



Società Autostrada Tirrenica p.A.

GRUPPO AUTOSTRADAE PER L'ITALIA S.p.A.

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

**LOTTO 5A**

**TRATTO: ANSEDONIA – PESCIA ROMANA**

**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 GEI-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>
---	--	---

<b>RIFERIMENTO ELABORATO</b>		<b>DIRETTORIO</b>		<b>FILE</b>		<b>DATA:</b>	<b>REVISIONE</b>	
—		codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	FEBBRAIO 2011	n.	data
—		12121403		GE0001	—	<b>SCALA:</b>		

<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. Giambattista Brancaccio Ord. Ingg. Roma N. 15710  <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>5</b>
2.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI	5
2.2	ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU	6
2.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
2.3.1	<i>Indagini di progetto</i>	6
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>10</b>
3.1	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E TETTONICO GENERALE	10
3.2	ASSETTO STRUTTURALE	15
3.2.1	<i>Tettonica distensiva post collisionale</i>	16
3.2.2	<i>Tettonica comprensiva pre e sin - collisionale</i>	18
3.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	19
<b>4</b>	<b>SISMICITA'</b>	<b>30</b>
4.1	SIMITICITA' E NEOTETTONICA	30
4.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI	34
<b>5</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>37</b>
5.1	METODOLOGIA	37
5.2	ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU	38
5.3	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA	38
5.4	DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI.	38
5.5	FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ	40
5.6	FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE ALLE ACQUE SUPERFICIALI	41
5.7	FORME CARSICHE	42
5.8	FORME STRUTTURALI	45
5.9	FORME ANTROPICHE	45
5.10	CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA	46
<b>6</b>	<b>REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGIA (STRATIGRAFIA)</b>	<b>50</b>
7.1	COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ	51

7.2	DEPOSITI QUATERNARI	52
7.3	DEPOSITI NEOGENICI	54
7.4	UNITÀ TETTONICHE LIGURI	56
7.5	UNITÀ TETTONICHE TOSCANE	57
<b>8</b>	<b>DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO</b>	<b>58</b>
8.1	GEOLOGIA	58
8.2	GEOMORFOLOGIA	61
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione definitiva del Nuovo Corridoio Tirrenico A12, nel tratto compreso tra lo svincolo di Ansedonia (S.S. 1 Aurelia esistente) ed il confine regionale Toscano-Laziale, Lotto 5a (Fig.1).

Il tracciato in oggetto ricade in un'area compresa nei comuni di Orbetello, Capalbio e Montalto di Castro. Lo studio è stato condotto su una fascia di territorio che si sviluppa per una lunghezza di circa 14,430 km ed un'ampiezza di circa 1 km a cavallo dell'attuale tracciato stradale.

