n. 1 Cella (12.0 – 20.0)
A2-S2	20	TA - cieco (0.00-5.00) finestrato (5.00-20.00)
A2-S3	25	n. 1 Cella (16.0 – 22.0)
A2-S4	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
A2-S5	20	TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-20.00)
A2-S6	30	n. 1 Cella (15.5 – 24.0) TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-13.50)
A2-S7	15	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-15.00)
A2-S8	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
A2-S9	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
A2-S10	30	n. 1 Cella (19.0 – 22.5) TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-16.00)
A2-S11	20	TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-20.00)

- Indagini finalizzate alla progettazione definitiva dell'Autostrada A12 nel tratto oggetto del presente studio (campagna 2010)

Per l'intero tratto esteso da Follonica a Grosseto, è stata predisposta una campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio), condotta nella primavera-estate 2010. La campagna di indagini è stata sviluppata in tre sub-lotti, distinti da nord verso sud in lotto 3/3 esteso dallo svincolo di Follonica est allo svincolo di Gavorrano, lotto 3/2 esteso dallo svincolo di Gavorrano allo svincolo di Braccagni ed in lotto 3/1 esteso dallo svincolo di Gavorrano allo svincolo di Grosseto sud. Oltre a queste le indagini del lotto 3 sono state integrate con due sondaggi eseguite per la progettazione definitiva del lotto 4.

Nel tratto in esame sono stati realizzati complessivamente n. 94 sondaggi geognostici dei quali 90 eseguiti a carotaggio continuo e 4 a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino a 40 m da p.c., oltre a n. 6 CPTU (delle quali 4 eseguite nel lotto 3/1 e 2 nel lotto 3/3) e circa n. 72 pozzetti esplorativi superficiali. Delle indagini menzionate, n. 5 sondaggi geognostici n. 2 prove CPTU e n. 6 pozzetti sono stati accorpati nel Lotto 2 di progetto.

Al fine di verificare le caratteristiche tecniche dei rilevati esistenti sono stati eseguiti, sulla sede stradale dell'Aurelia esistente, n. 11 sondaggi ubicati in corrispondenza delle piazzole di sosta esistenti. Di questi, n. 3 sondaggi sono stati eseguiti nel lotto 3/3, n. 4 nel lotto 3/2 e n. 4 nel lotto 3/1.

Nei fori di sondaggio, sono state eseguite prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon, prove pressiometriche tipo Menard, 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 specifici è stata installata tubazione per l'esecuzione di prove sismiche in foro tipo Cross - Hole. Ad integrazione delle indagini eseguite dal Comune di Grosseto per lo studio dei fenomeni di sprofondamento (Sink-Hole) è stata realizzata una campagna geofisica con tomografia elettrica. La prospezione geoelettrica è stata eseguita nel periodo compreso tra il 30 settembre ed il 7 ottobre 2010, sono stati realizzati n.21 profili di tomografia elettrica multielettrodo per un totale di 6797m di stesa.

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.) e analisi diffrattometriche finalizzate alla caratterizzazione mineralogica dei terreni, localmente interessati da diffusi fenomeni idrotermali.

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti e riportati nella documentazione cartografica di progetto (in grigetto le indagini ricollocate nel lotto 2)

<b>Indagine</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Strumentazione</b>
3/3-Sd0	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd1	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd2	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/3-Sd2 bis*	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/3-Sd2 ter	40	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-40.00)
3/3-Sd3	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd4	35	TA – cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd4 bis	25	TA – cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd5	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd6	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd7	35	TA – cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd8	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-19.00) (1,5 p) - Cella 24,5
3/3-Sd9	27	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-19.00) (1,5 p) - Cella 24,5
3/3-Sd10	25	TA – cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd11	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd12	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
3/3-Sd13	35	TA – cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd14	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd15	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
3/3-Sd16	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)

3/3-Sd17	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3-25)
3/3-SD1(s)	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/3-SD2(s)	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/3-SD3(s)	25	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/2-SD1(s)	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/2-SD2(s)	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/2-SD3(s)	13	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/2-SD4(s)	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/2-SD1	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/2-SD1 bis*	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/2-SD2	35	TA - cieco (0-7) finestrato (7-35)
3/2-SD3	35	TA - cieco (0-3) finestrato (3-33)
3/2-SD3bis	20	TA - cieco (0-3) finestrato (3-7) - Cella 17
3/2-SD4	35	TA - cieco (0-5) finestrato (5-35)
3/2-SD5	20	TA - cieco (0-2) finestrato (2-20)
3/2-SD6	35	TA - cieco (0-5) finestrato (5-27) - (Installato data logger a 25 m)
3/2-SD7	25	TA - cieco (0-2) finestrato (2-20)
3/2-SD8	20	TA - cieco (0-3) finestrato (3-12) - Cella 30
3/2-SD8bis	15	TA - cieco (0-3) finestrato (3-12)
3/2-SD9	25	TA - cieco (0-4) finestrato (4-25)
3/2-SD10	30	TA - cieco (0-3) finestrato (3-30)
3/2-SD11	25	TA - cieco (0-3) finestrato (3-25)
3/2-SD12	35	TA - cieco (0-3) finestrato (3-35)
3/2-SD13	20	TA - cieco (0-3) finestrato (3-20)
3/2-SD14	20	TA - cieco (0-3) finestrato (3-20)
3/2-SD15	25	TA - cieco (0-4) finestrato (4-25)
3/2-SD16	35	TA - cieco (0-3) finestrato (3-35)
3/2-SD17bis	15	TA - cieco (0-3) finestrato (3-15)
3/2-SD18	30	TA - cieco (0-3) finestrato (3-30)
3/2-SD19	30	TA - cieco (0-5) finestrato (3-30)
3/2-SD20	25	TA - cieco (0-8.5) finestrato (8.5-11.5) - Cella 24
3/2-SD21	40	TA - cieco (0-5) finestrato (5-25)
3/2-SD22	40	TA - cieco (0-3) finestrato (3-25) - Cella 33
3/2-SD23	32	TA - cieco (0-9) finestrato (9-27)
3/2-SD24	35	TA - cieco (0-3) finestrato (3-6) - Cella 13
3/2-SD25	35	TA - cieco (0-8) finestrato (8-27)
3/2-SD25bis	25	TA - cieco (0-3) finestrato (3-21)
3/2-SD26	35	TA - cieco (0-6) finestrato (6-35)
3/2-SD26bis	25	TA - cieco (0-6) finestrato (6-25)
3/2-SD27	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/2-SD27bis*	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/2-SD28	35	TA - cieco (0-3) finestrato (3-35)
3/2-SD29	25	TA - cieco (0-5) finestrato (5-8.5) - Cella 25
3/1-SD0	25	TA - cieco (0-3) finestrato (3-17) - Cella 22.5
3/1-SD1	30	TA - cieco (0-3) finestrato (3-20.25) - Cella 26.65
3/1-SD2	30	TA - cieco (0-3) finestrato (3-30)

3/1-SD3	25	TA – cieco (0-3) finestrato (3-30)
3/1-SD4	25	TA – cieco (0-5.5) finestrato (5.5-25)
3/1-SD5	30	TA – cieco (0-3) finestrato (3-30)
3/1-SD6	30	TA – cieco (0-6) finestrato (6-14) – Cella 25.5
3/1-SD7	35	TA – cieco (0-8.6) finestrato (8.6-35)
3/1-SD7ter	35 (dist. 0-18 )	Non strumentato
3/1-SD7bis	25	TA – cieco (0-10.5) finestrato (10.5-17) – Cella 24
3/1-SD8	35	TA – cieco (0-3) finestrato (3-35)
3/1-SD9	35	n. 2 Cella (21.5 – 27.5)
3/1-SD10	30	TA – cieco (0-3) finestrato (3-30)
3/1-SD11	25	TA – cieco (0-3) finestrato (3-9.6) – Cella 19
3/1-SD13	25	TA – cieco (0-3) finestrato (3-11) – Cella 25
3/1-SD14	25	TA – cieco (0-11) finestrato (11-23)
3/1-SD15	25.21	TA – cieco (0-16) finestrato (16-22) – Cella 24.4
3/1-SD16	25	TA – cieco (0-14.7) finestrato (14.7-21)
3/1-SD17	30	TA – cieco (0-13.4) finestrato (13.4-30)
3/1-SD18	35	TA – cieco (0-3.6) finestrato (3.6-35)
3/1-SD18bis	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/1-SD18ter*	40	Tubo in PVC per CH (0-35)
3/1-Sd18quater	20	TA – cieco (0-3) finestrato (3-20)
3/1-SD19	30	TA – cieco (0-7.5) finestrato (7.5-30)
3/1-SD20	35	TA – cieco (0-3.6) finestrato (3.6-35)
3/1-SD1s	16.5	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/1-SD2s	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/1-SD3s	20	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
3/1-SD4s	15	Sondaggio eseguito in sede (non strumentato)
4/2-SD1	32	TA – cieco (0-3) finestrato (3-32)
4/2-SD2	20	TA – cieco (0-3) finestrato (3-20)

### 3 GEOLOGIA

#### 3.1 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).

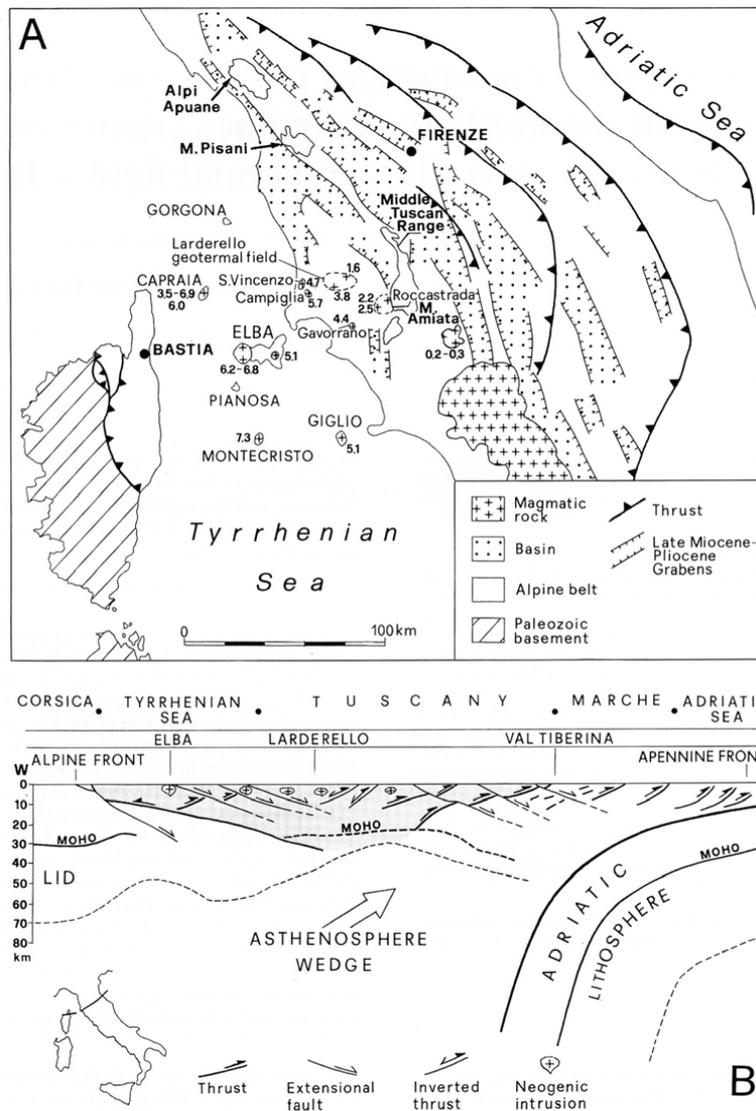


Fig. 2 - Schema geologico - strutturale della Toscana.

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.

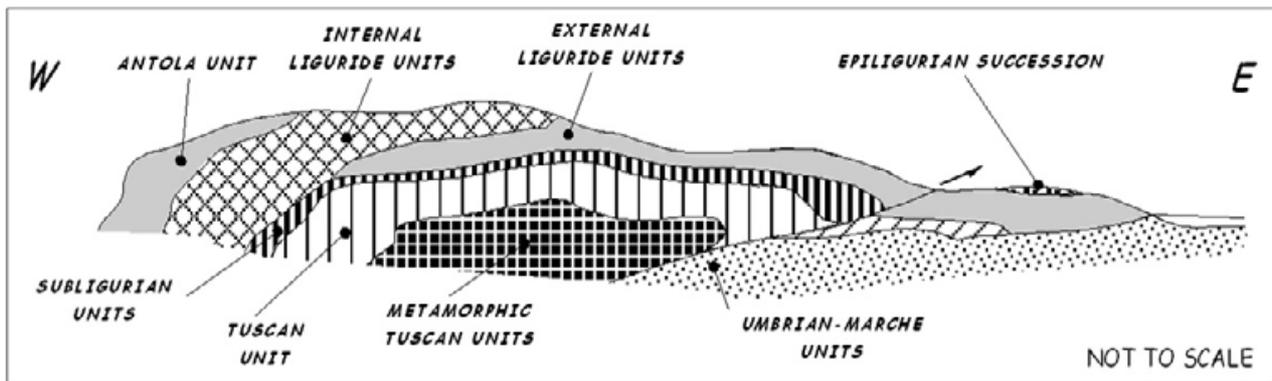


Fig. 3 - Ricostruzione schematica dell'impilamento tettonico tradizionalmente riconosciuto in Appennino Settentrionale

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.

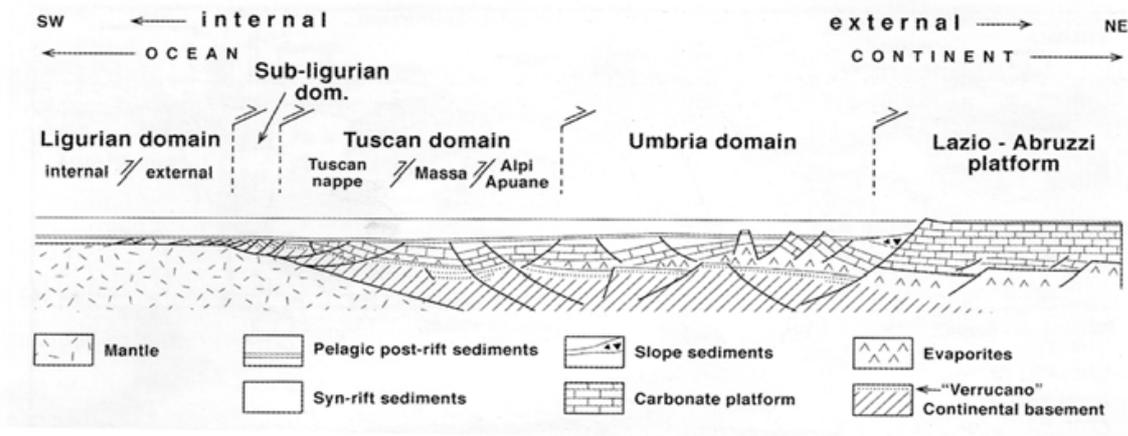


Fig. 4 - Schema paleogeografico del margine continentale della placca Adria con la localizzazione del Domino Subligure.

- 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.

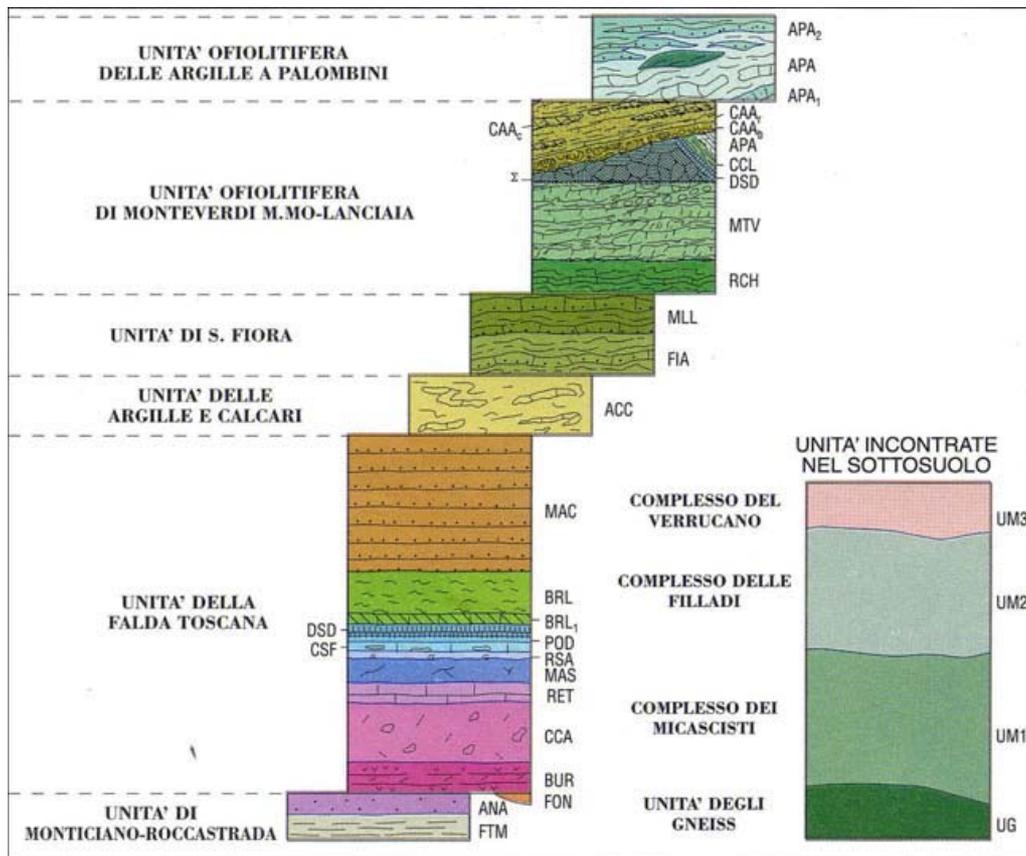


Fig. 5 - Schema dei rapporti tra unità tettoniche Liguri e Subliguri con la Falda Toscana, così come osservate in Toscana meridionale (Foglio 306 Massa Marittima)

Successivamente alla tettonica compressiva, a partire dal Miocene medio, ha inizio una tettonica estensionale caratterizzata dallo 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.