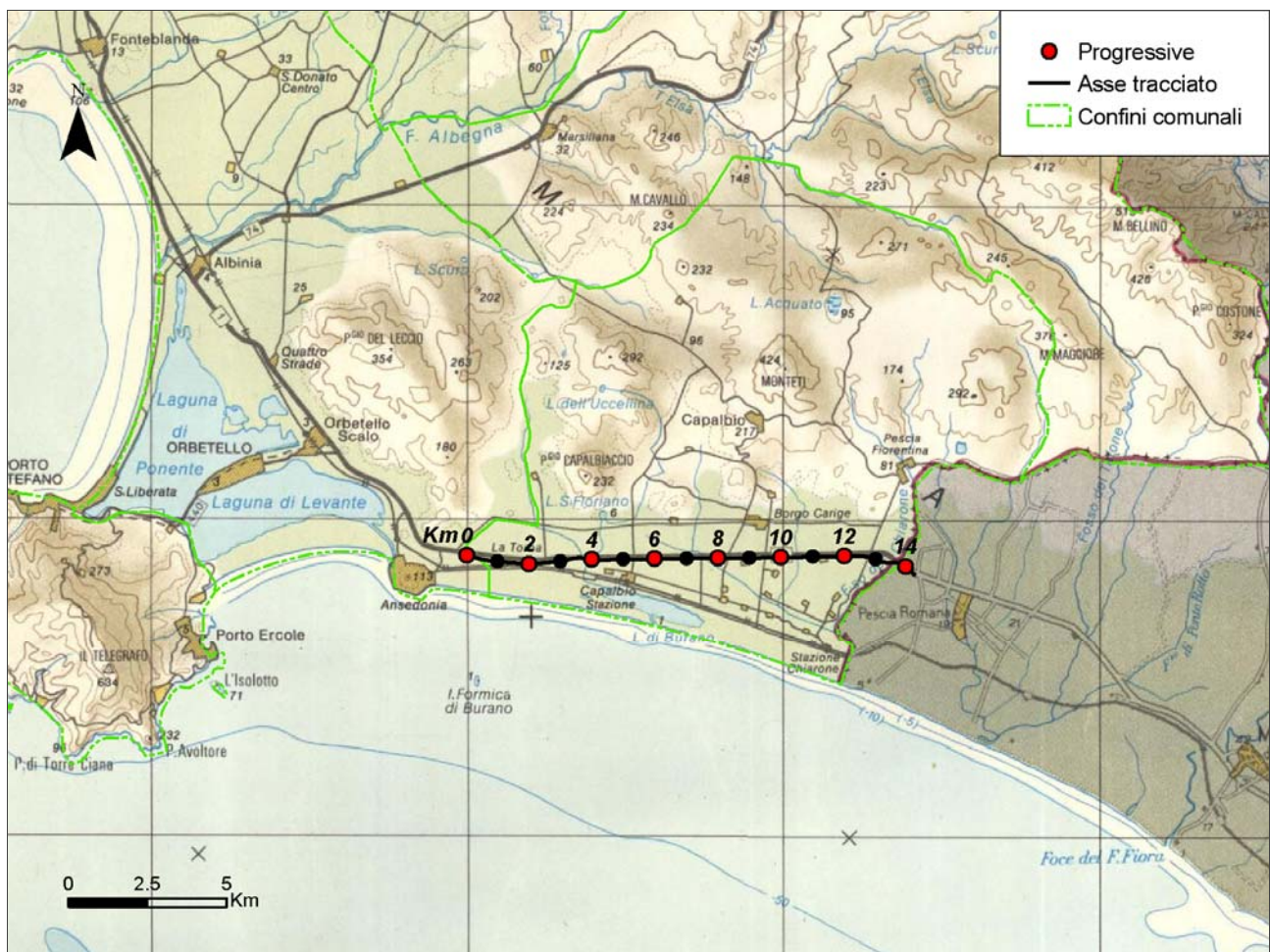


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area del lotto 5A.

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

La presente relazione descrive quanto rappresentato negli elaborati geologici, geomorfologici, e nel profilo geologico longitudinale (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 GEO010) .

Nei successivi paragrafi vengono elencate e descritte in dettaglio tutte le attività conoscitive svolte per la compilazione del presente studio.

### 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 relative ai voli 1976 (EIRA in b/n alla scala approssimativa di 1:13.000) e 2010 (Foto CGR a colori scala di circa 1:14.000 realizzato nell'ambito degli studi per l'opera in progetto).

Dati forniti da Enti:

- Università degli Studi di Firenze per la raccolta di letteratura relativa alla caratterizzazione geologica, strutturale, litologica ed idrogeologica dell'area in oggetto, come riportato in bibliografia. In particolare: Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, 1982 e Carta Geologica Nazionale in scala 1:100.000 fogli.
- 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: (dal sito internet [http://www.rete.toscana.it/sett/pta/cartografia\\_sit/sit/javagis/](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/cartografia_sit/sit/javagis/)).
- Censimento delle cavità carsiche (in collaborazione con la Federazione Speleologica Toscana) (da:[http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/link/banchedati\\_nascoste/visualizza\\_asset.html\\_1260723368.html](http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/link/banchedati_nascoste/visualizza_asset.html_1260723368.html));
- Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana (BDSRI);
- Comuni di Capalbio ed Orbetello: consultazione della cartografia geologico-geomorfologica ed idrogeologica disponibile a supporto degli strumenti urbanistici (Piani Strutturali);

- Sito internet dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV) relativamente agli aspetti sismici dell'area.

## **2.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU**

Per la redazione del presente lavoro sono state svolte 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 di una campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) appositamente predisposta lungo tutto il tratto oggetto di studio nelle diverse fasi progettuali (2003-2004 Progetto Preliminare, 2009 Progetto Preliminare e 2010 progetto Definitivo) e di una serie di indagini bibliografiche reperite presso enti pubblici (Indagini Consorzio Lamma – Regione Toscana).

Tutte le indagini sono state ubicate in una apposita cartografia tematica (elaborati GEO008-GEO009) allegata al progetto. I dati stratigrafici e tecnici derivanti dalla documentazione geognostica sono sintetizzati di seguito.

### **2.3.1 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 e FASEB, campagna 2003-2004)*

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

prove geotecniche di laboratorio sia su campioni indisturbati, sia su campioni rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni e degli scavi. Della documentazione disponibile solo 1 sondaggio di FaseA, 4 sondaggi di FaseB e 5 pozzetti esplorativi di FaseB ricadono in prossimità dell'attuale fascia di studio.

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

Indagine	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
A1-S8	25	TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-25.00)
B1-S10	35	TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-17.00)
B1-S11	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-31.00)
B1-S13	25	TA - cieco (0.00-2.00) finestrato (2.00-17.00)
B1-S14	25	TA - cieco (0.00-12.00) finestrato (12.00-13.00) n. 1 Cella (23.50)
B2-pz5, B2-pz4, B2-pz3, B2-pz2, B2-pz1		

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

Di tali indagini, realizzate lungo un tracciato di progetto solo in parte sovrapponibile all'attuale, sono stati utilizzati e rielaborati i risultati relativi a 5 sondaggi. La documentazione relativa a tali indagini comprende le risultanze di prove in foro tipo spt, prove di permeabilità tipo Lefranc, l'installazione di strumentazione piezometrica (oggi solo in parte reperibile), oltre ai certificati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni e degli scavi.

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

Indagine	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
C-S17	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
C-S16ter	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-18.00)
C-S16bis	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
CS-16	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
CS15	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.00) n. 1 Cella (34.50)



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

Per l'intero tratto esteso da Grosseto a Pescia Romana, è stata sviluppata una campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio), condotta nella primavera-estate 2010. La campagna di indagini, è stata suddivisa in quattro sub-lotti, distinti da nord verso sud in lotto 4/2, 4/1, 5/2 e 5/1, nel tratto oggetto di studio ricadono le indagini eseguite nel sub-lotto 5/1. Oltre a queste, le indagini del lotto 5a, sono state integrate con quattro sondaggi eseguiti per la progettazione definitiva del lotto 6b.

Nel tratto in esame sono stati realizzati complessivamente n. 24 sondaggi geognostici, dei quali 23 eseguiti a carotaggio continuo ed 1 a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino a 40 m da p.c, oltre ad una prova penetrometrica con cono sismico S-CPT spinta fino a 35 m da pc e a 14 pozzetti esplorativi superficiali.