### 3.2 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.

### 3.2.1 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.

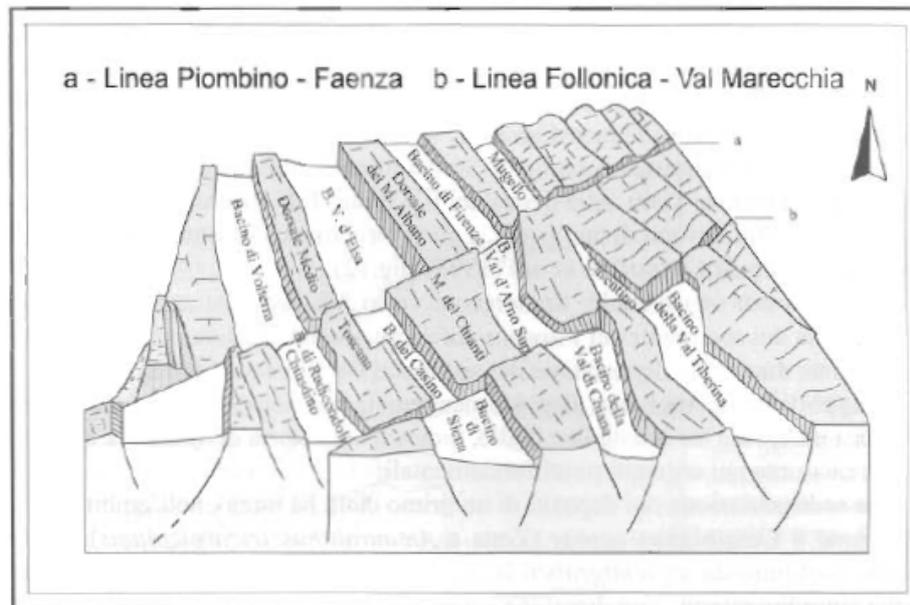


Fig. 6 - Stereogramma strutturale schematico non in scala, mostrante i probabili rapporti delle linee trasversali dell'Appennino Settentrionale con le strutture rigide distensive e con quelle plicative

#### Tettonica distensiva Plio - Pleistocenica

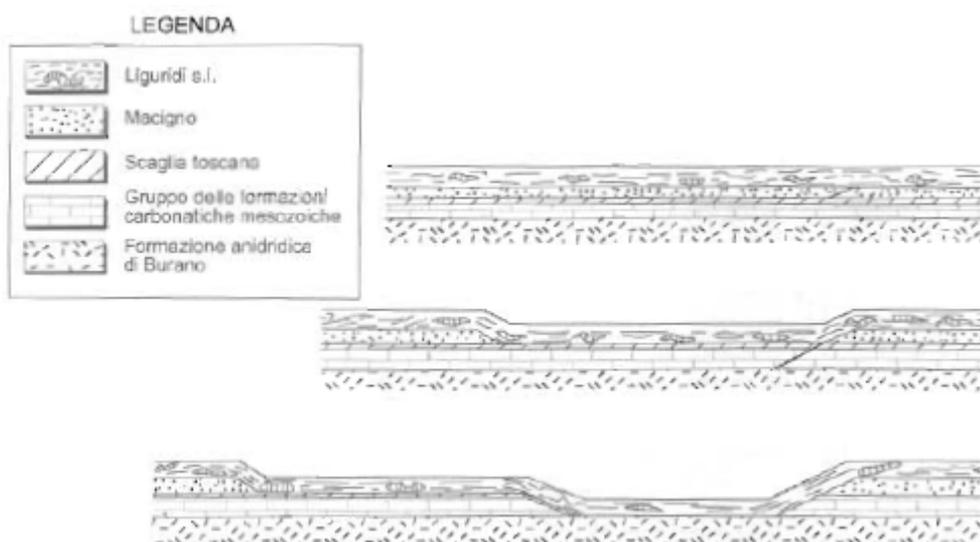
I depositi marini pliocenici, costituiscono nell'area di studio affioramenti discontinui e poco estesi; essi rappresentano i resti di un intenso processo erosivo, iniziato alla fine del Pliocene Medio, per un generale sollevamento che ha interessato gran parte della Toscana Meridionale. La sedimentazione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

#### Tettonica distensiva del Miocene superiore

I sedimenti del Miocene superiore sono rappresentati nell'area di studio dai Conglomerati di Montebamboli e dai Conglomerati rossi di Collacchia che poggiano in maniera discordante sulla Formazione delle Argille a Palombini.

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)*

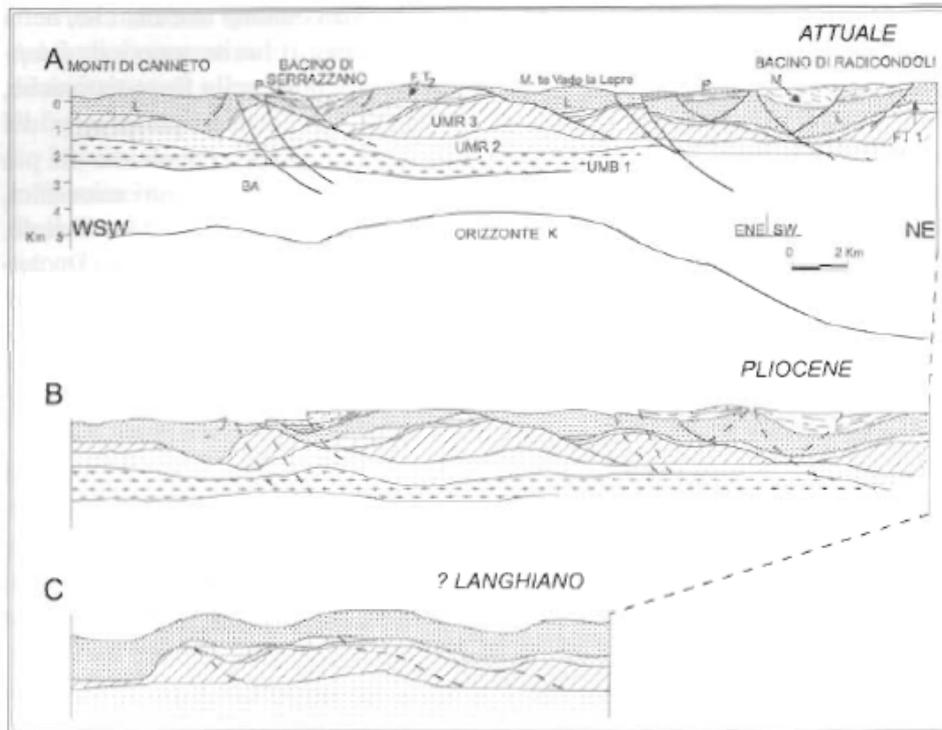


Fig. 8 - Caratteri evolutivi della tettonica distensiva dal Langhiano (Miocene medio) all'attuale. (Baldi et alii, 1994)

### 3.2.2 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 Ligure, Subligure e Toscana, che risultano piegate ed accavallate l'una sull'altra, costituendo un importante edificio a falde. Conoscenze, sia pure meno dettagliate, si hanno anche sul cosiddetto "Basamento Metamorfico" che compare in superficie in limitati affioramenti nell'area di Braccagni.

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.

### 3.2.3 Risorse Minerarie

L'area di studio, cade al in prossimità delle Colline Metallifere, vasto settore della Toscana Meridionale, ben conosciuto fin dall'antichità per i suoi giacimenti minerali e più recentemente per lo sfruttamento dei fluidi endogeni ("Regione Boracifera di Larderello").

### 3.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

Il lotto in esame si colloca nella porzione di tracciato della nuova Autostrada Tirrenica compreso tra Follonica e Grosseto, ovvero nella parte più interna dell'Appennino Settentrionale, che registra nei suoi depositi la complessa storia tettonico - sedimentaria di questa regione.

Le caratteristiche geologiche e morfologiche di quest'area riflettono gli intensi processi endogeni che hanno portato alla strutturazione della catena orogenetica appenninica sulla quale si sviluppa l'intero territorio toscano. Su questo principale *imprinting* strutturale e geodinamico, si sono sovrapposti fenomeni esogeni, determinati da cambiamenti climatici e da oscillazioni del livello marino, che negli ultimi milioni di anni hanno concorso a definirne le odierne caratteristiche fisiche.

Nello specifico, il tracciato in esame attraversa paesaggi morfologici riconducibili a due tipi principali: (1) rilievi montuosi di modesta elevazione costituiti da rocce litoidi; (2) pianure alluvionali e relative propaggini collinari, caratterizzate da sedimenti sciolti o poco litificati.

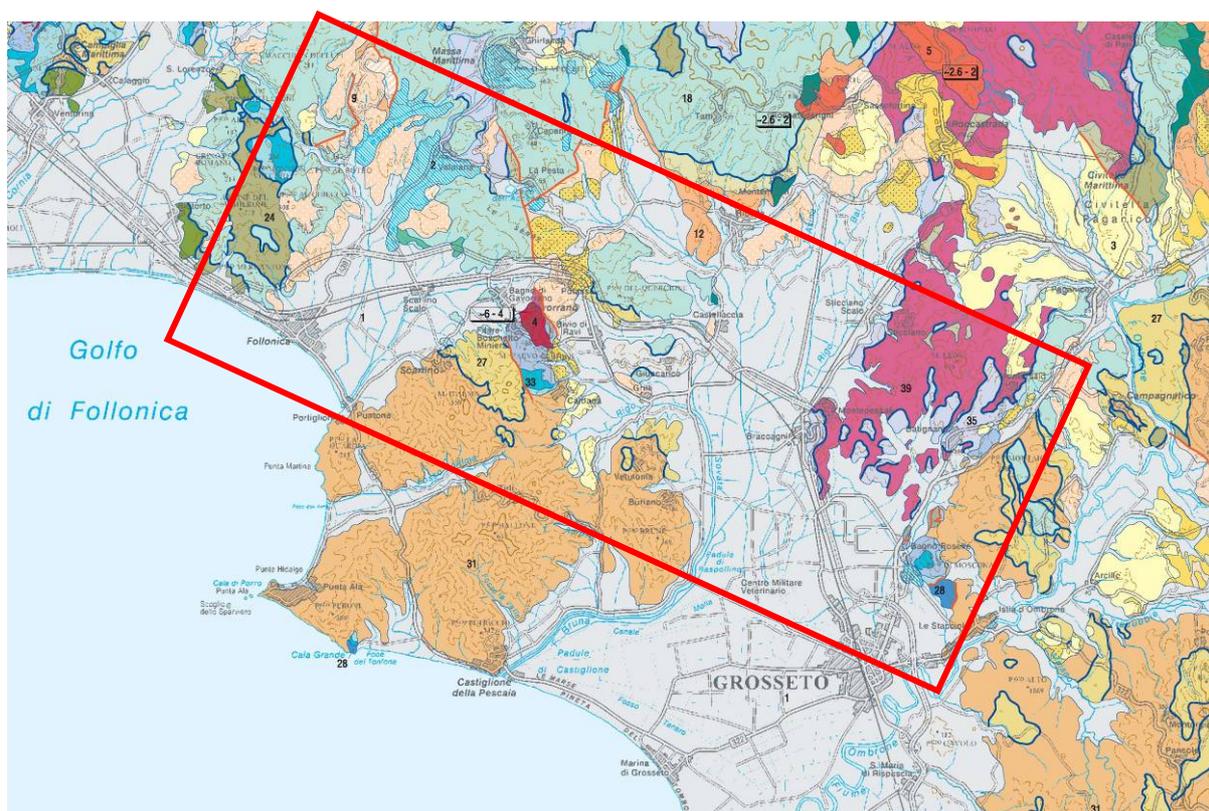


Fig. 9 - Stralcio della Carta Geologica della Toscana in scala 1:250.000 comprendente il tratto Follonica-Grosseto con ubicazione dell'area in esame.

### I rilievi montuosi

Dal punto vista tettonico-sedimentario i rilievi montuosi presenti lungo la costa toscana da Follonica a Grosseto 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 fin 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 sedimentarie della Falda Toscana e dal suo basamento metamorfico (Unità Toscana metamorfica); queste Unità presentano gli affioramenti più significativi nel settore sud-orientale dell'area di studio, nella porzione di territorio compresa tra Braccagni e Grosseto. La sequenza sedimentaria dei litotipi appartenenti alla Falda toscana riflette un'evoluzione legata ad ambienti prima evaporitici (Formazione del Calcarea Cavernoso) poi di avanfossa subsidente (Macigno) mentre il Basamento metamorfico è rappresentato dal Gruppo del Verrucano (Trias) di ambiente continentale.

- Il Calcarea cavernoso costituisce la facies più diffusa tra i depositi evaporitici toscani ed è costituita da calcari grigi e da una breccia tettonica ad elementi spigolosi dolomitici e calcari a cemento carbonatico. Caratteristica è la presenza di piccole cavità a forma poligonale vuote o riempite da polvere grigia dolomitica. La formazione di questo deposito è generalmente collegata alle fasi deformative oligo - mioceniche di messa in posto della Falda Toscana. La sedimentazione della successione della Falda Toscana si chiude con i depositi torbiditici della Formazione del Macigno che nel suo aspetto tipico è caratterizzata da torbiditi silicoclastiche costituite da areniti a composizione arcossica, in strati da medi e spessi alternati a siltiti, marne ed argilliti in strati da sottili a medi.
- La Successione del Verrucano, comprende dall'alto verso il basso, le anageniti minute e quarziti con intercalazioni di scisti verdi e viola che passano verso l'alto alla Formazione di Monte Quioio, costituita da scisti e quarziti a grana fine in cui si intercalano grossi banchi di meta conglomerati con ciottoli prevalentemente quarziticci. Le anageniti sono state riferite al Carnico mentre la Formazione di Monte Quioio può essere riferita all'Anisico - Ladinico. Questi depositi sono generalmente sormontati da marmi e Filladi del Carnico (Trias Superiore) di ambiente marino Litorale. Il Gruppo del Verrucano è interessato da Metamorfismo di Basso Grado. Dal punto di vista petro - strutturale questo gruppo presenta sempre tre eventi deformativi; ai primi due sono associati due eventi metamorfici, sincinemati ed in facies scisti verdi.

Nell'insieme queste rocce individuano il basamento della placca continentale Africana, più specificatamente della sua propaggine settentrionale nota come Adria. Si sovrappongono o si intercalano tettonicamente a queste rocce, riferibili ad un antico margine continentale, depositi torbiditici appartenenti alle Successioni Ligure e Subligure.

La Successione Ligure è rappresentata nell'area di studio dalle Argille a Palombini (Cretacico) e dall'Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini (Breccia Ofiolitica).

- Le Argille a Palombini affiorano estesamente nell'area di studio dove sono rappresentate in netta prevalenza da argilliti e calcari. Sono caratterizzate da un grado di tettonizzazione molto spinto che le conferisce un aspetto caotico. Spesso si giunge ad una totale disarticolazione delle strutture con dispersione disordinata di frammenti di strati calcarei in una "pasta" argillosa. L'Unità Ofiolitifera delle Argille a Palombini (Breccia Ofiolitica) è costituita da Serpentine e Diaspri. Le Serpentiniti costituiscono piccoli corpi lenticolari all'interno della Formazione delle Argille a Palombini. Costituiscono masse che solo eccezionalmente conservano i rapporti primari con gli altri litotipi della serie magmatica ofiolitica e con la copertura sedimentari. Si traccia di rocce di colore variabile dal verde chiaro al verde molto scuro con tessitura massiccia o debolmente fogliata. Eccezionalmente sono visibili limitate porzioni a struttura cataclastica. I Diaspri sono costituiti da strati sottili di radiolariti, per lo più di colore rosso o verdastro a volte brecciati di ambiente pelagico.

La Successione Subligure è rappresentata nell'area di studio dalla Formazione del Flysch di Poggio Pallone, si tratta di depositi torbiditici a prevalente composizione calcareo – marnosa.

#### *Le aree di pianura alluvionale e costiera e delle colline contermini*

Queste porzioni di territorio, 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 a sud di Gavorrano Scalo. In quest'area i rilievi collinari sono costituiti da conglomerati rossi attribuiti alla Formazione dei Conglomerati di Montebambili (cfr. Conglomerati Miocenici) e dai Conglomerati rossi di Collacchia. I Conglomerati poggiano in maniera discordante sulla Formazione delle Argille a Palombini. La collocazione cronostratigrafica ed il significato paleogeografico e geodinamico di questi depositi sono tuttora poco definiti in maniera univoca. 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, attribuendoli ad un generale dominio post-collisionale in un'area prevalentemente estensionale posta ad ovest dei fronti attivi della catena nord-appenninica (Fig. 10).

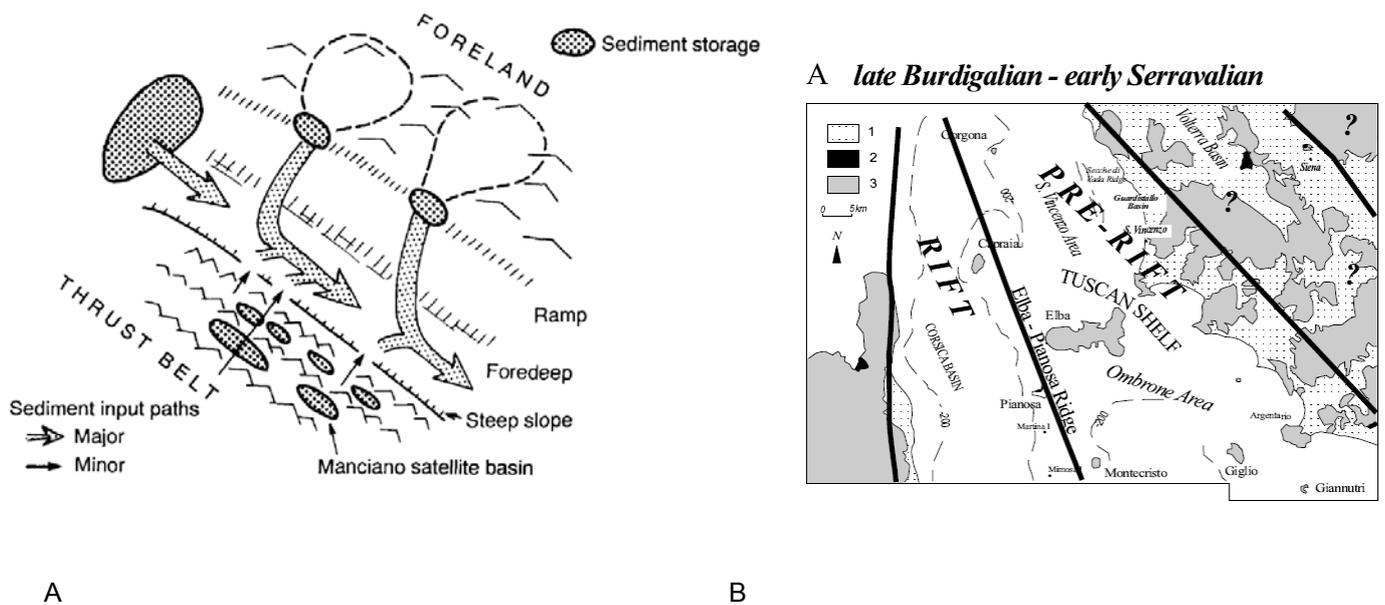


Fig. 10: A) paleogeografia del sistema catena-avanfossa nel Miocene medio (da Martini *et al.*, 1995); B) contesto strutturale dell'area tirrenico-toscana (da Pascucci *et al.*, 1999)

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, carbonatici spesso fossiliferi (argille azzurre di ambiente marino) costituiscono una successione riferibile al Pliocene (FAA) affiorante a sud di Gavorrano Scalo in discordanza sopra ai depositi conglomeratici.

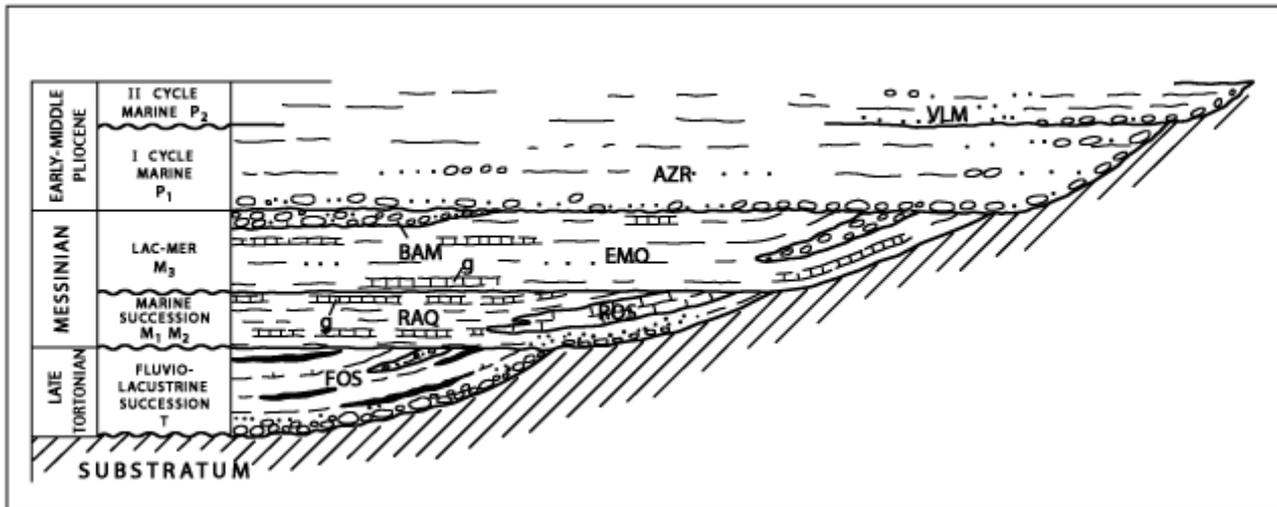


Fig. 11 - Schema dei rapporti tra il substrato e le unità litostratigrafiche Tortoniano-Plioceniche- Pleistocenica nel settore nord-occidentale della Toscana meridionale (da Bossio et alii, 1998)

Al di sopra delle Unità neogeniche (conglomerati ed argille), si sviluppa una successione quaternaria caratterizzata da peliti lagunari a Cerastoderma e malacofauna salmastra a quote superiori al livello del mare attuale e da depositu fluviali pleistocenici ed oligocenici.

### La successione Quaternaria

I depositi riferibili al Quaternario sono presenti in gran parte delle zone attraversate dal tracciato autostradale ed in senso generale si caratterizzano come sabbie e ghiaie fluviali frequentemente terrazzate, sabbie e peliti lagunari. 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. 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 Follonica e Grosseto (Fig. 12) 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.

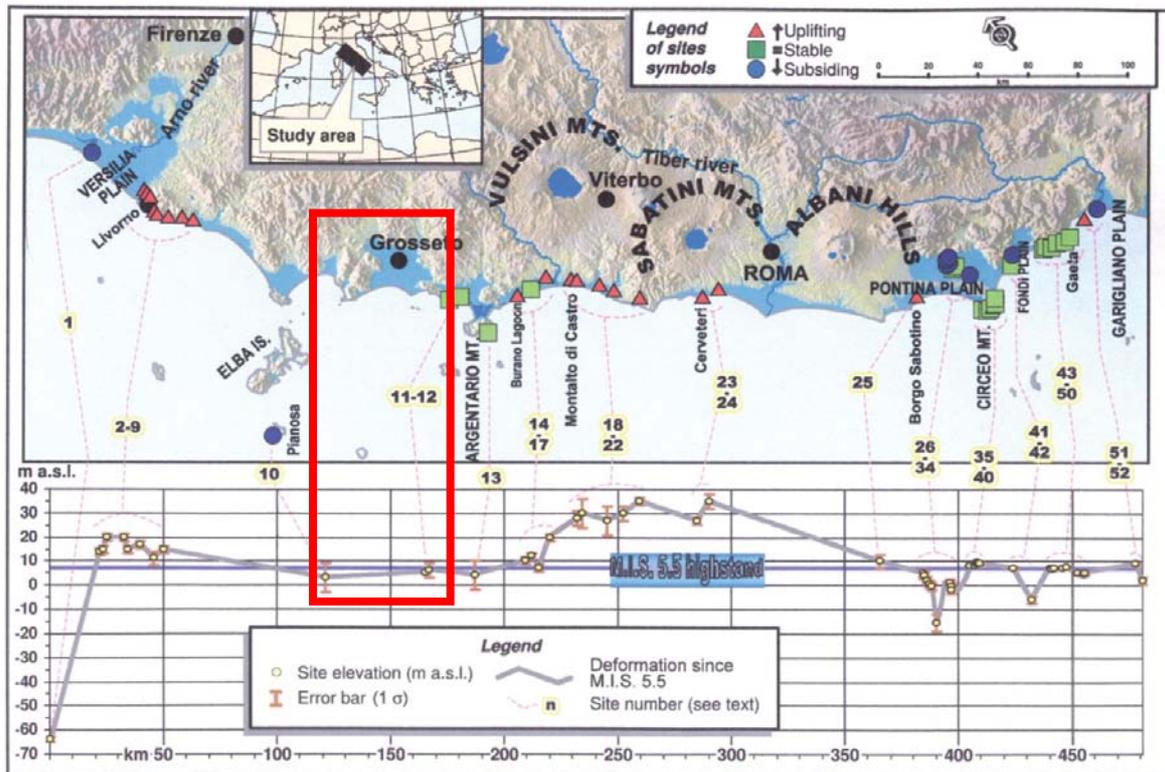


Fig. 12 - Quote dei depositi e forme costiere riferite al Tirreniano (Stage Isotopico 5.5) tra la Versilia ed il basso Lazio. Il riquadro indica l'area di interesse (da Nisi et al., 2003).

Le tracce dell'ultimo ciclo glacio - eustatico successivo allo stazionamento alto del livello del mare Tirreniano, sono evidenti anche in *offshore* dai dati stratigrafico - sismici pubblicati in Tortora (1996).

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 maggiore distribuzione di depositi riferibili al Quaternario si ha nelle ampie pianure alluvionali dei fiumi Pecora, Bruna ed Ombrone.

## **4 SISMICITÀ**

### **4.1 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.

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.

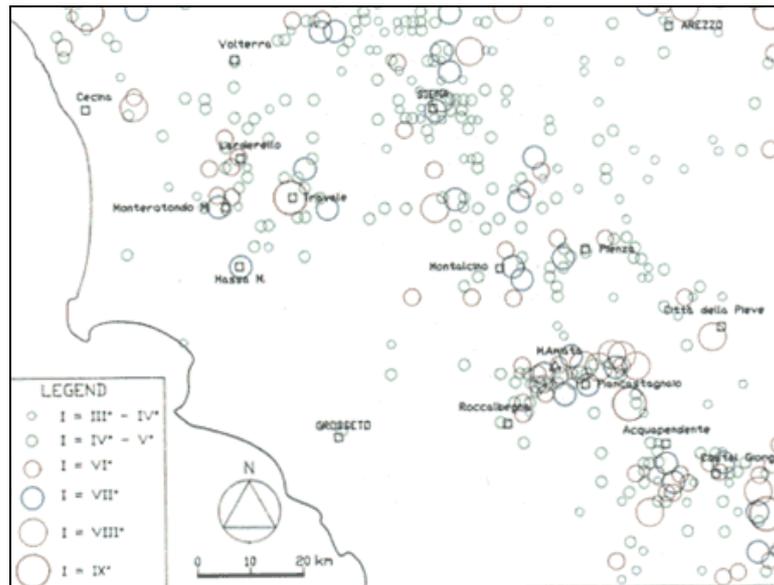


Fig. 13 - Sismicità storica delle località della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS). Rappresentazione schematica (ENEL, 1995)

I dati riportati nel Catalogo Nazionale dei Terremoti, per la Toscana meridionale, coprono il periodo dall'anno 1000 sino al 1990, 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).

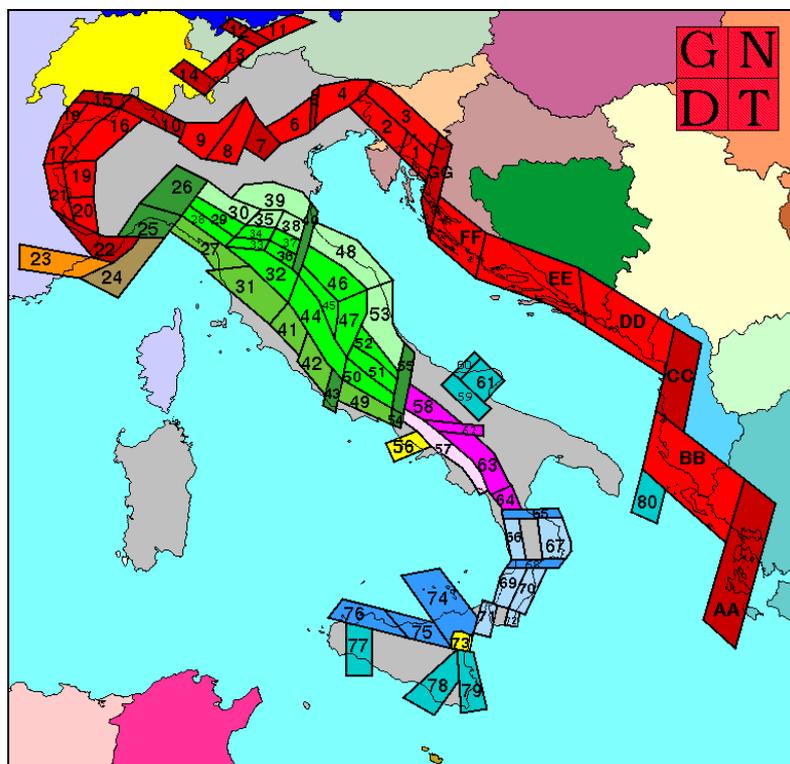
Comune	Provincia di GROSSETO			Lat.	Long.	Imax
	Reg.	Prov.	Com.			
CAPALBIO	9	53	3	42.45404	11.41998	<=6
FOLLONICA	9	53	9	42.92365	10.75438	<=6
GAVORRANO	9	53	10	42.92489	10.90664	<=6
GROSSETO	9	53	11	42.76003	11.11475	<=6
ORBETELLO	9	53	18	42.43738	11.21097	<=6
SCARLINO	9	53	24	42.90761	10.85191	<=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

Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni interessati dal Progetto

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.

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, mentre il territorio della provincia di Livorno ricade al margine occidentale della Zona sismogenetica denominata S31.



*Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (GNDT 1996)*

## 4.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI

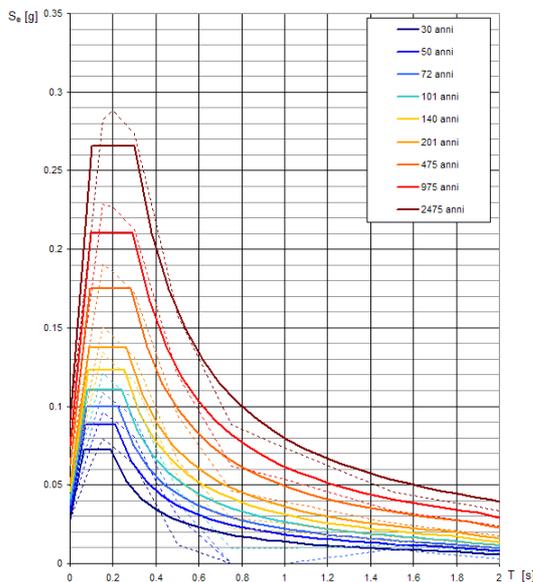
Il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia (INGV) (<http://esse1.mi.ingv.it/ntc.html>).

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. Il 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).

Di seguito si riportano i grafici con gli spettri di risposta elastici per il periodo di ritorno  $T_R$  di riferimento e le tabelle con i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c$  per il periodo di ritorno  $T_R$  di riferimento forniti dal Ministero delle Infrastrutture (Spettri-NTCver.1.0.3.xls ), con un dettaglio sui comuni di Scarlino, Gavorrano, Roccastrada, Grosseto all'interno del cui territorio ricade l'opera in progetto. (Nei grafici con linea continua sono rappresentati gli spettri di normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati)

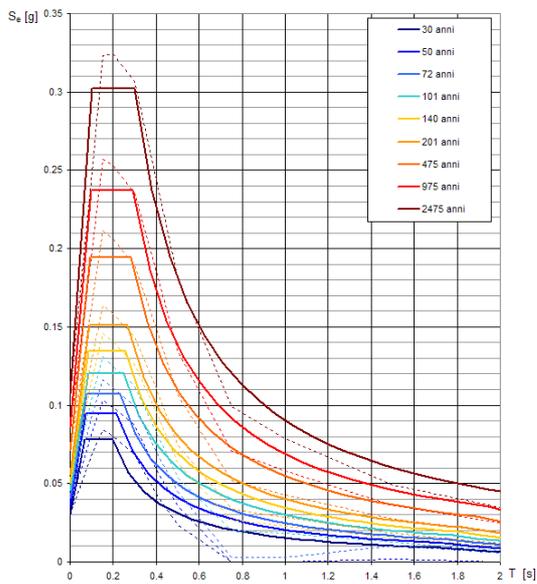
Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda alla relazione geotecnica di dettaglio.

### Comune di Scarlino



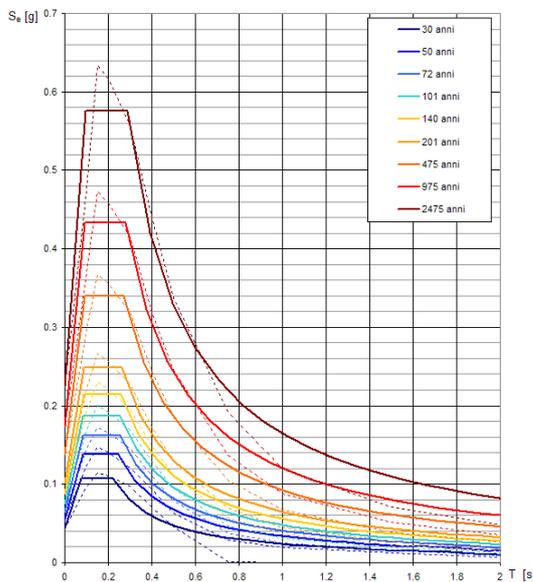
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.028	2.610	0.191
50	0.033	2.655	0.209
72	0.037	2.676	0.223
101	0.041	2.686	0.240
140	0.046	2.700	0.253
201	0.050	2.727	0.262
475	0.063	2.784	0.282
975	0.075	2.826	0.293
2475	0.091	2.911	0.301

**Comune di Gavorrano**



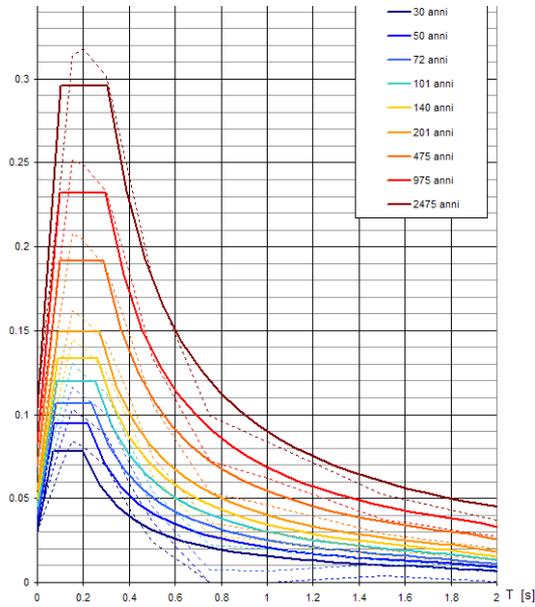
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.030	2.592	0.198
50	0.036	2.631	0.216
72	0.041	2.642	0.231
101	0.045	2.648	0.250
140	0.050	2.667	0.257
201	0.056	2.688	0.266
475	0.071	2.730	0.281
975	0.086	2.759	0.291
2475	0.107	2.816	0.299

**Comune di Roccastrada**



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.043	2.500	0.222
50	0.055	2.493	0.244
72	0.065	2.488	0.253
101	0.076	2.475	0.255
140	0.087	2.458	0.259
201	0.101	2.457	0.262
475	0.138	2.466	0.271
975	0.173	2.500	0.278
2475	0.224	2.563	0.286

**Comune di Grosseto**



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.030	2.597	0.200
50	0.036	2.636	0.219
72	0.040	2.648	0.237
101	0.045	2.657	0.253
140	0.050	2.681	0.260
201	0.055	2.705	0.270
475	0.070	2.751	0.285
975	0.083	2.782	0.296
2475	0.104	2.853	0.305

## 5 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è stata analizzata sotto il profilo geomorfologico mediante foto interpretazione 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 foto interpretazione risultano in buon accordo con quanto rilevato direttamente in sito, le verifiche di campagna e le risultanze delle indagini geognostiche hanno consentito di completare le indicazioni fornite dalla foto interpretazione, definendo un quadro geomorfologico dettagliato dell'area, rappresentato nell'ambito della cartografia geomorfologica allegata al presente progetto.

### 5.1 METODOLOGIA

Per la stesura della carta geomorfologica si è utilizzato sia la documentazione esistente sia, l'interpretazione originale di foto aeree mediante stereoscopio.

Per quanto concerne la cartografia esistente si è consultato quanto pubblicato nei Piani Strutturali dei Comuni interessati (Regione Toscana - Legge Regionale 16 gennaio 1995 n.5). La cartografia proveniente dagli strumenti di pianificazione territoriale riguarda i Comuni Scarlino, Gavorrano, Roccastrada e Grosseto.

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

### 5.2 ANALISI FOTOGRAMMETRICA

Le foto aeree acquisite sono state studiate mediante stereoscopio al fine di fornire una interpretazione originale delle forme e dei processi riconoscibili lungo il tracciato.

La scelta di osservare due distinti passaggi temporali, con riprese distanti circa 10 anni l'una dall'altra è stata fatta per permettere la verifica della possibile variazione recente dei processi che modellano il paesaggio (in particolare di quelle erosive ed antropiche). La diversa scala ha permesso un controllo di eventuali forme e processi di più ampia estensione.

I fotogrammi delle varie riprese (volo Avioriprese in b/n del 1998 alla scala approssimativa di 1:35.000, voli BLOM C.G.R. a colori del 2010 alla scala di circa 1:15.000 e 1:4.000) risultano tutti

di buona qualità con assenza di coperture nuvolose, la copertura stereoscopica è completa su tutto il tracciato.