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

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

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

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

<b>Indagine</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Strumentazione</b>
5/1-D7	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
5/1-SD8	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00)
5/1-SD9	25	TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-25.00)
5/1-SD10	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-27.00) n. 1 Cella (34.00)
5/1-SD10bis	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-12.00) n. 1 Cella (20.50)
5/1-SD11	35	TA - cieco (0.00-16.00) finestrato (16.00-18.00) TA - cieco (0.00-21.00) finestrato (21.00-35.00)
5/1-SD5/12	40	TA - cieco (0.00-16.00) finestrato (16.00-40.00)
5/1-SD13	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
5/1-SD13bis	35	Tubo in PVC per CH (0-35)
5/1-SD14	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
5/1-SD15	20	TA - cieco (0.00-14.00) finestrato (14.00-20.00)
5/1-SD16	35	TA - cieco (0.00-15.00) finestrato (15.00-18.00) n. 1 Cella (25.00)
5/1-SD18	35	TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-35.00)
5/1-SD19	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
5/1-SD20	25	TA - cieco (0.00-7.00) finestrato (7.00-23.50) + Datalogger
5/1-SD21	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
5/1-SD22	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-12.00) n. 1 Cella (24.50)
5/1-SD 23	23,5	TA - cieco (0.00-8.00) finestrato (8.00-20.00) n. 1 Cella (23.00)
5/1-SD24	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
5/1-SD25	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00)
6b/-SD24	30	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-13.50)
6b/-SD22	25	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.00) n. 1 Cella (24.50)
6b/-SD21bis	35	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-16.00)
6b/-SD21	20	TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00)
5/1-pz6, 5/1-pz8, 5/1-pz9, 5/1-pz10, 5/1-pz11, 5/1-pz14, 5/1-pz15, 5/1-pz16, 5/1-pz17, 5/1-pz18, 5/1-pz20, 5/1-pz21, 5/1-pz24, 5/1-pz29.		

### 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).

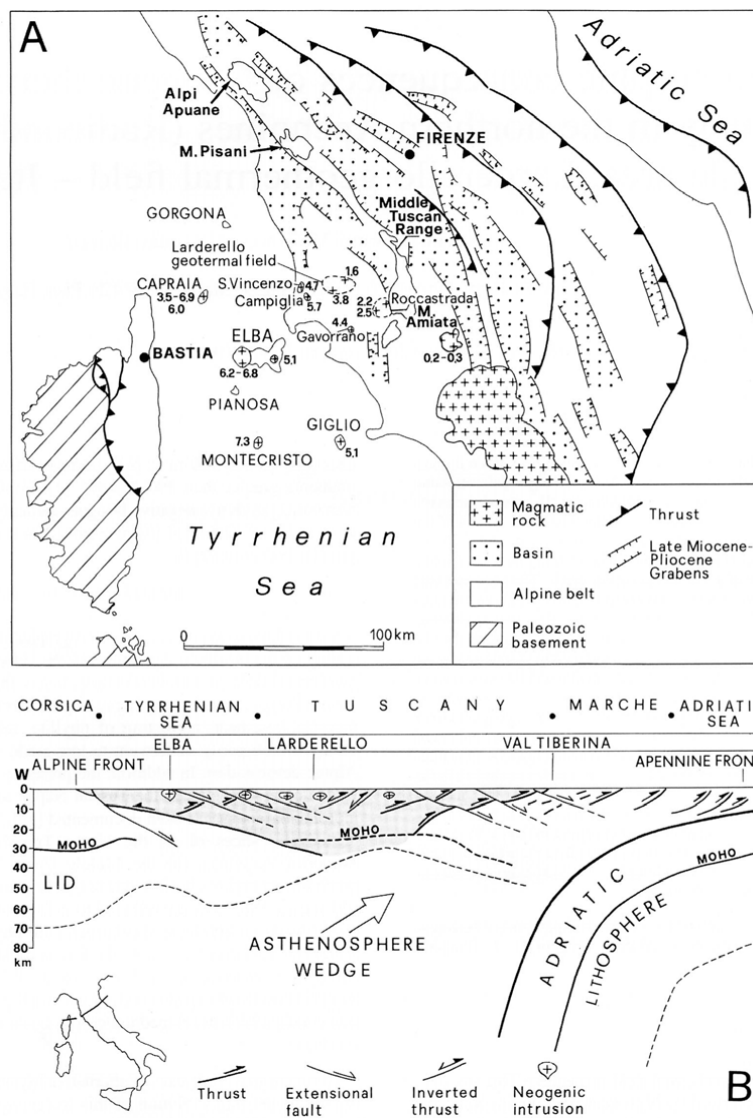


Fig. 2 - Schema geologico - strutturale della Toscana.

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.

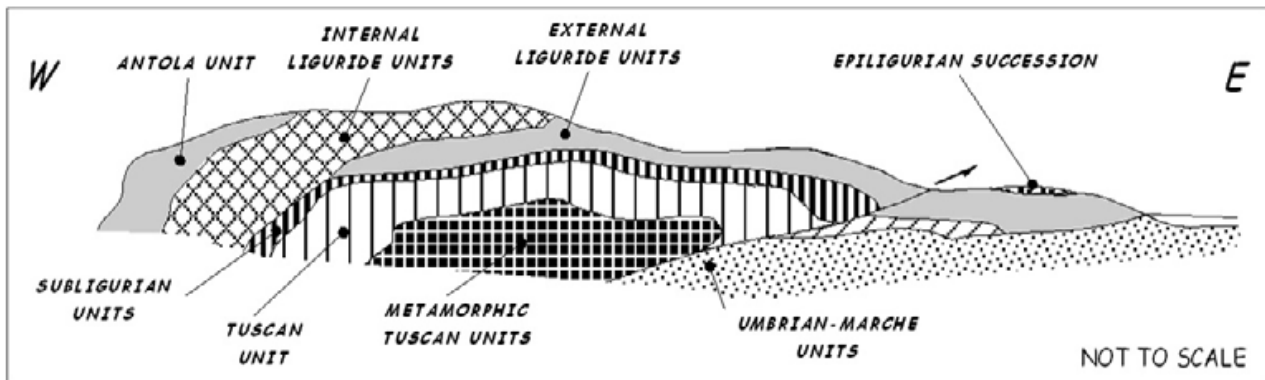


Fig. 3 - Ricostruzione schematica dell'impilamento tettonico tradizionalmente riconosciuto in Appennino Settentrionale

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.