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

Volo Avioriprese s.r.l. - 1998	
Strisciata	Fotogrammi
1	1040 ÷ 1048
2	1077 ÷ 1079
3	52 ÷ 54
4	179 ÷ 181
Volo BLOM CGR s.p.a. - 2010	
Strisciata	Fotogrammi
10	1193 ÷ 1182
11	1202 ÷ 1194
12	1219 ÷ 1231
13	1235 ÷ 1249
14/A	1270 ÷ 1250
14/B	1014 ÷ 1016
Volo BLOM CGR s.p.a. - 2010	
Strisciata	Fotogrammi
15	1271 ÷ 1283
16	1050 ÷ 1059
17	1038 ÷ 1048
18	1033 ÷ 1024
19	1216 ÷ 1207
25	1098 ÷ 1120
26	6079 ÷ 6088
27	5277 ÷ 5286
28	6103 ÷ 6113
29	6077 ÷ 6069
30	6099 ÷ 6090
31	5258 ÷ 5272
32	6063 ÷ 6052
33	6047 ÷ 6037
34	6015 ÷ 6031
35	6123 ÷ 6114
36	6136 ÷ 6127
37	6140 ÷ 6148
38	6153 ÷ 6166
39	6180 ÷ 6171

40	6183 ÷ 6195
41	6196 ÷ 6204
42	3028 ÷ 3015
43	3032 ÷ 3052
44	3060 ÷ 3068
45	3090 ÷ 3082
Volo BLOM CGR s.p.a. - 2010	
Strisciata	Fotogrammi
46	3109 ÷ 3117
47	3122 ÷ 3135
48	3162 ÷ 3139
49	4043 ÷ 4035
50	4058 ÷ 4048
51	4065 ÷ 4075
Volo BLOM CGR s.p.a. - 2010	
Strisciata	Fotogrammi
52	4091 ÷ 4080
53	4016 ÷ 4005

### 5.3 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.

### 5.4 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.

### 5.5 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 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 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 di versante dovute alla gravità;
- Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali;
- Forme carsiche;
- Forme strutturali;
- Forme antropiche.

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; il senso di tale distinzione è evidente, in quanto 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 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 quali i fenomeni di *sinkhole*, gli areali con problematiche di deflusso legate alla morfologia e all'andamento piano - altimetrico del territorio (bonifiche e zone a pericolosità idraulica).

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 recuperate e rinaturalizzate, discariche, argini e sbarramenti artificiali, corsi d'acqua artificiali, erosione per cause antropiche.

L'area esaminata presenta delle problematiche di tipo idraulico legate alla conformazione morfologica del territorio, sono state pertanto riportate le zone segnalate dall'Autorità di Bacino 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.

### 5.5.1 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.

**Accumulo di frana** – Si tratta di accumuli di materiale generati da movimenti di versante. Sono distinti in tre principali categorie: attivi, quiescenti e non attivi (antichi). Per forme attive si intendono quelle con processi gravitativi in atto; per quiescenti si intendono quelle con processi non in atto recenti e probabilmente non ancora completamente stabilizzati; per forme non attive 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 certo grado di equilibrio. Questo equilibrio può tuttavia essere alterato a seguito di particolari eventi naturali o di impropri e consistenti interventi antropici, questa considerazione è, a maggior ragione, valida per i fenomeni quiescenti.

Nell'area si individuano fenomeni attribuibili a movimenti di scorrimento che avvengono lungo una o più superfici e che possono essere sia di tipo traslazionale, sia di tipo rotazionale. Tali fenomeni sono presenti nel tratto compreso tra Potassa e P. Belvedere nella parte alta del bacino del Torrente Sovata, ma non intercettano mai direttamente il tracciato; altrove sono praticamente assenti, non tanto per il diverso grado di stabilità dei terreni, ma a causa della morfologia che risulta pianeggiante e pertanto non soggetta a queste fenomenologie.

**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 determina aspetti non appariscenti del fenomeno e quindi anche la sua delimitazione diventa talora difficoltosa. Per tale motivo non si è delimitato un perimetro per circoscrivere il fenomeno ma si è evidenziato il solo simbolo per segnalarne la presenza. 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.

Questi fenomeni si rilevano con una certa omogeneità nel tratto intermedio collinare del lotto, immediatamente a monte del tracciato stradale.

**Scarpata di degradazione** – Si tratta di brusche rotture di pendio che possono essere determinate da vari fattori tra cui anche variazioni litologiche o particolari assetti strutturali, si determina una scarpata con pendenza generalmente accentuata. Questa forma generalmente è

indicativa di una situazione prossima all'equilibrio limite, laddove interventi ad opera dell'uomo, azioni sismiche o variazioni della capacità erosiva delle acque superficiali possono indurre o aggravare fenomeni più o meno pronunciati di dissesto.

**Variazione di inclinazione del versante** – Si tratta di aree marginali, di pianori in quota con debole pendenza o di aree di crinale sub-pianeggianti che, in poche decine di metri, subiscono un incremento di 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, queste forme possono essere utili nel riconoscere l'evoluzione recente del paesaggio.

### **5.5.2 Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali**

**Alveo abbandonato** – Lungo il corso del Torrente Sovata si sono osservate numerose forme attribuibili a quelle di alveo abbandonato. In queste forme l'indizio più appariscente è dato dalla presenza di ambiti leggermente depressi rispetto al contesto circostante o ad allineamenti nella tessitura dei campi.

**Orlo di scarpata fluviale o torrentizia** – Nell'ambito della pianura alluvionale, in prossimità dei corsi d'acqua principali o minori, laddove l'antropizzazione non ha completamente mascherato quelle che sono le forme della dinamica fluviale, sono riconoscibili le scarpate di origine fluviale. Queste delimitano il corso d'acqua all'interno del suo alveo di piena ordinario. Le forme più appariscenti sono quelle dovute al fiume Ombrone che forma ampi meandri nella pianura a sudest di Grosseto.

**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.

**Erosione laterale fluviale** – Lungo le sponde dei principali corsi d'acqua, laddove la canalizzazione o l'arginatura lasciano libero il fiume di divagare nella piana alluvionale, è possibile osservare delle forme di erosione di sponda, queste risultano piuttosto marcate e concentrate generalmente nei punti di curvatura dell'asta fluviale, laddove la corrente è indirizzata direttamente sulla sponda.

**Tracce di esondazione** – Queste forme sono il prodotto di fenomeni di esondazione, durante i quali si formano dei rivoli dovuti allo scorrimento della corrente di piena al di fuori dell'alveo. Tali forme sono osservabili sia in uscita sia in entrata all'alveo di magra e determinano un canale leggermente ribassato rispetto alla pianura circostante, nell'intorno si possono inoltre osservare dei depositi terrigeni di esondazione. Sono forme diffuse tra gli argini del Fiume Ombrone laddove il fiume scorre con ampi meandri.

**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.

**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.

**Erosione incanalata (rill)** – Nelle aree collinari, in particolare nella parte nord del tracciato in esame (tra Case S. Giuseppe e Podere Belvedere), si osserva la presenza di solchi erosivi tipo "rill" in alcune vallecole, si tratta di situazioni poco frequenti a testimonianza del buon equilibrio idrogeologico esistente nel reticolo minore.

**Conoide alluvionale** – Allo sbocco in pianura di alcuni corsi d'acqua minori è possibile individuare la presenza di un cono alluvionale.

Nei rilievi che bordano la piana a sud di Montepescali si osserva una discreta diffusione di queste forme che in vari casi intercettano o lambiscono il tracciato stradale. Queste risultano attualmente delle forme parzialmente 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)** – A nordest di Grosseto, in località Lago Bernardo si individua una conca priva di drenaggio naturale, in tempi storici è stata collegata, mediante un canale, al reticolo idrografico.

**Area con difficoltà di drenaggio (DD)** - Queste aree si rinvengono quasi esclusivamente nelle zone di pianura a nord, nordest di Grosseto e 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.

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

### 5.5.3 Forme carsiche

**Sinkhole (SK)** – Nei pressi dell'area esaminata si sono manifestati fenomeni di *sinkhole* ovvero fenomeni di crollo di cavità carsiche profonde che generano dei rapidi sprofondamenti in superficie (loc. Il Bottegone nella piana di Grosseto). Questo fenomeno viene trattato in maggior dettaglio in un apposito capitolo, in quanto la formazione di queste cavità può anche essere associata ad elementi predisponenti diversi rispetto al carsismo in senso stretto.

**Sinkhole: area di studio (SKI)** – Rappresenta l'area di indagine, definita nel Piano Strutturale del Comune di Grosseto, collegata al fenomeno di sprofondamento avvenuto a Sud di Braccagni. Il Piano strutturale recepisce l'indagine effettuata nel maggio 2003 dal Comune di Grosseto collaborazione con svariate Università per contributi specialistici (Comune di Grosseto – Politecnico di Torino, 2003) ed evidenzia la necessità di proseguire con studi e monitoraggi al fine di individuare le zone ad elevata pericolosità che potrebbero essere influenzate dal fenomeno o da fenomeni analoghi.

L'areale individuato dal PSC interseca il tracciato per una lunghezza di circa 5,5 chilometri nella zona a sud di Braccagni tra le località di Fornace e Sant'Anna.

**Dolina (D)** - La presenza dell'ammasso carbonatico, costituito dalla formazione del Calcere Cavernoso, determina una situazione favorevole allo sviluppo di processi carsici di cui le doline sono sicuramente l'elemento più evidente. Si tratta di depressioni rotondeggianti, formate dalla dissoluzione superficiale delle rocce carbonatiche.

In carta viene mappata sui rilievi ad est di Braccagni una dolina (attualmente poco riconoscibile) la cui presenza è segnalata dalla Banca Dati relativa ai *sinkholes* di I.S.P.R.A.

#### 5.5.4 Forme strutturali

**Faccette triangolari (FT)** – Si tratta di particolari forme regolari di versante, che si presentano come un piano inclinato triangolare. Queste forme possono essere individuate in prossimità di una dislocazione tettonica, di cui rappresentano le vestigia, più o meno evidenti, del piano di scorrimento. Si osservano alcuni di questi elementi nei rilievi prospicienti la pianura ad ovest di Montepescali.

**Lineazione principale** - Linea di probabile origine strutturale, che appare netta all'osservazione stereoscopica; si individua pertanto con una discreta evidenza ed appare distintamente dominante nel contesto delle forme lineari contigue.

**Lineazione secondaria** - Linea di probabile origine strutturale, individuabile con un certo margine di incertezza o comunque che appare non particolarmente marcata ed è pertanto subordinata nel contesto delle forme lineari contigue.

#### 5.5.5 Forme antropiche

**Orlo di scarpata di sbancamento** – Indica la presenza di rotture di pendio determinate da sostanziali modifiche del profilo del versante ad 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 per opere di urbanizzazione, i margini dei maggiori accumuli di terreno di riporto o sbancamento per opere civili.

**Cava inattiva** – Le aree di cava non più attive molto spesso risultano abbandonate senza ulteriori modifiche del profilo del terreno. In buona parte dei casi è ancora scarsa o assente la crescita di vegetazione.

**Cava inattiva recuperata (CR)** – Dal punto di vista tipologico e di modifica del territorio si tratta di elementi simili ai precedenti con la differenza che per l'area è stato attuato un recupero e pertanto al fondo vi è la presenza di aree coltivate, costruzioni o altre opere antropiche. Gli elementi cartografati, individuabili in località Fornace San Martino, sono stati dedotti dalla cartografia del Piano Strutturale del Comune di Grosseto in quanto attualmente non sono più intuibili le tracce dell'attività estrattiva.

**Cava inattiva rinaturalizzata (CN)** – 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 con maggior successo laddove vi sono minore dislivello e minore pendenza delle

scarpate; queste forme, oramai obliterate dalla vegetazione, sono riconoscibili con difficoltà dall'osservazione delle foto aeree.

**Rilevato stradale (R) o ferroviario (F)** – Questi elementi sono stati desunti prevalentemente dalla fotointerpretazione, con l'ausilio della base topografica sia per la fase di riporto sia per l'individuazione dei rilevati di più modeste dimensioni, laddove le foto aeree del volo alla scala 1:15.000 non hanno potuto fornire un sufficiente dettaglio e si è dovuto ricorrere sistematicamente al volo basso.

**Rilevato (P) o scavo (SC) per opere civili** – Riprofilature del terreno mediante apporto di materiali inerti o di risulta in generale localizzati in prossimità di rilevati stradali, ferroviari o nel tessuto urbano. In qualche caso si rinvengono estesi riporti di terreno anche significativi in aperta campagna che rappresentano aree di lottizzazione industriale come nella zona compresa tra il Torrente Fossa ed il Fosso Beccarello. Le aree di scavo risultano per contro superfici molto modeste e rappresentano comunque una fase provvisoria di un processo di nuova edificazione.

**Scorie archeo - metallurgiche** – Ubicazione di depositi di scorie di lavorazione metallurgica che sono state prodotte in tutto il territorio delle Colline Metallifere fin dai tempi antichi ed in particolare nei periodi etrusco - romano e medioevale. Tali informazioni sono desunte da pubblicazioni dell'Università di Firenze (Cipriani & Tanelli, 1983; Tanelli 1989). Presenti in maniera più diffusa nell'area immediatamente ad ovest del lotto in esame, sono state identificate in un solo caso marginale lungo il tratto considerato (zona fosso delle Botrelle).

**Argine (A)** – Le arginature dei corsi d'acqua risultano uno degli elementi caratterizzanti delle zone di pianura ed in particolare nel tratto che va da Poggio Pelliccia fino a Grosseto, generalmente si hanno argini su tutti i corsi d'acqua principali e pertanto le dimensioni dei manufatti hanno permesso una rappresentazione con elementi poligonali.

**Sbarramento artificiale (S)** – I corpi d'acqua artificiali non sono molto diffusi sul territorio sia collinare sia di pianura, generalmente si osserva la presenza di uno sbarramento in terra che delimita l'invaso su un unico lato.

**Corso d'acqua artificiale (in trincea)** – In alcune aree risulta evidente la notevole difficoltà di drenaggio delle acque superficiali; in località Lago Bernardo, per permettere il deflusso delle acque, è stata realizzata una canalizzazione, non mediante arginatura ma attraverso scavi nel terreno collinare per poter superare i dislivelli naturali e permettere il deflusso delle acque.

**Difesa di sponda longitudinale** – In corrispondenza dell'intersezione dei corsi d'acqua principali con la viabilità, sono talora presenti difese di sponda rappresentate da opere longitudinali in cemento che hanno lo scopo di impedire l'insorgere di fenomeni di erosione delle arginature.

**Erosione per causa antropica (PA)** – Sovente si sono rilevati degli areali dove la presenza di allevamenti di bestiame all'aperto, oppure il continuo transito di automezzi fuoristrada, ha determinato la presenza di forme erosive lineari, spesso parallele tra loro e con discreta estensione areale.

Le aree indagate presentano problematiche storiche legate al deflusso delle acque come si evidenzia sia dalla diretta osservazione dell'andamento altimetrico delle zone di pianura, sia dalla letteratura. Pertanto, relativamente agli aspetti idraulici, si è ritenuto utile rappresentare in cartografia gli areali che da varie fonti (Enti e pubblicazioni) risultassero particolarmente problematici rispetto a questo tema.

**Zone di Bonifica (U)** – Si tratta di perimetrazioni desunte dai piani strutturali: nella Carta geomorfologica e del sistema idrologico del territorio comunale di Grosseto sono distinte come “ex-aree umide da rilevamento foto aereo e riportate nella cartografia dal XVIII secolo in poi”. Il tema delle bonifiche, data la loro importanza relativa sia agli aspetti idraulici che alle caratteristiche dei suoi depositi, viene ripreso in un apposito capitolo.

**Zone a pericolosità idraulica molto elevata (PIME) ed elevata (PIE)** – Si tratta delle aree perimetrate nei Piani di Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale del Fiume Ombrone e del Bacino Regionale Toscana Costa. Tali perimetrazioni sono effettuate con i criteri stabiliti dagli “Atti di Indirizzo” del DPCM 29 settembre 1998, emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998. Questi aspetti vengono approfonditi in un apposito capitolo della relazione.

## 5.6 SINK-HOLES

### Introduzione generale

I *sinkhole* sono definiti in senso stretto “voragini di forma sub-circolare con diametro e profondità variabili da pochi metri a centinaia di metri, che si aprono rapidamente nei terreni nell’arco di poche ore” (Nisio in I.S.P.R.A. - 2008). 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 registrata una notevole attenzione relativamente a questo fenomeno e numerosa è la 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 da parte di organismi dello Stato. 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://sgi2.isprambiente.it/sinkhole/>).

Gli studi sui *sinkhole* evidenziano una certa difficoltà nel classificare il fenomeno dal punto di vista genetico - evolutivo dato che la manifestazione è legata alla coesistenza di più variabili. In generale sono riconosciute tre classi genetiche principali: antropica, carsica e di *piping* profondo (fig. 10).