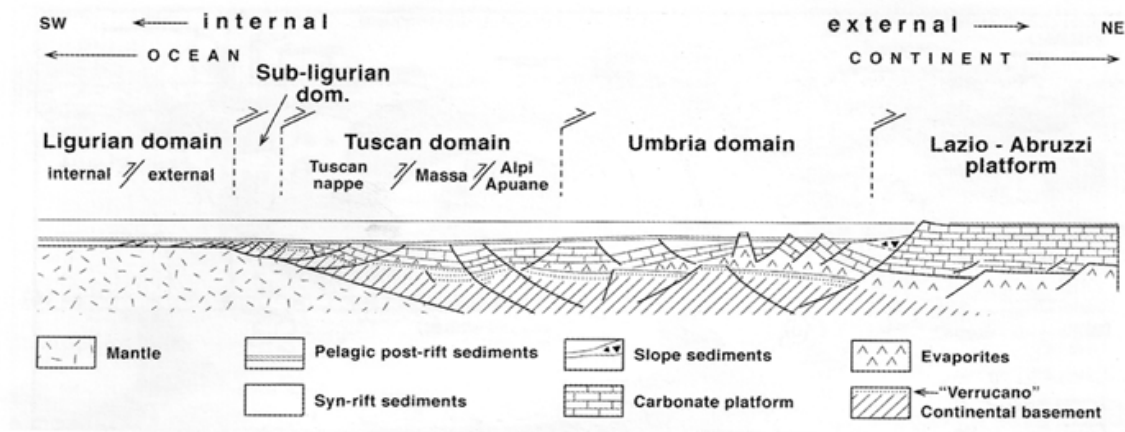


Fig. 4 - Schema paleogeografico del margine continentale della placca Adria con la localizzazione del Domino Subligure.

- 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.

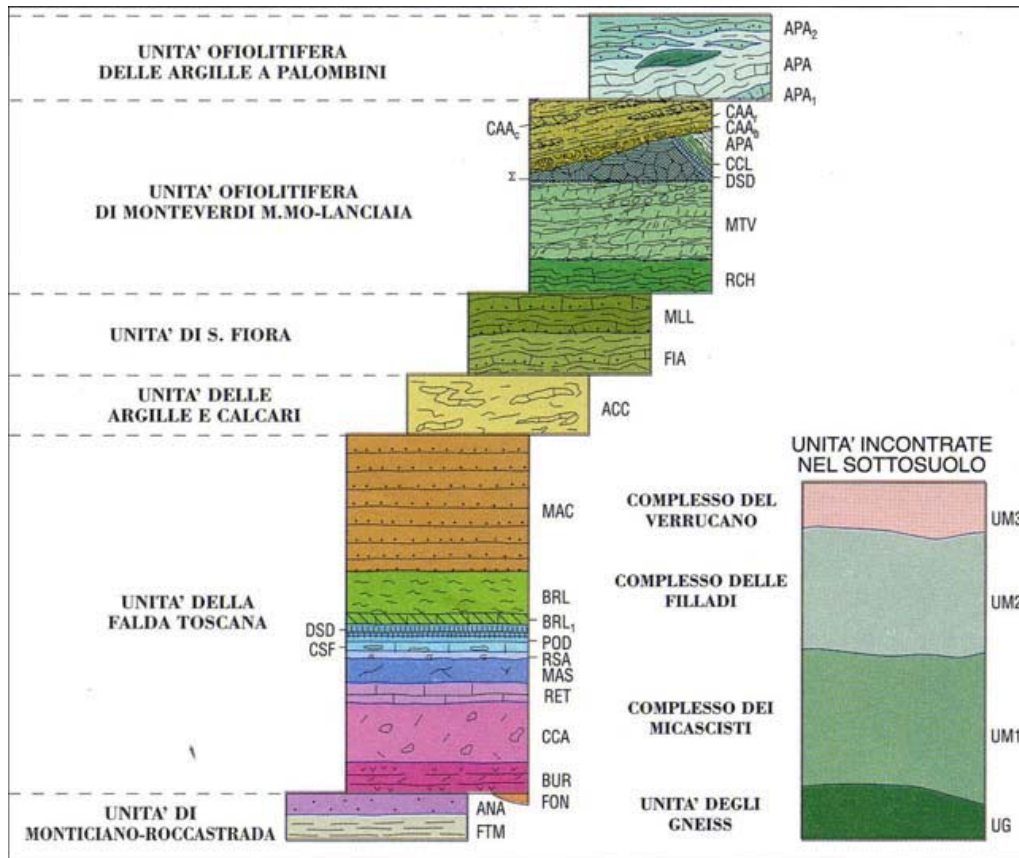


Fig. 5 - Schema dei rapporti tra unità tettoniche Liguri e Subliguri con la Falda Toscana, così come osservate in Toscana meridionale (Foglio 306 Massa Marittima)

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

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

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

### 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).

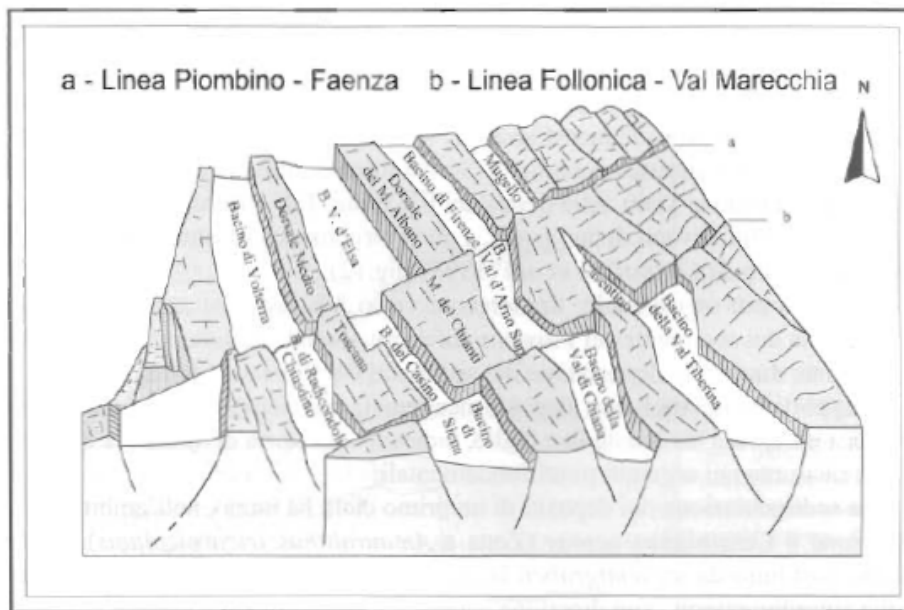
Molto più difficile risulta documentare gli effetti della ciclicità eustatica sulla sedimentazione, proprio perché obliterati dall'attività tettonica. Sulla base delle analisi di facies e della identificazione delle discontinuità di carattere regionale la successione sedimentaria neogenico - quaternaria 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, mostrandone i probabili rapporti delle linee trasversali dell'Appennino Settentrionale con le strutture rigide distensive e con quelle plicative*

#### Tettonica distensiva Plio - Pleistocenica

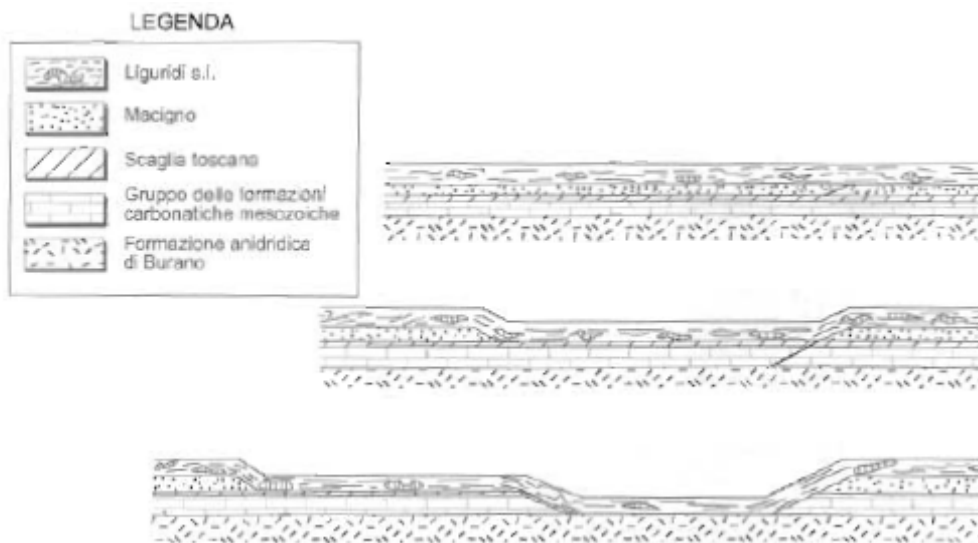
I depositi marini pliocenici, costituiscono nell'area di studio affioramenti discontinui e poco estesi; essi rappresentano i resti di un intenso processo erosivo, iniziato alla fine del Pliocene Medio, per un generale sollevamento che ha interessato gran parte della Toscana Meridionale. La sedimentazione 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)*