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 sembra vi possano essere:

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

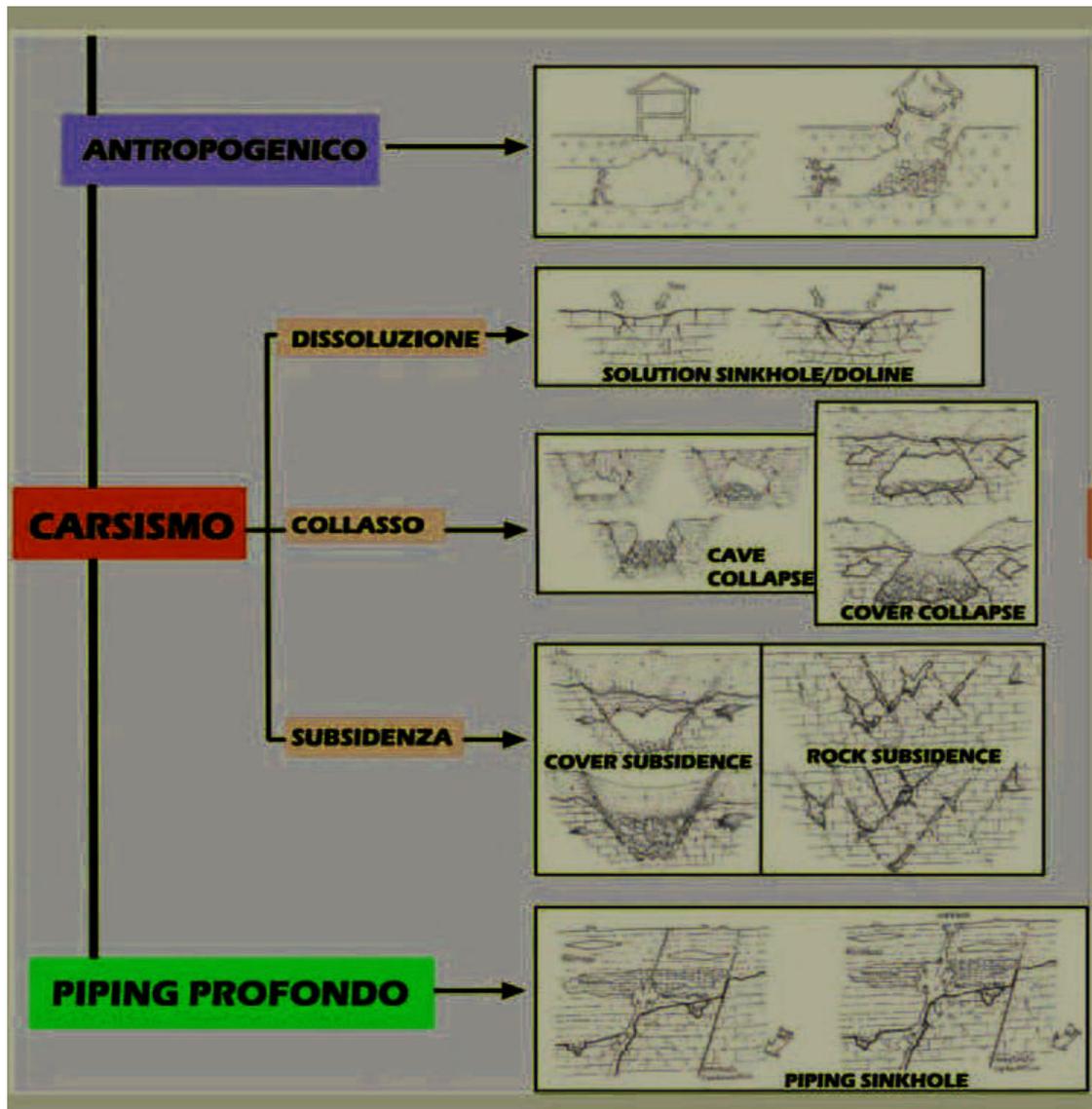


Fig. 14– Classificazione dei fenomeni di sprofondamento (tratta da Nisio in: I.S.P.R.A. -2008)

Le teorie più recenti propendono per considerare il meccanismo di *piping* profondo un fattore genetico importante in molti fenomeni di sprofondamento in Italia. Tale meccanismo spiegherebbe meglio la genesi di *sinkholes* in aree di pianura con pacchi di depositi di copertura 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 è un complesso meccanismo di erosione 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)

### 5.6.1 Area di studio

Nei pressi dell'area indagata anche se esternamente all'areale cartografato, ovvero in località il Bottegone, si è verificato nel gennaio del 1999 uno sprofondamento improvviso, manifestatosi in 22 ore, che ha portato alla formazione di una voragine ellissoidica con asse maggiore di 188 metri orientata NNE-SSO ed asse minore di 150 metri.

Numerosi studi si sono succeduti per la comprensione del fenomeno, per delineare le indagini più adatte ad indagare il fenomeno stesso ed infine per arrivare alla definizione di zone di criticità (si ricordano in particolare: Comune di Grosseto *et alii* -2002; Comune di Grosseto – Politecnico di Torino, 2003; Censini & Costantini A. - 2002; Berti *et alii* - 2002).

In particolare per l'area in esame si fa riferimento agli studi realizzati dal Comune di Grosseto durante la redazione del Piano Strutturale ed in periodi successivi. Al fine di caratterizzare le condizioni geologico strutturali del sottosuolo e la geometria del sinkhole, nonché di testare l'efficacia di tecniche diverse, sono state svolte le seguenti tipologie di indagini (Comune di Grosseto – Politecnico di Torino, 2003):

- metodo elettromagnetico (TDEM – Time Domain Electro Magnetism);
- prospezioni magnetotelluriche (MT);
- prospezioni elettriche (SEV) ed tomografia elettrica dipolare;
- prospezioni gravimetriche;
- campionamento di gas nel suolo;
- profili sismici a riflessione e a rifrazione.

Nel lavoro citato sono stati utilizzati anche studi precedenti, riguardanti analisi geochimiche e dei gas. Queste indagini hanno portato alla definizione dell'andamento del bedrock ed alla ricostruzione della possibile cavità originaria.

Sulla genesi del fenomeno si ricorda la sintesi presentata da Nisio (I.S.P.R.A. - 2008), che definisce l'evento come naturale, non indotto da eventi sismici né da eventi pluviometrici determinanti brusche oscillazioni della falda e non legato ad emungimenti dei pochi pozzi presenti che, per altro, emungono unicamente le falde superficiali. Viene ipotizzata la presenza di una cavità profonda nel substrato calcareo che avrebbe determinato “un camino di subsidenza con allargamento dello stesso a circa 40 metri di profondità in grado di determinare il crollo finale in

superficie”. L’origine del fenomeno andrebbe dunque cercata nel substrato calcareo carsificato, sede di falda in pressione con acque fortemente aggressive (mineralizzate), attivato dalla presenza di faglie e fratture lungo le quali è stata evidenziata la presenza di anomali gassose.

Le citate indagini svolte dal Comune di Grosseto (2003) hanno portato alla definizione, nell’intorno del sinkhole del Bottegone, di una zona ad alta criticità, data la presenza delle infrastrutture della linea ferroviaria e della S.S. 1 Aurelia. Il lavoro propone una suddivisione qualitativa delle aree di criticità all’interno di una zona di studio circostante il Sinkhole (Fig.13) nella quale il tracciato stradale attraversa zone di differente pericolosità. In sostanza le perimetrazioni che individuano i differenti gradi di pericolosità sono fortemente legate alla presenza o meno di linee di dislocazione tettonica nel substrato profondo sottostante le alluvioni.

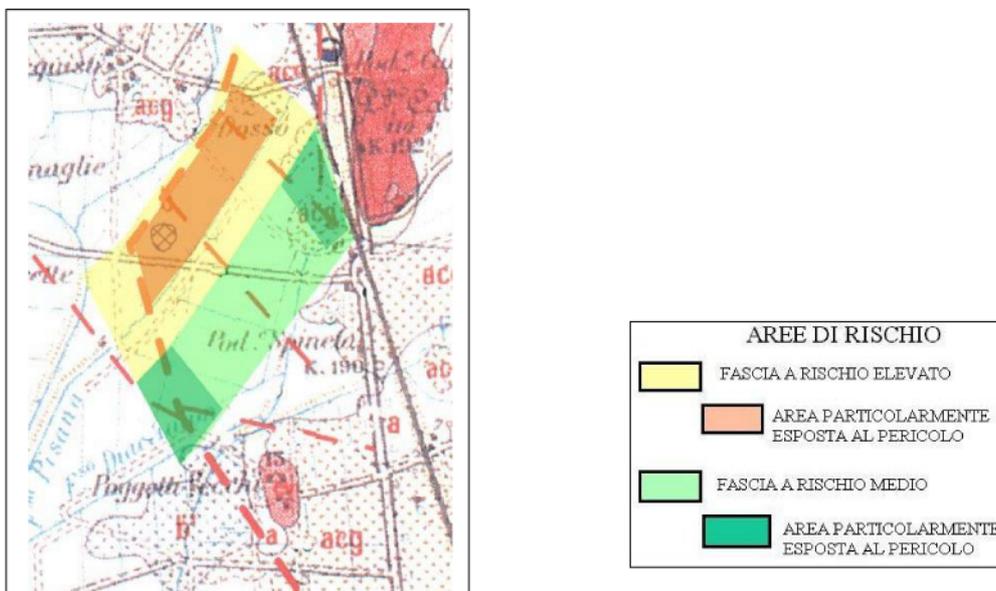


Fig. 15 – Aree di criticità (definizione qualitativa) relativamente al rischio attorno alla zona del Bottegone (tratta da: Comune di Grosseto – Politecnico di Torino, 2003)

Oltre all’approfondimento delle indagini per la ricostruzione dell’assetto geometrico e delle caratteristiche del sottosuolo, un elemento riconosciuto da vari autori quale valido elemento di “prevenzione” riguardo a tali fenomeni è il monitoraggio, indirizzato a controllare l’attivazione dei fenomeni premonitori.

Nella redazione della cartografia geomorfologica di progetto è stata riportata, con apposito sovrassegno, la zona individuata dal Piano Strutturale del Comune di Grosseto da sottoporre ad indagine relativamente a questa problematica. Il tracciato intercetta questo areale circa tra la progr. 26+350 e 31+680, in questo ambito sono state eseguite indagini specifiche per il progetto autostradale, che vengono descritte di seguito.

### 5.6.2 Indagini di Progetto

Ad integrazione di quanto eseguito dal Comune di Grosseto per lo studio dei fenomeni di sprofondamento, è stata condotta, all'interno dell'area di criticità individuata dal Piano Strutturale, una prospezione geoelettrica mediante tomografia. Sono state realizzate n.21 sezioni per un totale di 6.797 m di stesa. L'ubicazione delle stese è riportata in elaborati specifici (GEO019-024) mentre i risultati dei profili tomografici sono riassunti in elaborati grafici in cui, per ciascuno stendimento o gruppi di quattro profili concatenati, viene visualizzata una sezione di resistività reale, raffigurata con linee iso-resistive contraddistinte da diversi colori. L'analisi delle sezioni deve essere condotta immaginando di guardare da ovest verso est.

Allo scopo di semplificare la lettura dei profili, concatenati oppure singoli e quindi della sezione longitudinale prodotta è possibile fornire la seguente schematizzazione interpretativa:

- Resistività comprese tra 5 e 46 ohm\*m (colori blu - celeste): sono riferibili a sedimenti a granulometria fine, quali argille e limi, da umidi a saturi.
- Resistività comprese tra 46 e 141 ohm\*m (colori varie tonalità di verde): sono attribuibili a depositi a granulometria grossolana, quali sabbie, ghiaie e brecce di pendio, a vario tenore di umidità.
- Resistività comprese tra 141 e 297 ohm\*m (colori giallo-marrone): sono ascrivibili a conoidi antiche +/- cementate e/o tetto alterato del substrato litoide.
- Resistività  $\geq 300$  ohm\*m (colori arancio-rosso): sono interpretabili come substrato litoide.

A titolo di esempio si riportano di seguito due sezioni tomografiche rappresentative della campagna di indagini. I valori di resistività relativamente elevati  $\geq 140$  ohm\*m riscontrati in prossimità della superficie sono attribuibili a depositi subsuperficiali "aridi" composti da materiali grossolani (ghiaie e brecce), probabilmente anche riporti.

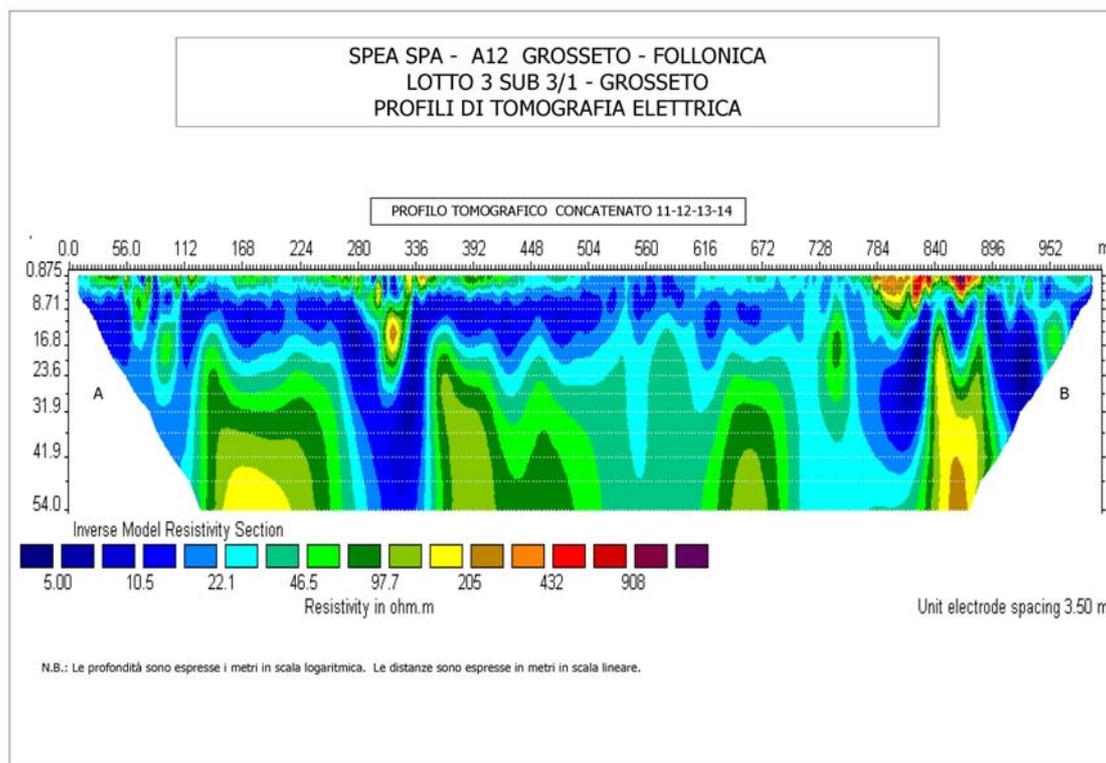


Fig. 16 – Profilo tomografico concatenato (sez. 11-12-13-14)

Il profilo concatenato di Fig. 16, in corrispondenza dell’ascissa 310-320m, ad una profondità di ca. 15m da p.c., evidenzia un volume con un max centrale di 297 ohm\*m costituito da termini conduttivi ed interpretabile come una paleo-incisione colmata da depositi grossolani (ghiaie e/o brecce). In corrispondenza dell’ascissa 840-890 m, valori di resistività dell’ordine dei 200 ohm\*m sono imputabili a rocce del substrato.

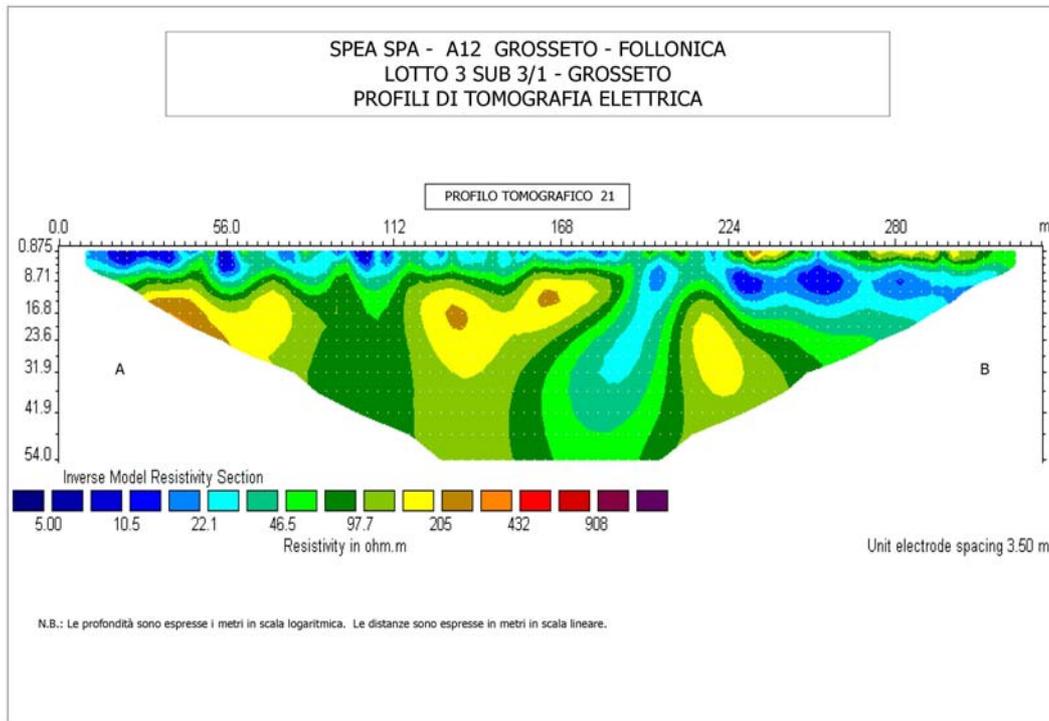


Fig. 17 – Profilo tomografico concatenato (sez. 21)

Il profilo di Fig. 17, individua intorno all’ascissa 190 a 200m, un nucleo a forma ogivale debolmente inclinato dalla verticale con resistività di 32-46 ohm\*m, che dalla profondità di ca. 12m da p.c. prosegue in profondità (fino a ca. 46m) inserendosi in un contesto sensibilmente più resistivo (100-200 ohm\*m). Il profilo di fig. 17 non è stato scelto a caso, in quanto sembrerebbe contenere una singolarità, ovvero una sagoma potenzialmente riconducibile a fenomeni tipo Sink-Hole. Tale geometria è stata riportata nell’ambito dei profili geologici allegati al presente progetto definitivo.

### 5.7 BONIFICHE E PROBLEMATICHE IDRAULICHE

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 ricade all’interno del Bacino Regionale del Fiume Ombrone (settore orientale) e del Bacino Regionale Toscana Costa (settore occidente).

Il territorio in cui si colloca l’opera in progetto è costituito da pianure circondate da colline, piuttosto acclivi, che scendono verso valle con una pendenza abbastanza accentuata nella parte prossima ai rilievi fino ad arrivare al mare con una pendenza quasi assente. Il tracciato si sviluppa, nella sua porzione orientale nella piana di Grosseto ed in quella occidentale nella piana di Follonica-Scarlino. Lo spartiacque tra i due settori si colloca al km 8+800 circa. I principali bacini idrografici

attraversati sono, da ovest ad est, il Bacino del Fiume Pecora, del Fiume Bruna (con il sottobacino del Torrente Sovata) e del Fiume Ombrone.

### **5.7.1 Introduzione storica**

Dal punto di vista idrologico la pianura di Grosseto è caratterizzata dalla presenza di due corsi d'acqua principali, i fiumi Ombrone e Bruna i cui rispettivi affluenti creano una rete di fossi e canali irregolari che convergono verso il mare da direzioni diverse. Dal punto di vista idraulico si identificano zone dette di "acque alte" che hanno facile sbocco al mare grazie alla favorevole pendenza dei fiumi, e zone dette di "acque basse" che, attraversando zone di scarsa o assente pendenza, trovano difficile raggiungere lo sbocco in mare. La storia evolutiva e la conformazione morfologica della piana grossetana è stata segnata dall'instaurarsi, nel tratto retrodunale, di zone lagunari trasformatesi nel tempo in aree di ristagno e palude.

In età preistorica la pianura di Grosseto era costituita da un ampio golfo in cui sfociavano i fiumi Ombrone e Bruna. In epoca etrusca l'insenatura marina si trasformò gradualmente in un'ampia laguna (detta Lago Prile), comunicante con il mare, sulla quale si affacciavano le città di Roselle e Vetulonia. In età romana il Lago Prile si trasformò in un bacino chiuso a causa del probabile apporto di depositi fluviali che prima restrinsero e poi ostruirono lo sbocco al mare. Con la caduta dell'Impero Romano e le conseguenti invasioni barbariche, tutto il territorio venne abbandonato e la mancanza di sistemi di regolazione delle acque e di drenaggio portarono a condizioni di ristagno idrico (paludi) (Fig. 18).