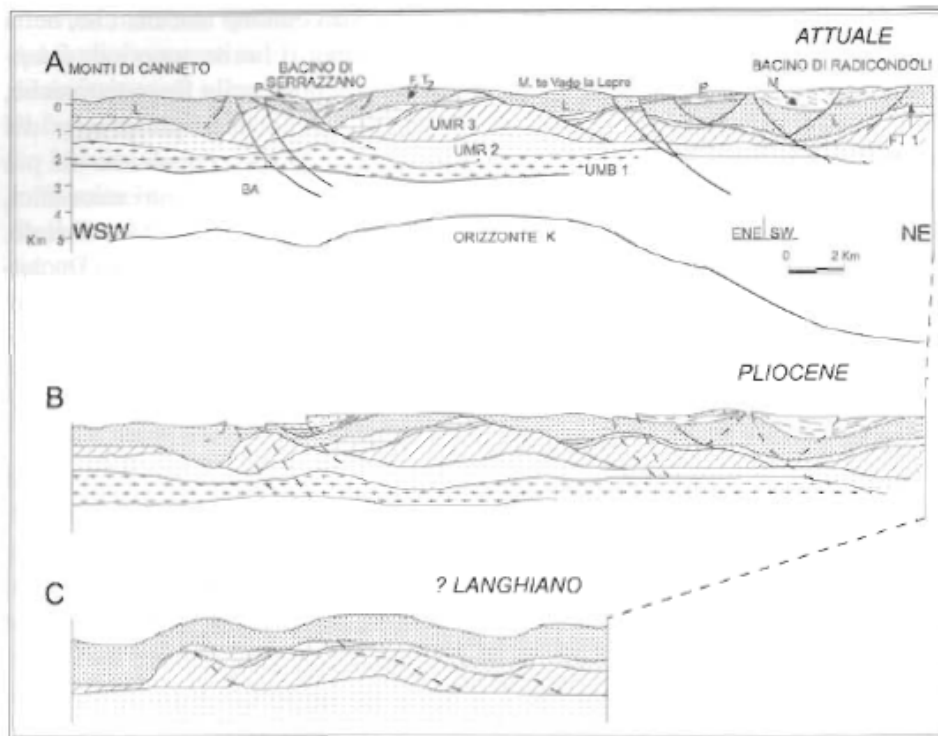


Fig. 8 - Caratteri evolutivi della tettonica distensiva dal Langhiano (Miocene medio) all'attuale. (Baldi et alii, 1994)

### 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 Metamorfoico" 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.

### 3.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

Il lotto in esame si colloca nella porzione di tracciato della nuova Autostrada Tirrenica compreso tra Ansedonia e Pescia Romana al confine con la Regione Lazio, ovvero nella parte più interna (rispetto al senso verso il quale si è propagato l'orogene) dell'Appennino Settentrionale, che registra nei suoi depositi la complessa storia tettonico - sedimentaria di questa regione.

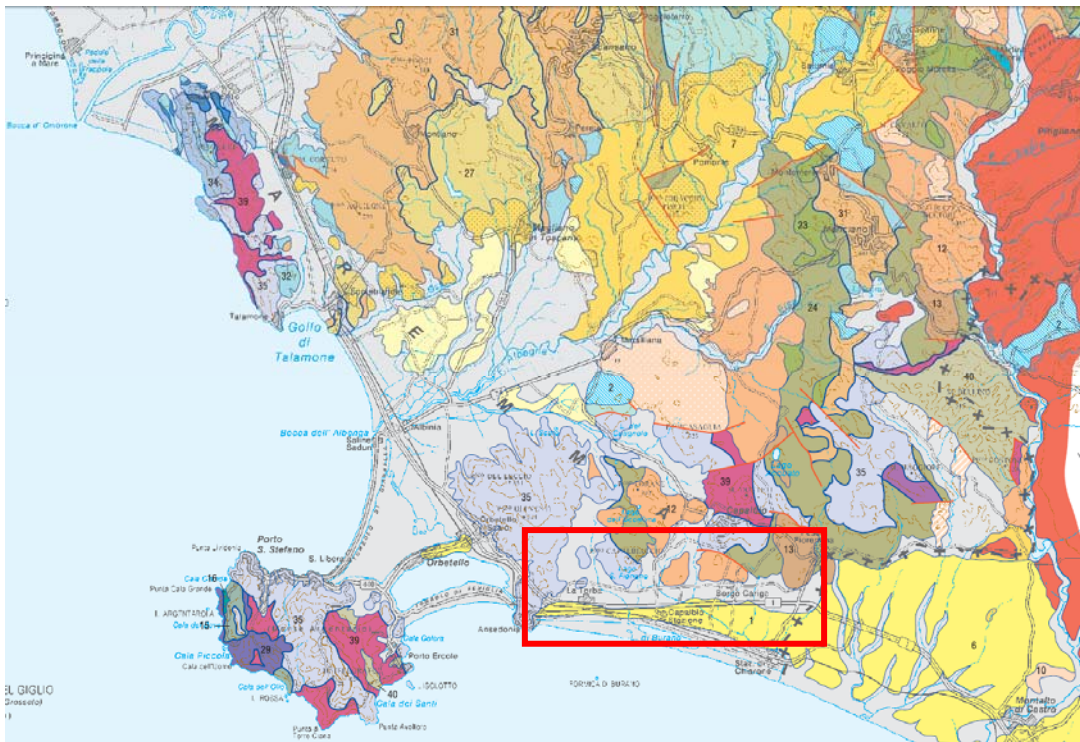
Le caratteristiche geologiche e morfologiche di quest'area riflettono in primo luogo gli intensi processi endogeni che hanno portato alla strutturazione della catena orogenetica appenninica sulla quale si sviluppa l'intero territorio toscano. Su questo principale *imprinting* strutturale e geodinamico, si sono sovrapposti fenomeni esogeni, dovuti ai cambiamenti climatici ed alle oscillazioni del livello marino, che hanno concorso a definirne le odierne caratteristiche fisiche del territorio. Nello specifico, il tracciato tra Grosseto ed il confine laziale 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.

Dal punto vista tettonico-sedimentario i rilievi montuosi presenti lungo la costa toscana da Grosseto al Lazio rappresentano porzioni crostali poste a livelli strutturali diversi che definiscono un complesso edificio tettonico a pieghe e sovrascorrimenti, risultante in larga parte dalla collisione continentale tra le placche litosferiche europea ed africana, in corso 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 dalle rocce affioranti sui rilievi dei Monti dell'Uccellina e del Promontorio dell'Argentario. Il Monte Argentario e i Monti dell'Uccellina sono costituiti dalla sovrapposizione di rocce sedimentarie ed in genere debolmente metamorfiche illustrata nei suoi dettagli tettonico-stratigrafici in vari studi geologici (per la geologia del M. Argentario Lazzarotto *et al.*, 1964, e per i Monti dell'Uccellina Montomoli *et al.*, 2009, Fig. 9). In questi nuclei affioranti di antiformali a dominante vergenza nord-orientale, ma complicate da una strutturazione polifasica, si succedono vari complessi tettonico-sedimentari. Questi includono frequentemente nei livelli strutturali più bassi, meta-sedimenti tardo paleozoici-inizio triassici e sedimenti clastici e carbonatico-evaporitici continentali e di mare ristretto triassici. Nell'insieme queste rocce individuano il basamento della placca continentale Africana, più specificatamente della sua propaggine settentrionale nota come Adria, e la parte inferiore della sua copertura

sedimentaria nota come Successione Toscana, sviluppata durante il ciclo orogenetico alpino (Vai, 2001).

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



*Fig. 8 - Stralcio della Carta Geologica della Toscana in scala 1:250.000 comprendente il tratto Ansedonia-Montalto di Castro con ubicazione dell'area in esame.*

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

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

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

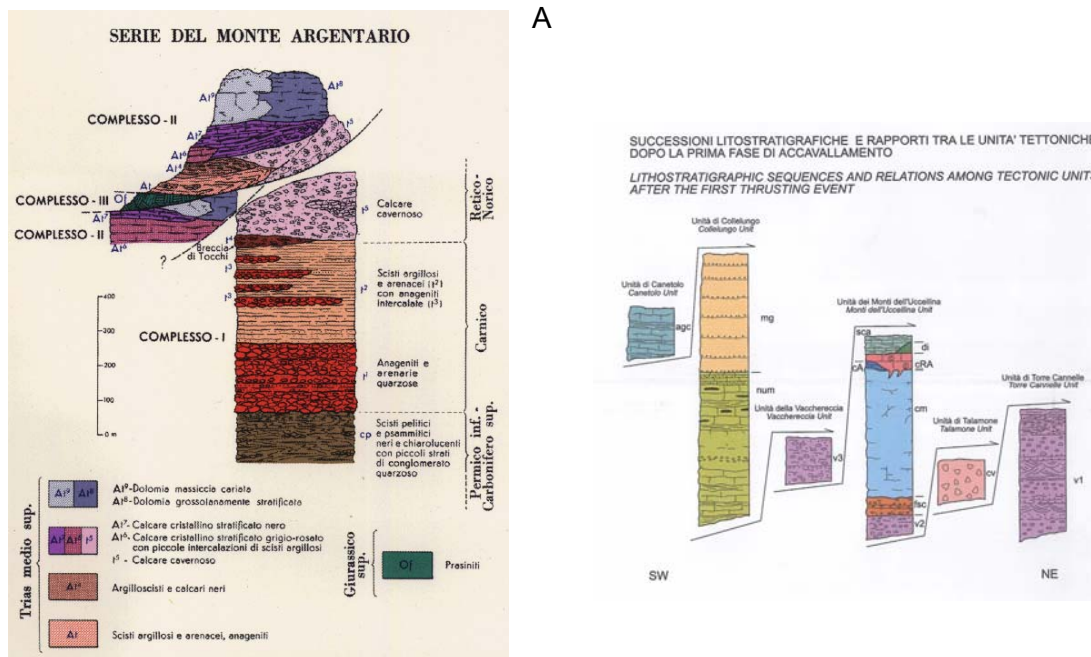


Fig.9- Schemi tettono-stratigrafici: sx) del Monte Argentario (Da Lazzarotto et al., 1964) e dei dx) Monti dell’Uccellina (da Montomoli et al., 2009)

Una caratteristica comune a questi rilievi è quindi rappresentata da un assetto stratigrafico fortemente condizionato dall’intensa deformazione crostale, che ha portato ad importanti elisioni delle originarie successioni formatesi nei vari domini. Tali elisioni, evidenziate da fasce di taglio attraverso le quali si sovrappongono rocce di età e domini diversi, si esprimono in modo molto variabile; infatti si passa dalla conservazione di tutta la Successione Toscana (antiforme dei Monti dell’Uccellina), alla sovrapposizione tettonica diretta di rocce delle Unità Liguridi su quelle carbonatico-evaporitiche (“Calcare Cavernoso”) ascrivibili alla parte inferiore della Successione Toscana. In particolare, si segnala che tali rapporti strutturali sono noti in letteratura con il termine di “Serie Ridotta” (Decandia et al., 1993) e che risultano evidenti soprattutto tra il Poggio del Leccio ed i Monti di Capalbio (si veda Dessau et al., 1972 per dettagli); serie ridotte sono comunque ricorrenti anche in molte altre aree della Toscana meridionale.

Tali rapporti esprimono intensi fenomeni di elisione stratigrafica variamente interpretati in termini di: 1) originaria non deposizione (Boccaletti *et al.*, 1969); 2) tettonica estensionale post-collisionale (Decandia *et al.*, 1993; Carmignani *et al.*, 1994; Elter & Sandrelli, 1995); 3) tettonica compressiva sin- o tardo-collisionale (Finetti *et al.*, 2001). A prescindere da ipotesi “estensionali” o “compressive” il ruolo della strutturazione tettonica, caratterizzata da scollamenti multipli favoriti da particolari orizzonti reologici (evaporiti, peliti), viene oramai ampiamente riconosciuto per l’origine di questi contatti di elisione stratigrafica.