Il tentativo di bonificare questi territori è testimoniato fino dall'anno 1000, ma si deve attendere la dinastia dei Medici per i primi intensi interventi di scavo finalizzati a permettere il prosciugamento delle aree stagnanti, portatrici di malaria.



Fig. 18 – Terreni paludosi (tratto da <http://www.bonificagrossetana.it>)

Il maggiore impulso alla bonifica dell'area grossetana avvenne nel XIX secolo con l'avvento in Toscana dei Lorena. In quel periodo si procedette alla sistemazione degli argini dei principali fiumi (Ombrone e Bruna) e alla bonifica per "colmata" di ampie zone della piana.

Il sistema per colmata prevede la realizzazione di canali derivatori che possano permettere, in modo controllato, di convogliare le acque fluviali con trasporto solido significativo nelle aree destinate ad essere interrate e nello stesso tempo a regimare il deflusso delle acque "alte" per proteggere le opere già realizzate nei confronti di inondazioni improvvise. La bonifica per colmata, presentando problemi di interrimento dei canali diversivi e di lunga durata dell'intervento, venne gradualmente abbandonata. Durante il XX secolo si passa allo scolo delle acque tramite intervento meccanico. Nel 1927 nasce Consorzio di Bonifica Grossetana che nel corso degli anni ha provveduto alla creazione di una rete di canali per convogliare le acque alte nei principali corsi d'acqua, all'ampliamento degli alvei, alla verifica della possibilità di scolo naturale delle acque medie e basse ed alla realizzazione di impianti di idrovore (scolo meccanico) per l'allontanamento delle acque in eccesso dalle aree ove lo scolo naturale non fosse possibile.

### 5.7.2 Area di studio

La delimitazione delle aree che sono state interessate da bonifica è risultata importante sia per la definizione di zone con caratteristiche idrauliche sfavorevoli, sia per la mappatura di areali eventualmente interessati da depositi di colmata di scarsa qualità geotecnica. La ricostruzione è stata effettuata consultando la cartografia storica messa a disposizione dal Consorzio di Bonifica Grossetana (anni '30 e '50), la cartografia dei Piani Strutturali Comunali e colloqui con il Consorzio di Bonifica dell'Alta Maremma.

In carta sono riportati sia gli areali ricavati direttamente dalle mappe storiche, sia quelli riportati nel Piano Strutturale del Comune di Grosseto. Tutti questi settori, anche se non necessariamente bonificati per colmata, testimoniano la presenza di terreni che sono da ritenersi di scarsa qualità ed in condizioni morfologicamente sfavorevoli dal punto di vista del deflusso delle acque.

Relativamente alle problematiche idrauliche vengono inoltre riportati nella cartografia geomorfologica i settori che presentano un elevato grado di pericolosità idraulica, segnalati dagli enti preposti alla difesa del suolo. In particolare l'area studiata ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Ombrone (AdBO) per il tratto a sud nella piana del Fiume Ombrone e dell'Autorità di Bacino Toscana Costa (AdBTC) nel settore nord della piana di Scarlino.

Lo studio geomorfologico ha preso in esame i contenuti dei progetti di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), con particolare riferimento all'individuazione delle aree sottoposte a tutela per pericolosità idraulica. Sono state pertanto riportate in cartografia quelle aree attualmente classificate dalle due Autorità di Bacino a "Pericolosità idraulica molto elevata" (P.I.M.E.) e a Pericolosità Idraulica Elevata (P.I.E.) tratte dai relativi: "Piano di Assetto Idrogeologico" - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" , Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Toscana Costa Appr. DCR n°13 del 25/01/2005 e Bacino Regionale del Fiume Ombrone.

Tali perimetrazioni sono effettuate con i criteri stabiliti dagli "Atti di Indirizzo" del DPCM 29 settembre 1998, emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998.

L'asse stradale in progetto spesso interseca gli areali della pericolosità idraulica oppure si situa sul margine degli stessi, in quanto 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.

## 6 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 cartografia geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000, nonché le carte geologiche allegate ai Piani Strutturali dei comuni di Grosseto, Gavorrano e Follonica. Queste fonti hanno rappresentato la base d'inquadrimento sulla quale sono stati inseriti 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, la cui traccia in planimetria è situata 30 metri in destra rispetto all'asse stradale in progetto. 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 (campagna indagini PD 2010), rispetto ai sondaggi di cui sono state reperite stratigrafie e relativa documentazione fotografica (progetto preliminare ed indagini integrative) o solo stratigrafia (Indagini ANAS, Indagini BDSRI).

I sondaggi rappresentati in profilo sono stati proiettati in planimetria perpendicolarmente alla traccia del profilo (30 metri in destra) e l'intercetta così ricavata è stata a sua volta proiettata perpendicolarmente all'asse del tracciato. 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; in particolare nel tratto compreso tra le progressive 2+650 e 4+150,

seppure il substrato roccioso risulti ricoperto da spessori dell'ordine di 3-4 m di depositi limoso sabbiosi, si è scelto di considerare il substrato come sub-affiorante.

Per quanto attiene agli elementi strutturali (faglie) ed al loro assetto, è opportuno evidenziare come la loro ubicazione in planimetria ed in sezione presenti un certo grado di indeterminatezza. In planimetria si è scelto di indicare con la dicitura “faglia presunta” la posizione delle faglie nei depositi dislocati e con “faglia sepolta” l'andamento al di sotto dei depositi non interessati dalla tettonica.

### Profili geologici

Lungo la sezione geologica sono state rappresentate le colonne stratigrafiche dei sondaggi proiettati lungo la traccia del profilo. Al loro interno sono rappresentate, mediante 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 dei depositi riportati in profilo o la cui proiezione ricadeva al di fuori dell'unità geologica mappata in superficie; sono state invece riportate in grigio le indagini del BDSRI in quanto non sempre è nota la tipologia di indagine (si tratta spesso di pozzi per acqua) ed inoltre non sempre presentano un dettaglio approfondito sulla granulometria dei singoli strati; le loro informazioni sono state tuttavia utili per la ricostruzione della planimetria geologica. Nei depositi del substrato litoide è stata spesso riconosciuta, in sondaggio, una fascia di alterazione che è stata rappresentata con un apposito tratto.

## **7 DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGIA (STRATIGRAFIA)**

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 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.

L'alternanza degli episodi trasgressivo-regressivi (Fig. 17) determinati dalle variazioni del livello del mare avvenute in questo intervallo temporale, 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 - colore dei sedimenti, espressione di variabili condizioni ossido-riducenti degli ambienti di sedimentazione o di alterazione e pedogenesi.

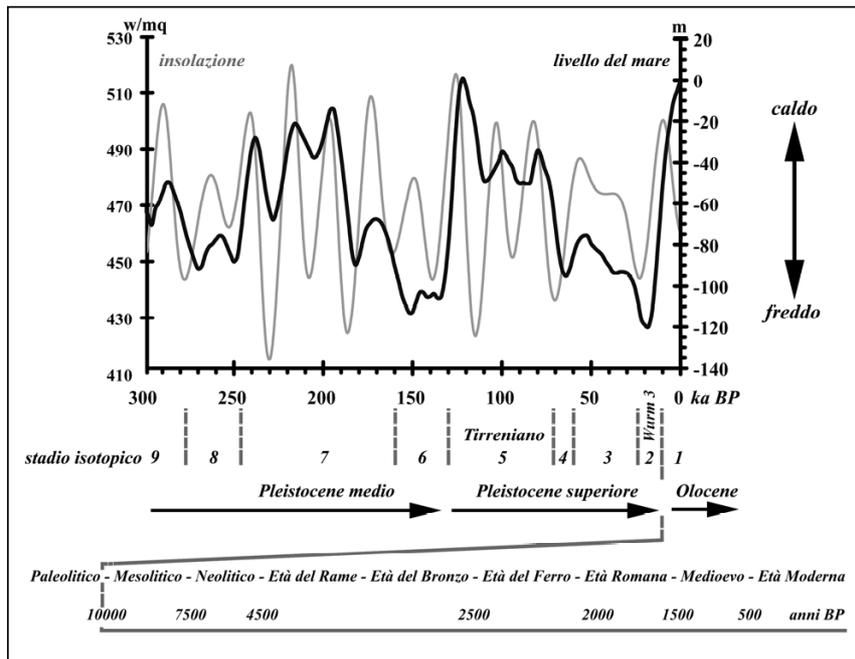


Fig. 19 - Variazioni del livello del mare e dell'insolazione dal Pleistocene medio all'Olocene (da: Silenzi et al. 2004)

E' risultato importante, nella suddivisione proposta, enfatizzare la natura dei contatti stratigrafici (concordante e discordante) tra le unità, definita sulla base delle osservazioni sopra elencate. Nel caso in cui la mancanza di datazioni diretti inibisca un chiaro riferimento cronostratigrafico, esso è tuttavia ipotizzabile sulla base dei seguenti elementi:

- correlazioni tra la geologia di superficie desumibile dalla cartografia esistente e da studi precedenti;
- presenza in letteratura di informazioni di superficie e di sottosuolo relative alla cronologia relativa ed assoluta di specifici intervalli stratigrafici.

Si sottolinea infine che, in diverse porzioni di territorio, nelle pianure alluvionali tra Follonica e Grosseto, alle alluvioni vere e proprie si associano depositi superficiali di palude, normalmente di potenza molto ridotta (2-3 m), bonificati storicamente per drenaggio o per colmata. Tali depositi sono stati descritti e cartografati negli elaborati che fanno capo alla geomorfologia.

## 7.1 COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ

### a3 – Depositi di versante

Limi e sabbie rossastre con clasti sub-angolari, eterometrici ed eterogenei.

#### **a4 – Depositi eluvio - colluviali**

Limi, limi argillosi talora debolmente sabbiosi e sabbie spesso limose, talora con ghiaie minute e clasti millimetrici eterogenei. Colori frequentemente rossastri.

### **7.2 DEPOSITI QUATERNARI**

#### **H1b - Depositi fluviali**

Depositi eterogenei costituiti da limi-sabbiosi da debolmente ghiaiosi a con ghiaia, limi argillosi e sabbie con ghiaia debolmente limose. Nella piana alluvionale del Fiume Ombrone sono presenti intercalazioni metriche di ghiaie e ciottoli arrotondati. Colore variabile da nocciola a grigio. Possibile presenza di elementi millimetrici nerastri di manganese e livelli organici torbosi. Età: Olocene

#### **H1b1 – Alluvioni depositate dai corsi d’acqua attuali.**

Si tratta di terreni del tutto analoghi ai precedenti H1b, dai quali si differenziano unicamente su base geomorfologica, in quanto si trovano nell’ambito degli alvei attuali.

#### **H1a - Depositi lagunari**

Argille limose e limi-argillosi prevalenti con subordinate intercalazioni di sabbie - limose e sabbie - ghiaiose. Colore bruno e grigio. Presenza locale di malacofaune di ambiente salmastro. Età: Olocene

#### **Qt1d - Depositi fluviali**

Sabbie limose con ghiaia, ghiaie-limose, sabbie-limose, limi argilloso-sabbiosi, (clasti da sub-arrotondati a spigolosi eterometrici), sparsi ciottoli. Colore da bruno – rossiccio - nocciola a grigio. Possibili concrezioni carbonatiche, residui carboniosi e tracce di manganese. Età: Pleistocene superiore

#### **Qt1d1 - Depositi Fluvio Lacustri – Lagunari (cfr. sabbie calcaree e travertini)**

Si rinvengono Intercalate ai depositi alluvionali, sono costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie limose con intercalazioni di gesso e limi biancastri carbonatici. Intercalati livelli nerastri torbosi. Orizzonti di decalcificazione, livelli arrossati e paleosuoli, sono indice di periodiche interruzioni della sedimentazione. Livelli più grossolani, ghiaiosi potrebbero essere riconducibili a migrazioni di barre fluviali all'interno di una zona palustre. Talora malacofauna salmastra e gasteropodi. I depositi

travertinosi associati a Qt1d1 possono essere correlati alla risalita dal substrato di acque idrotermali. Età: Pleistocene medio – superiore.

### **Qt1b - Depositi lagunari**

Argille e limi prevalenti con subordinate intercalazioni di sabbie-limose. Colore da marrone verdastro a grigio-nerastro. Presenza di malacofauna di ambiente salmastro. Età: Pleistocene medio (terminale) - (Tirreniano (?))

## **7.3 DEPOSITI NEOGENICI**

Nella parte centrale del tracciato sono stati riconosciuti terreni che, in base alle caratteristiche granulometriche, ai colori ed alla cementazione, sono stati attribuiti a depositi Neogenici. L'assenza di datazioni e per talune Unità anche l'assenza di affioramenti, rende complessa una precisa attribuzione formazionale

### **FAA - Argille azzurre**

Argille grigio – azzurre, argille marnose, talvolta sabbiose, localmente fossilifere grigie. Possono contenere cristalli di gesso, frustoli carboniosi e comuni macrofossili (in sondaggio sono stati intercettati “concrezioni” dal colore bruno – scuro, nero dure e scagliose, dall'aspetto simile all'antracite). Età: Pliocene - Quaternario?

### **PCB - Conglomerati e sabbie di Giuncarico**

Conglomerati eterometrici costituiti essenzialmente da ciottoli appartenenti a litotipi delle Unità Liguri in matrice sabbioso-argillosa, possibili intercalazioni di limi argillosi. Questi conglomerati sono stati riconosciuti solo in sondaggio Età: Pliocene - Quaternario?

### **COM – Conglomerati Miocenici (cfr. Conglomerati di Montebamboli, Conglomerati di Podere inferno)**

Conglomerati non classati di colore dal rosso al grigio-verde con ciottoli in genere arrotondati e di dimensioni variabili da cm a decametrici. Sono costituiti da litotipi derivanti dalle formazioni delle Unità Liguri (calcarei silicei, arenarie, diaspri, arenarie quarzoso feldspatiche), immersi in matrice sabbioso-limosa in genere rossastra. Possibili lenti di argille e di sabbie molto addensate, talora debolmente cementate (arenarie debolmente cementate). I conglomerati si rinvennero spesso in sondaggio sottoforma di ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa rossastra. Ambiente fluviale. Età: Messiniano sup. (TUROLIANO).



*Fig 20 – Facies in affioramento dei Conglomerati Miocenici (COM)*





*Fig 21 - Diverse facies in sondaggio dei Conglomerati Miocenici (Sondaggio 3/3-SD6, 3/3-SD7, 3/2-SD6)*

### **CRO – Conglomerati rossi di Collacchia**

Conglomerati con intercalazioni di arenarie poco cementate ed argille. Si presentano in genere moderatamente classati e non organizzati, con ciottoli di dimensioni variabili da 1 a 40 cm. Ciottoli e matrice si presentano generalmente arrossati o verdi. I ciottoli derivano in genere dalla formazione delle argille a Palombini (Prevalenti calcari, subordinati arenarie, diaspri ecc.). Ambiente fluvio-lacustre. Età: Messiniano sup. (TUROLIANO)



*Fig 22– Facies in affioramento dei Conglomerati Rossi di Collacchia*

## 7.4 UNITÀ TETTONICHE LIGURI

Nella parte centrale del lotto, al di sotto dei depositi quaternari, sono stati riconosciuti in sondaggio terreni a prevalente composizione argillitica con trovanti calcarei, si tratta di rocce attribuibili alle Unità Tettoniche Liguri.

### APA – Argille a Palombini

Argilliti e siltiti grigio scure a cui si intercalano subordinati calcari grigi. Localmente, intercalate alle argilliti ed alle siltiti si rinvencono marne di colore grigio-avana. E' presente una facies "pelitico-arenacea" costituita da argille e peliti grigio scure con intercalazioni di strati sottili di quarzoareniti. La formazione presenta quasi sempre aspetto caotico, con placche costituite da argilliti che inglobano massi calcarei senza apparente continuità laterale. In sondaggio sono frequenti i livelli di argilliti tenere e di argilliti alterate ad argilla. Colore da marrone (parte alterata) a grigi oscuro. Età: Cretacico



Fig 23 – Facies in affioramento delle Argille a Palombini

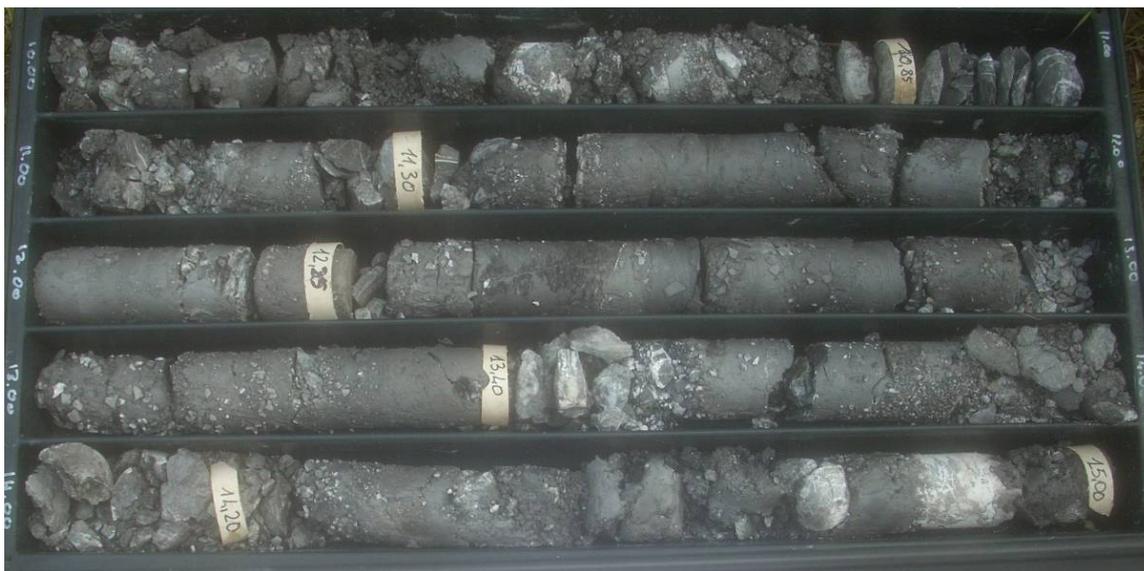


Fig 24 –Argille a Palombini

**br - Breccia ofiolitica**

Diaspri – Radiolariti, per lo più di colore rosso, intercalate a livelli sottili di argilliti e brecce di radiolari. Ambiente marino pelagico.

Serpentini - Peridotiti serpentizzate, serpentiniti brecciate con vene di calcite (oficalciti). Colore variabile dal verde chiaro al verde molto scuro con tessitura massiccia o debolmente fogliata.

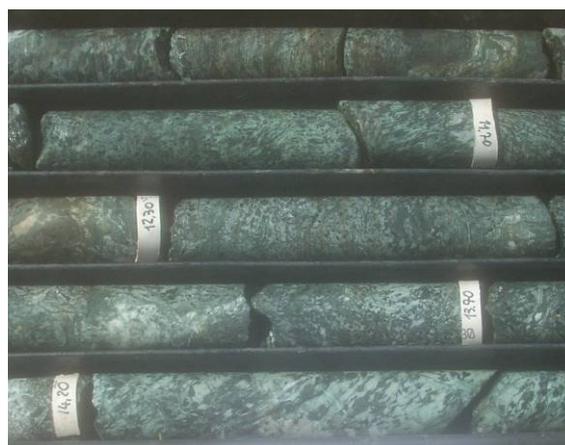


Fig 25 - Sondaggio 3/3-SD6 (Diaspri) Sondaggio 3/3-SD9 (Serpentiniti)

## 7.5 UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURE

### FPP - Flysch di Poggio Pallone

Calcari marnosi, calcari e marne grigio biancastre in strati da medi a molto spessi con basi arenitiche da fini a grossolane, subordinate intercalazioni di siltiti ed argilliti grigie.

La parte basale è localmente marcata da una litofacies pelitico-arenacea. Età: Eocene inferiore e medio



*Fig 26 – Facies in affioramento del Flysch di Poggio Pallone*



Fig 27 - Facies tipica in sondaggio del Flysch di Poggio Pallone (Sondaggi 3/2-SD13 3/2-SD14)

## 7.6 UNITÀ TETTONICHE TOSCANE

### MAC - Macigno

Si tratta di successioni torbiditiche costituite da litotipi silicoclastici, quali arenarie, siltiti e molto subordinatamente argilliti. Le successioni di tipo “arenitico” sono costituite da areniti quarzoso – feldspatico - micacee a granulometria medio grossolana, massive, in strati di spessore metrico e pluricentrico. Le successioni di tipo “arenitico - pelitiche” sono costituite da areniti quarzoso – feldspatiche a granulometria media o medio – fine in strati spessi sa 30 a 100 cm con subordinate peliti. Le arenarie assumono toni molto vicini al grigio–verde in frattura fresca, mentre sulla superficie d’alterazione presentano colori variabili dal grigio – arancio al marroncino - giallastro. Età: Oligocene superiore-Miocene inferiore



Fig 28 - Facies in sondaggio del Macigno (MAC) (Sondaggi 3/1-SD5, 3/1-SD4, 3/1-SD3)

**CV – Calcare Cavernoso**

Calcari, calcari dolomitici da grigio chiaro a marrone rossiccio, breccia tettonica autoclastica ad elementi calcarei o dolomitici a cemento calcareo, subordinate dolomie nere, rari gessi. La presenza di piccole cavità di forma poligonale vuote ("calcari vacuolari o a cellette") o riempite da polvere dolomitica ("cenerone") è un elemento caratteristico di questa formazione, che si presenta frequentemente intensamente fratturata ed alterata dal carsismo.

La cavernosità dei livelli dolomitici deriva da dissoluzione carsica ed è attribuita all'idratazione dei livelli anidritici, ed alla dissoluzione dei cristalli di gesso così formati. Età: Norico – Retico.



Fig 29 - Facies in sondaggio del Calcare Cavernoso (Cv) (Sondaggi 3/1-SD5, 3/1-SD4, 3/1-sd3)

## 7.7 UNITÀ TETTONICHE TOSCANE METAMORFICHE (VERRUCANO AUTOCT.)

### SRC - Formazione delle Verrucca

Filladi quarzítico - muscovitiche grigio chiare e grigio verdi, talora violacee, alternate a metaconglomerati quarzosi, costituiti prevalentemente da clasti di quarzo rosato e quarziti bianche o rosate e filladi scure. I vari ciottolini appaiono frequentemente spalmati di laccature micacee (anageniti). In sondaggio passaggi alterati a sabbie e limi policromi (ocra, verde, vinaccia) con clasti di quarzite; limi biancastri spugnosi e untuosi al tatto. Età: Trias (Ladinico sup.-Carnico)



Fig 30 - Facies in sondaggio della Formazione della Verrucca (SRC) (Sondaggioi 3/1-SD7 bis)

## **8 DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO**

Nell'ambito del presente capitolo si riportano, procedendo da nord-ovest verso sud-est, le considerazioni a tema geologico e geomorfologico di interesse tecnico per la realizzazione dell'opera. Nella descrizione si fa riferimento al profilo geologico longitudinale realizzato 30 metri in destra rispetto all'asse stradale.

### **8.1 GEOLOGIA**

L'analisi della planimetria geologica e del profilo geologico longitudinale consente di individuare, nell'area interessata dall'opera in progetto, ambiti di territorio a morfologia collinare e sub-collinare ai quali si interpongono le pianure alluvionali dei Fiumi Pecora, del torrente Sovata, del Fiume Bruna, del Torrente Fossa e del Fiume Ombrone.

Nelle aree a morfologia collinare si individuano due ambiti differenziabili in base alla natura delle rocce che formano il substrato; in particolare nel tratto più settentrionale, compreso tra Scarlino e Giuncarico, il substrato risulta costituito da rocce della Successione Ligure e Subligure; mentre nel tratto compreso tra Gavorrano e Grosseto le rocce del substrato appartengono alla Serie Toscana metamorfica e non metamorfica.

Ad esclusione di pochi punti in corrispondenza dei quali il substrato risulta affiorante o sub-affiorante, nel contesto generale si osserva una situazione piuttosto omogenea con depositi di copertura di età Pleistocenica ed Oligocenica che ricoprono, con spessori variabili, le rocce del substrato costituito dai depositi Neogenici e dalla rocce delle Unità Liguri, Sub-Liguri e Toscane.

Si segnala inoltre che lungo il tracciato in esame, i depositi alluvionali raggiungono spessori ed estensioni di una certa importanza solo nei corsi d'acqua più importanti, come il Fiume Pecora, il Fiume Bruna ed il Fiume Ombrone. Sono costituiti depositi a granulometria variabile, distribuiti con elevata eterogeneità, sia in senso laterale, sia verticale. Si presentano quasi sempre sciolti, talvolta possono mostrare un minimo grado di cementazione che può migliorare con la profondità.

In base all'analisi effettuata ed in relazione alle opere previste dal progetto, gli elementi geologici di maggiore interesse possano essere sintetizzati come segue:

#### **Tratto compreso tra il km 0 ed il km 7+00 circa**

In questo tratto il tracciato si sviluppa in rilevato con 4 tagli poco incisi (trincee) alle progressive 0+134-0+276, 0+940-1+154, 1+911-1+996 e 2-650-3+115. Il substrato roccioso, costituito da

rocce appartenenti alla Successione Ligure (Argille a Palombini – APA), è ricoperto da spessori variabili di coperture quaternarie e da depositi neogenici.

#### Da inizio tratto al km 0+580

- Il tracciato si sviluppa a raso o in rilevato e si imposta nel substrato sub-affiorante delle Argille a Palombini (APA), costituito da argilliti più o meno scagliose grigio scure nerastre, a tratti molto alterate e poco strutturate; alle quali si intercalano livelli di siltiti grigie, oppure, ad intervalli irregolari, strati di spessore variabile di calcari e calcilutiti con tonalità di colore dal grigio chiaro al grigio scuro e rari strati di arenaria. La prevalenza della componente argillosa facilmente degradabile spesso conferisce alla formazione un aspetto caotico.

Generalmente il substrato si presenta fortemente alterato nella sua porzione più superficiale e per spessori nell'ordine dei 5 – 10 m, in particolare in questo intervallo risulta costituito da argillite tenera brecciata con inclusi spigolosi di calcare. All'inizio del tracciato si segnala inoltre la presenza di un piccolo lembo di depositi alluvionali terrazzati (H1b) costituiti da limo sabbioso debolmente ghiaioso il cui spessore in sondaggio risulta di circa 10 m.

#### Tratto km 0+580 al km 2+650

- Il tracciato si sviluppa in rilevato, tagliando il versante in due punti alle progressive 0+940-1+154 e 1+911-1+995 e si imposta nei depositi fluviali pleistocenici (Qt1d) ed Oligocenici (H1b). Le coperture pleistoceniche (Qt1d) sono costituite da limi da ghiaiosi a con ghiaia e da ghiaie - sabbiose in matrice limosa di colore nocciola. Lo spessore di questi depositi in sondaggio risulta dell'ordine dei 7-8 m (cfr. sondaggi 3/3-Sd5, A2-S9, 3/3-Sd6, 3/3-Sd3s e 3/3-Sd7). I Depositi Fluviali Oligocenici (H1b), intercettati al km 2+060 circa, sono costituite da limo-argilloso da ghiaioso a con ghiaia ed hanno uno spessore in sondaggio 3-6 m (cfr. sondaggi 3/3-Sd8 – 3/3-Sd9). Entrambe le trincee si impostano nei depositi alluvionali Qt1d.

Le coperture quaternarie ricoprono i depositi conglomeratici neogenici (COM) e l'Unità delle Argille a Palombini (APA). I Conglomerati Miocenici (COM), il cui spessore in sondaggio risulta nell'ordine dei 13-16 m (cfr. sondaggi 3/3-Sd5, 3/3-Sd6, 3/3-Sd3s, 3/3-Sd7, 3/3-Sd8), presentano una facies molto alterata, costituita da ghiaia e ciottoli in matrice limosa, colori rossastri; i conglomerati poggiano con contatto discordante sulle Argille a Palombini. Il substrato argilloso è stato intercettato in sondaggio alla profondità di circa 20 m (cfr. sondaggi 3/3-Sd5, 3/3-Sd7, 3/3-Sd8). Nei sondaggi 3/3-Sd6 e 3/3-Sd9 alle profondità rispettivamente di 21 m e 6 m da p.c. sono stati intercettati lembi della Successione Ofiolitifera (Breccia Argillitica) rappresentata dai Diaspri (radiolariti in sottili strati prevalentemente di color rosso vinaccia

separati da sottili livelli di argilliti silicee, sondaggio 3/3-SD6) e dalle Serpentiniti (serpentiniti brecciate con evidenti vene di calcite, colore da verde chiaro a verde scuro, sondaggio 3/3-SD9). La posizione della faglia alla progressiva 1+400 è stata ipotizzata per spiegare la dislocazione dei depositi neogenici (COM) riconosciuti in sondaggio e cortografati in planimetria ad una distanza di diverse centinaia di metri.

#### Tratto dal km 2+650 al km 4+120

- Da inizio tratto, fino alla progressiva 3+115 circa, il tracciato si sviluppa in trincea, quindi prosegue fino a fine tratto in rilevato. In tutto il tratto il substrato, costituito dalle Argille a Palombini, risulta affiorante e sub-affiorante. L'analisi delle carote di sondaggio ha permesso di tracciare un limite del substrato alterato individuabile a profondità di circa 5-8 m da p.c., in questo intervallo le Argille a Palombini risultano costituite da argilliti tenere di colore nocciola con inclusi spesso spigolosi o sub-angolari di calcare/calcarenite (substrato alterato). Tra il km 3+490 circa e il km 3+850 è presente una vallecchia colmata da Depositi Fluviali Ologocenici (H1b) con uno spessore in sondaggio di circa 3,5 m (cfr. 3/3-sd12), le alluvioni sono costituite da sabbia-limoso debolmente ghiaioso color nocciola.

#### Tratto dal km 4+120 al km 6+970

- Il tracciato taglia il versante con modeste incisioni alle progressive 4+120 – 4+242 e 4+400 – 4+670, quindi si sviluppa in rilevato. Entrambe le trincee si impostano nei depositi di copertura Pleistoceni (Qt1d). In questo tratto il substrato roccioso, rappresentato dalle Argille a Palombini, risulta ricoperto da spessori variabili di coperture quaternarie pleistoceniche “Qt1d” e “Qt1d1” di ambiente fluviale e di transizione fluvio – lacustre - lagunare. Le alluvioni pleistoceniche (Qt1d), costituite da sabbie-limose debolmente ghiaiose a con ghiaia alternate a livelli di limo con argilla, colore nocciola, formano una pellicola superficiale dello spessore in sondaggio di circa 3-9 m (cfr. sondaggi 3/2-Sd2, 3/2-Sd1(s), 3/2-Sd3, 3/2-Sd2(s), 3/2-Sd3bis, 3/2-Sd4). Queste alluvioni si sovrappongono, con contatto di tipo eteropico, ai depositi di ambiente fluvio – lacustre - lagunare (Qt1d1), anch'essi presumibilmente di età pleistocenica. Più in profondità si ritrova il substrato costituito dalle Argille a Palombini (APA).

I Depositi Qt1d1 sono costituiti da limi-argillosi ed argille-limose plastiche con subordinate e rare intercalazioni centimetriche di sabbia - ghiaiosa, colori variabili dal grigio nerastro al biancastro con screziature ocra, violacee e verdi. Lo spessore dei depositi, al di sotto delle alluvioni terrazzate, risulta dell'ordine dei 5-15 m (cfr. 3/2-Sd2, 3/2-Sd1(s), 3/2-Sd3, 3/2-Sd2(s)). Vista la presenza delle abbondanti mineralizzazioni individuate durante l'analisi stratigrafica delle carote, si è deciso di sottoporre alcuni campioni ad analisi diffrattometrica. I risultati delle analisi

evidenziano la presenza di diverse associazioni mineralogiche la cui natura lascia presumere la circolazione di acque profonde di probabile origine idrotermale. In particolare i campioni prelevati dai sondaggi Sd1(s) (CI6 17.90-18-30) e 3/2-Sd2 (CI4 24.4-25) contengono caolinite, alunite e come fase prevalente montmorillonite (minerale argilloso espandibile della famiglia delle smectiti), mentre il campione prelevato dal sondaggio 3/2-Sd2 (CI3 14-14.45) contiene associazioni mineralogiche in cui lo zolfo si presenta con stato di ossidazione molto diverso (pirite, gesso, barite ricca in piombo ecc.).

Il substrato argilloso (APA) che si rinviene a profondità dell'ordine di 7-10 m da p.c. con un approfondimento a circa 20 m da p.c. in corrispondenza dei sondaggi 3/2-Sd1(s) e 3/2-Sd3, è costituito da argilliti tenere brecciate grigio-nerastre con subordinate intercalazioni decimetriche di calcilutiti e calcareniti.

### **Tratto compreso tra il km 6+970 ed il km 9+690 circa**

- In questo tratto il tracciato di sviluppo è rilevato e si imposta nei depositi Fluviali Pleistocenici (Qt1d) che ricoprono con spessori dell'ordine dei 3-5 m (cfr. sondaggi 3/2-Sd5, 3/2-Sd6, A2-S8 e 3/2-Sd7) i depositi Neogenici Conglomeratici (COM) ed Argillosi (FAA).

Le alluvioni sono costituite da sabbie-limose da debolmente ghiaiose a con ghiaia, limi-argillosi debolmente ghiaiosi, colore marrone nocciola.

I Conglomerati Miocenici che poggiano con contatto discordante sulle Argille a Palombini, sono costituiti da para-conglomerati/brecce da litoidi a debolmente cementati composti da clasti sub-angolari eterometrici ed eterogenei (calcarei, arenarie, diaspri ecc.) in matrice sabbiosa a cui si alternano livelli metrici di "arenaria" debolmente cementata e subordinati livelli limoso - sabbiosi; colori dal rosso vinaccia al grigio verde. Lo spessore di questi depositi in sondaggio varia dai 10 ai 22 m circa.

A partire dal km 8+840 le alluvioni ricoprono il substrato pliocenico (FAA) costituito da argille grigie dure con sottili intercalazioni millimetriche di sabbia-limosa, possibili intercalazioni di residui carboniosi (rinvenuti in sondaggio frammenti millimetrici di roccia nerastra, lucida, dura e scagliosa tipo antracite). Lo spessore di questi depositi attraversati dai sondaggi, al di sotto delle alluvioni, è di circa 10 m (cfr. sondaggio 3/2-Sd8).

Le argille plioceniche poggiano su depositi che seppur molto alterati (limo-argilloso con intercalazioni decimetriche di sabbia e ghiaio debolmente cementati colore grigio con screziature rosso-vinaccia), sono stati attribuiti per posizione stratigrafica e caratteristiche litologiche alla Formazione dei Conglomerati e Sabbie di Giuncarico (PCB)

**Tratto compreso tra il km 9+690 ed il km 17+525 circa**

Superato l'abitato di Potassa procedendo verso est, il tracciato si sviluppa in rilevato, seguendo un andamento quasi parallelo a quello del Torrente Sovata. La valle si restringe, per lasciare spazio ad un paesaggio collinare e pedecollinare. Dal punto di vista geologico i depositi fluviali Pleistocenici (Qt1d) ed Oligocenici (H1b) ricoprono le rocce appartenenti alle Unità Liguri (APA) e Sub-liguri (FPP).

- Si assiste ad un generale assottigliamento dei depositi di copertura Pleistocenici ed Oligocenici che si alternano ripetutamente lungo tutto il tratto. Le alluvioni sono caratterizzate da una certa variabilità dei termini granulometrici e presentano spessori di circa 3-5 m da p.c.

In questo tratto si osserva una certa ripetizione anche nei termini delle Unità Liguri (rappresentate dalle Argille a Polambini "APA", che ricoprono con contatto tettonico (sovrascorrimento) i depositi torbiditici della successione Sub - ligure (Flysch di Poggio Pallone "FPP"). La facies delle Argille a Palombini riscontrata in sondaggio è analoga a quella descritta in precedenza (cfr. sondaggi 3/2-Sd9, 3/2-Sd11, 3/2-Sd14, 3/2-Sd15, 3/2-Sd16, 3/2-Sd3(s), 3/2-sd18r, 3/2-Sd19).

Il Flysch di Poggio Pallone "FPP" è costituito da calcari marnosi e marne in strati da spessi a molto spessi, ai quali si intercalano livelli anche metrici di argilliti, breccie argillitiche e siltiti. (cfr. sondaggi 3/2-Sd8bis, 3/2Sd10, 3/2-Sd12, 3/2-Sd13, A2-S7, 3/2-Sd17bis, 3/2 Sd18r).

**Tratto compreso tra il km 17+525 ed il km 23+905 circa**

Il tracciato si allontana dai rilievi collinari ed entra nella pianura alluvionale del Fiume Bruna e del Torrente Fossa. Dal punto di vista stradale il tracciato si sviluppa in gran parte in rilevato, le opere più significative sono rappresentate dal Viadotto FF.SS Linea Giuncarico – Ribolla (km 17+768 - km 17+837), dal Viadotto sul Fiume Bruna (km 19+286 - km 19+405) e dal Viadotto sul Torrente Fossa (km22+472 - km 22+598).

Il tracciato si imposta sui depositi fluviali Oligocenici (H1b) e Pleistocenici (Qt1d) il cui spessore in sondaggio supera i 25 m, indagini bibliografiche (cfr. pozzo "21001832") segnalano la presenza, nella parte centrale della piana, di depositi fluviali a profondità superiori ai 54 m da p.c. Le alluvioni sono costituite da livelli ghiaioso - sabbiosi prevalenti che si alternano a livelli limoso - sabbiosi e limoso - argillosi; le ghiaie si presentano generalmente eterogenee, da sub-angolari a sub-arrotondate, colori nocciola e grigi.

Le alluvioni ricoprono con spessori variabili la formazione delle argille azzurre “FAA” (argille dure a tratti marnose, con intercalazioni millimetriche sabbiose, localmente fossilifere grigie). Queste argille possono contenere cristalli di gesso, frustoli carboniosi e comuni macrofossili. I sondaggi hanno intercettato anche “concrezioni” di colore bruno – scuro, nero, che sono risultate dure e scagliose, con aspetto simile all’antracite.

Si segnala la presenza di depositi lagunari recenti “H1a” ed antichi “Qt1d” costituiti da argille e limi grigi, a tratti organici e/o fossiliferi. I primi “H1a” si rinvennero in sondaggio, ad una profondità di circa 18 m da p.c. e si interpongono ai depositi fluviali recenti ed antichi (cfr. 3/2-Sd21, 3/2-Sd22 e 3/2-Sd23); i depositi lagunari antichi “Qt1b” meno estesi dei precedenti, si rinvennero ad una profondità di circa 20 m da p.c. (cfr. sondaggi 3/1-Sd0 e 3/1-Sd1) e poggiano direttamente sul substrato pliocenico “FAA”.

### **Tratto compreso tra il km 23+905 ed il km 44+495 (fine tratto)**

In questo tratto si individuano due porzioni di territorio ed in particolare gli ambiti collinari di Braccagli e di Grosseto. In questo contesto le rocce della Falda Toscana e del suo basamento metamorfico (Calcere Cavernoso “CV”, Formazione della Verruca “SVRC” e Macigno “MAC”) risultano separate da un ampio settore in cui il substrato si approfondisce al di sotto dei Depositi di Copertura Pleistocenici ed Oligocenici (“Qt1d1”, “Qt1d”, “H1a” e “H1b”). Il tracciato si sviluppa in larga parte in rilevato od a raso.

### **Tratto dal km 23+905 al km 28+870 circa**

Il tracciato si allontana progressivamente dall’ampia valle alluvionale dei Fiumi Bruna e Fossa e lambisce i rilievi collinari posti a monte dell’abitato di Braccagni. Lo spessore dei depositi fluviali Pleistocenici diminuisce progressivamente man mano che il tracciato si avvicina al versante, fino ad elidersi in prossimità della progressiva 25+990 circa dove il substrato diventa sub-affiorante (cfr. sondaggio 3/1-Sd5).

Il substrato risulta costituito da Calcere Cavernoso, raramente si ravvisa la presenza di gessi. Tale substrato viene incontrato dai sondaggi ad una profondità di circa 10 m da p.c. (cfr. sondaggi 3/1 – Sd3, 3/1-Sd2(s), 3/1-Sd4, S31).

In profilo è stato riportato un sovrassegno per indicare le zone dove il substrato risulta maggiormente fratturato ed alterato dai fenomeni di carsismo, in questi tratti si presenta sottoforma di limo-sabbioso con trovanti e ciottoli di calcare, colore marrone - rossiccio.

Il tracciato in questo tratto attraversa un'area identificata dal Piano Strutturale di Grosseto come a rischio Sink-Hole (vedi paragrafo Sink-Hole nel capitolo Geomorfologia). Dal km 25+100 al km 25+900 il tracciato intercetta Depositi Fluviali Oligocenici "H1b", il cui spessore è stato ipotizzato di circa 7 – 8 m da p.c.

A partire dal km 26 + 474 circa fino al km 28 + 175 il tracciato si imposta nei depositi lagunari Oligocenici "H1a", costituiti da argille-limose grigie e grigio biancastre, plastiche. Si rinvencono intercalazioni sabbiose di spessore da centimetrico a decimetrico, inoltre a diverse profondità sono stati intercettati livelli torbosi, cristalli di gesso, resti vegetali e fossili di ambiente salmastro (Cerastodermi). Lo spessore attraversato dai sondaggi di questi depositi è di circa 30 m da p.c. (cfr. sondaggi 3/1-Sd6, S10, S9).

A partire dal km 28+870 fino a fine tratto, i Depositi Fluviali Pleistocenici "Qt1d (alternanze di limi-argillosi e limi-sabbioso ghiaiosi marroni) ricoprono con uno spessore in sondaggio di circa 14 – 18 m da p.c. il basamento metamorfico della Falda Toscana rappresentato dalla Formazione della Verruca "SRC", costituito in facies molto alterata (sabbie e limi policromi (ocra, verde, vinaccia) con clasti di quarzite; limi biancastri spugnosi e untuosi al tatto). (cfr 3/1-Sd7, 3/1-Sd-7bis ed S28).

#### Tratto dal km 28+870 al km 38+360 km circa

Il tracciato si allontana dalle propaggini collinari di Braccagni ed entra nella Piana alluvionale del Fiume Ombrone. In questo tratto i dati geognostici a disposizione (cfr. sondaggi 3/1-sd8, 3/1-sd 4s, 3/1-sd9, 3/1-sd10, 3/1-sd11, 3/1-sd13, 3/1-sd14, 3/1-sd15, oltre alle indagini bibliografiche), segnalano la presenza di depositi di copertura costituiti da argille – limose, con passaggi sabbiosi, di colore variabile da nocciola a grigio - biancastro e grigio - verde. A varie profondità in sondaggio si sono rinvenuti abbondanti cristalli di gesso, concrezioni carbonatiche, livelli torbosi, residui vegetali e resiti fossiliferi. Questi depositi sono stati attribuiti, per caratteristiche litologiche, a depositi di transizione tra l'ambiente fluviale e l'ambiente lacustre/lagunare "Qt1d1", riconosciuti in bibliografia anche come "sabbie calcaree – travertinose". Su due campioni, prelevati dai sondaggi 3/1-Sd9 (CR4 26-26.40), 3/1-Sd10 (CR2 4,5 m), 3/1-Sd13 (C11 4m), è stata eseguita un'analisi diffrattometrica quantitativa in base alla quale i campioni risultano costituiti per quasi il 90% da gesso ed in % minore da calcite, quarzo, smentite ed il lite.

Alcuni campioni provenienti dai sondaggi 3/1-Sd10, 3/1-Sd11, 3/1-Sd13, 3/1-Sd4, 3/1-Sd20, 3/1-Sd15, costituiti da limo-sabbioso di colore variabile da biancastro a bruno, non plastico, hanno mostrato in fase di analisi granulometrica un comportamento singolare; in particolare, dopo l'aggiunta dell'antiflocculante (esametasolfatodisodio), le particelle di terreno hanno cominciato ad aggregarsi con nuclei di dimensioni anche centimetriche (vedi foto allegate).



L'origine di questi depositi è da riferirsi all'attività di sorgenti termominerali di acque a circolazione profonda e dilavanti il Calcare Cavernoso; la precipitazione dei carbonati presenti in queste acque allo stato solubile sotto forma di bicarbonato di calcio, sarebbe dovuta alle variazioni di condizioni di temperatura e pressione, ciò permetterebbe la reazione chimica di formazione dei carbonati insolubili. Questi ultimi precipitando in ambiente sub-aereo possono inglobare elementi vegetali come piccoli rami e foglie.

#### Tratto dal km 38+360 – al 42+838

- In questo ambito il tracciato generalmente si sviluppa in rilevato, ad esclusione del tratto km 39+212 – al 42+838 dove attraversa in viadotto (Viadotto Ombrone) i Depositi Fluviali Oligocenici (H1b) del Fiume Ombrone. Le alluvioni, il cui spessore in sondaggio supera i 40 m (cfr. sondaggi 3/1-Sd16, 3/1-Sd17, 3/1-Sd18), sono costituite da una certa alternanza dei termini granulometrici, con prevalenti depositi ghiaioso - sabbiosi ai quali si intercalano lenti di spessore plurimetrico di sabbie-limose e di argille-limose, si segnala anche la possibile presenza di concrezioni carbonatiche e di residui carboniosi. Il colore varia dal nocciola al grigio. Lo spessore dei depositi aumenta nella parte centrale della piana, in prossimità dell'attuale corso d'acqua del Fiume Ombrone, dove in base alle informazioni ricavate da un pozzo del BDSRI - pozzo "21003498" si può ipotizzare uno spessore dei depositi superiore a 65 m da p.c. In corrispondenza dell'alveo attuale Fiume Ombrone, è stato cartografato un lembo di alluvioni attuali (km 39+960-39+985 circa).

Spostandosi verso sud, il tracciato si avvicina alle propaggini dei rilievi collinari posti a monte dell'abitato di Grosseto, spostandosi nella porzione distale della valle lo spessore dei depositi diminuisce progressivamente sino ad elidersi. A partire dal km 41+320 alla profondità di circa 33 m da p.c. (cfr. sondaggi 3/1Sd-18ter) si intercetta il substrato roccioso costituito da arenaria prevalente con subordinate intercalazioni di siltiti ed argilliti, colore nocciola con screziature

ocracee, appartenente alla Formazione del Macigno (Serie Toscana non metamorfica). Verso sud, il sondaggio S5 intercetta il substrato roccioso ad una profondità di circa 18 m da p.c.

#### Tratto dal km 42+838 al km 43+440

- Lasciata la piana alluvionale del Fiume Ombrone, il tracciato si sviluppa in rilevato e si imposta sulle rocce del substrato appartenente alla formazione del Macigno (MAC). La base delle pendici è ricoperta da un modesto spessore di Depositi di Versante, che il tracciato intercetta alle progressive 42+790 – 42+940 e 43+295-43+440, il cui spessore ipotizzato in profilo è dell'ordine dei 3 -4 m da p.c. I depositi di versante sono costituiti da limi e sabbie rossastre con clasti di arenaria sub-angolari e spigolosi. Il tracciato in carreggiata nord si sviluppa per un breve tratto in trincea ed attraversa le rocce della Formazione del Macigno, che il sondaggio 3/1-Sd18quater intercetta per tutta la sua profondità (20 m da p.c.). In particolare nei primi 12 m da p.c. le arenarie si alternano a strati dm di siltiti fogliate ed subordinate argilliti, colore grigio con patine di alterazione ocracee. Le porzioni siltose possono risultare molto fogliate con diffuse patine lucide e caratterizzate da grande fragilità.

#### Tratto dal km 43+440 a fine tracciato (km 44+495)

- In questo tratto il tracciato si sviluppa in rilevato e si imposta sui Depositi Fluviali Pleistocenici (Qt1d) costituiti da limi-argillosi debolmente ghiaiosi e da sabbie-limose con inclusi ghiaiosi. Le alluvioni ricoprono il substrato roccioso appartenente alla Formazione del Macigno “MAC” per uno spessore in sondaggio variabile da 8 a 15 m da p.c. (cfr. sondaggi 3/1-Sd19, S1, 4/2-Sd1 e 4/2-Sd2). In base alle risultanze delle indagini è stato possibile tracciare un limite in cui il substrato si presenta particolarmente destrutturato e fratturato; variabile da un minimo 1,5 m in corrispondenza del sondaggio “4/2-Sd1” fino ad approfondirsi al di sotto dell’area indagata, in corrispondenza del sondaggio “4/2-Sd2”. In profilo è stato riportato un sovrassegno per rimarcare il particolare stato di alterazione del materiale carotato che localmente assumere l’aspetto di un terreno contenente clasti di arenaria alterati e fratturati in matrice limoso-sabbiosa nocciola. Al di sotto della porzione alterata il substrato assume una facies analoga a quella descritta nei paragrafi precedenti.

## **8.2 GEOMORFOLOGIA**

Vengono di seguito descritti gli elementi di maggiore interesse relativi alla realizzazione dell’opera in progetto riferiti alle progressive dell’asse del tracciato, riportate in planimetria. Gli elementi di maggiore impatto riguardano gli aspetti idraulici legati all’attraversamento di numerosi fiumi e

torrenti in aree con morfologie spesso sfavorevoli per il deflusso e soggette a fenomeni di allagamento.

Tra le progressive 1+434 e 1+450 (fosso Valle di Confine) e progr. 1+557 - 1+885 circa, il tracciato intercetta due settori segnalati a pericolosità idraulica Elevata (P.I.E.). Tra le progr. 2+357 e 2+518 (fosso Cerretella) la pericolosità idraulica risulta molto elevata (P.I.M.E.). In questo stesso settore, in zone adiacenti al tracciato, si segnalano fenomeni di soliflusso che si impostano sui terreni prevalentemente argillosi di alterazione del substrato costituito da Argille a Palombini. Come accennato in precedenza, le zone soggette a soliflusso devono essere considerate con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni, equiparabili a frane attive di coltre.

Procedendo verso sud nell'attraversamento del fosso Riccio e del suo affluente in destra si incontrano areali a P.I.E (progr. 3+210 - 3+225, progr. 3+602 - 3+615, progr. 3+675 - 3+680) e a P.I.M.E. (progr. 3+615 - 3+675).

Attorno alla progr. 4+325 viene attraversato il fosso delle Botrelle: in questo settore sono segnalate, immediatamente a sud del tracciato, zone con difficoltà di deflusso ed areali a pericolosità idraulica elevata e molto elevata.

Tra le progr. 5+500 e 7+100 circa sono presenti estesi settori con problemi idraulici (legati alla corso del fosso Rigiolato e suoi affluenti) che bordano ed intercettano l'asse stradale. In particolare si segnalano: aree P.I.E circa tra le progr. 5+522 e 5+581, progr. 5+936 e 6+504, progr. 6+676 e 6+712, progr. 7+036 e 7+095.

Aree classificate P.I.E. e P.I.M.E. sono presenti lungo il fosso Rigiolato nelle adiacenze del tracciato stradale fino all'abitato di Potassa (circa all'altezza della progr. 7+800 dell'asse di progetto).

Tra le progressive 7+000 ed 8+000 il versante a monte del tracciato è interessato da fenomeni di erosione diffusa che si impostano nei depositi pleistocenici sciolti e nelle coltri di detrito presenti.

Nel settore compreso tra le progressive 8+750 e 11+500 si nota la presenza sui versanti a monte del tracciato di fenomeni di dissesto quali soliflussi e frane sia quiescenti che antiche impostate prevalentemente nella formazione delle Argille a Palombini. Anche se i dissesti non intercettano direttamente il tracciato questi areali devono essere considerati con cautela soprattutto nel caso di realizzazione di opere che alterino gli equilibri esistenti (scavi).

Superato l'abitato di Potassa, procedendo verso est, il tracciato corre parallelamente al corso del Torrente Sovata, fino allo sbocco nella piana del Fiume Ombrone (Poggio Pelliccia) ed attraversa

numerosi fossi suoi affluenti. L'areale attorno al Torrente Sovata è classificato in gran parte P.I.E. e numerosi sono i settori che intercettano l'asse di progetto.

In particolare si segnalano i seguenti settori classificati a P.I.E.:

- progr. 9+484 - 9+504 (fosso Valle di Pesco), progr. 10+078 - 10+130 (fosso di Val Morello), progr. 10+334 -10+420, progr.11+104 - 11+135, progr. 11+679 - 11+714, progr. 12+193 - 13+369 circa (fosso della Valle e corso del Torrente Sovata), progr. 14+659 - 15+593 (fosso della rovina e Torrente Sovata), progr. 15+763 - 15+971 (fosso Mollarella Nuovo), progr. 16+244 - 17+222 (Torrente Sovata e affluenti).

Proseguendo si incontra l'ampia pianura del Torrente Bruna. Su tutto il tratto da progr. 17+825 circa fino a La Grancia (circa progr. 23+100), si ha una area quasi continua di P.I.E. che diviene P.I.M.E. in corrispondenza dei corsi principali. In quest'area il tracciato in parte è compreso completamente dentro le aree a pericolosità ed in parte ne risulta al margine.

Si segnalano le seguenti aree intercettate dall'asse stradale:

- progr. 17+825 - 18+810, progr. 22+756 - 23+077 classificate a P.I.E.. Progr. 18+810 e progr.19+553 e tra progr 22+505-22+756 classificate a P.I.M.E.

Il tracciato prosegue nella piana di Braccagni, bordando i rilievi a sud di Montepescali ed intercettando depositi di conoide alluvionale presenti (circa alle progr. 23+470 - 23+701; 23+877 - 24+263; 24+524 - 24+678; 24+771 - 25+141; 25+518 - 25+874).

Dalla progr. 26+344 a progr. 31+671 circa il Comune di Grosseto individua una zona nella quale approfondire le conoscenze relative alla problematica dei Sinkole che ha interessato le zone limitrofe del Bottegone.

Tra le progr. 29+572 e 29+793 circa il tracciato attraversa un'area segnalata in passato come zona umida con necessità di bonifica testimoniando la presenza di terreni che sono da ritenersi di scarsa qualità ed in condizioni morfologicamente sfavorevoli relativamente al deflusso delle acque.

Il tracciato prosegue nella piana del Fiume Ombrone senza intercettare areali con particolari evidenze di criticità geomorfologica ma comunque adiacenti a settori che presentano difficoltà di drenaggio.

Dalla progr. 40+000 a progr. 42+707 circa, si evidenzia un ampio settore classificato a pericolosità molto elevata (P.I.M.E.) che si rinviene al di sotto del Canale Diversivo in corrispondenza del corso a meandri del Fiume Ombrone. Tutta l'area è perimetrata a pericolosità molto elevata fino al bordo

dei rilievi collinari, resta da notare che in questo tratto l'Aurelia attuale si sviluppa in viadotto con quote medie di 8 -10 metri al di sopra della sottostante pianura.

Un ultimo tratto classificato a pericolosità molto elevata si colloca nelle immediate vicinanze del tracciato circa tra la progr. 43+900 e fine tracciato.

## 9 BIBLIOGRAFIA

*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.*

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.

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.

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.

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

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.

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.

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

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.

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.

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.

Servizio Geologico d'Italia, (2002). Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 306 Massa Marittima.

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.

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.

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.

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.

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.

Costantini A. Terzuoli A. (1998). Stratigrafia sequenziale del Neogene di Ribolla (Grosseto): un'ipotesi di lavoro. 117, 297-311.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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

D'Argenio B. Ferreri V. (1988). Ambienti di deposizione e Litofacies dei travertini quaternari dell'Italia centro meridionale. 41, 861-868.

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.

Bravetti L. Pranzini G. (1987). L'evoluzione quaternaria della Pianura di Grosseto (Toscana): Prima interpretazione dei dati del sottosuolo. 19, 85-92.

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

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

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

Fregni P., Gasperi G., Gelmini R. (1983). Il Messiniano tra la Toscana Meridionale ed il Lazio Settentrionale. 141-144, 2.

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

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

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

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.

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.

Dessau G., Duchi G., Stea B. (1972) - Geologia e depositi minerari 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.

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

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.

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.