Per concludere si segnala la presenza di un metamorfismo di basso grado (Anchizona, Epizona) che caratterizza alcune unità tettonico-sedimentarie, in particolare nei Monti dell’Uccellina (Montomoli *et al.*, 2009) viene concepito nell’ambito di un processo di locale sovraccarico tettonico, indotto dal progressivo impilamento di scaglie durante le fasi parossistiche della collisione continentale. Per il Monte Argentario questo metamorfismo di basso grado si sarebbe sovrainposto, con effetto retrogrado, ad un precedente metamorfismo di alta pressione. L’evidenza di questa fase metamorfica più antica viene segnalata dalle associazioni mineralogiche presenti nelle metapeliti triassiche della porzione inferiore della Successione Toscana affioranti nel settore occidentale dell’Argentario (Theye *et al.*, 1997).

#### Le aree di pianura alluvionale, costiera e delle colline

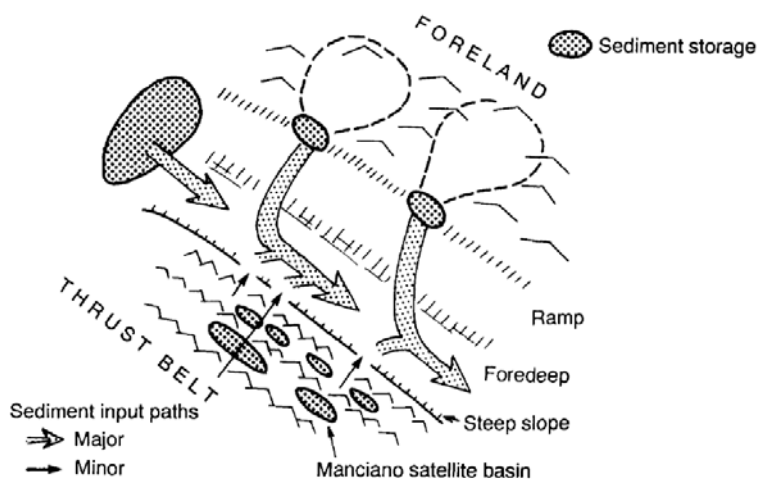
Queste porzioni di territorio, topograficamente più basse, esprimono fenomeni tettonici ed erosivi che a partire dal Miocene medio-superiore hanno interrotto la continuità della catena. In particolare si individuano tre principali successioni in gran parte terrigene, rispettivamente di età miocenica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

#### **Le successioni del Miocene medio-superiore**

I depositi miocenici sono presenti in affioramento nell’area di Capalbio-Pescia Fiorentina e nella zona medio-prossimale del bacino idrografico del Fiume Albegna. Tra Capalbio e Pescia Fiorentina alcuni rilievi collinari quali Poggio la Pesca, località Garavicchio, sono costituiti da arenarie fossilifere e bioturbate attribuite alla Formazione delle Arenarie di Manciano, già note come Arenarie a *Scutella* (Dessau *et al.* 1972; Fontana, 1980). La collocazione cronostratigrafica ed il significato paleogeografico e geodinamico di questi depositi sono tuttora poco definiti in maniera univoca. Queste arenarie, affioranti in piccoli lembi anche nei dintorni di Manciano e nel Viterbese, sono state riferite su base biostratigrafica al Langhiano-Serravalliano e attribuite ad ambienti marino-costieri (Fontana, 1980; Martini *et al.*, 1995). In particolare Martini *et al.*, (1995) propongono una ricostruzione paleoambientale, paleogeografica e geodinamica che riferisce i

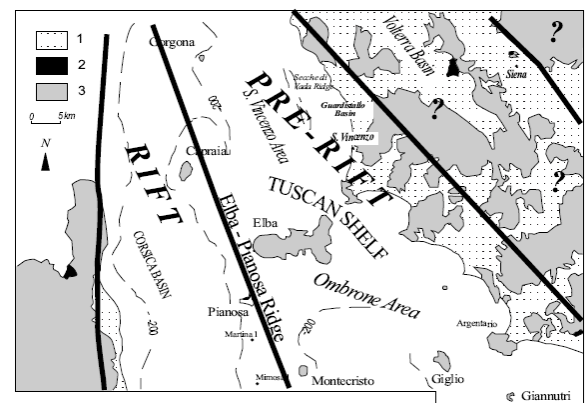
lembi di Arenarie di Manciano ad ambienti di spiaggia sommersa influenzata da correnti tidali in un contesto sin-collisionale caratterizzato da piccoli bacini satelliti adiacenti all’avanfossa nord-appenninica (Fig. 10A). Successivi studi condotti su affioramenti nel viterbese di arenarie attribuite su base litologica e paleontologica alle Arenarie di Manciano (Barbieri *et al.*, 2003) suggeriscono un età messiniana superiore per questi depositi.

Anche il significato geodinamico è stato rimesso in discussione: Pascucci *et al.* (1999) ridiscutono alla scala del Tirreno settentrionale-Toscana meridionale l’origine e sviluppo di vari bacini sedimentari, tra cui le originarie aree di sedimentazione della Arenarie di Manciano, attribuendoli ad un generale dominio post-collisionale in un area prevalentemente estensionale posta ad ovest dei fronti attivi della catena nord-appenninica (Fig. 10B).



A

A *late Burdigalian - early Serravalian*



B

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)

Nelle porzioni collinari retrostanti la fascia costiera tra il Chiarone e la Torba e nelle porzioni interne del bacino idrografico del Fiume Albegna, tra Magliano in Toscana e la Marsiliana, affiorano i depositi clastici continentali riferibili al Tortoniano superiore-Messiniano. Questi sedimenti costituiscono una successione comune a gran parte della Toscana meridionale che include una porzione inferiore nota come “Serie Lignifera” (Sestini, 1970) attribuibile al Tortoniano superiore-Messiniano inferiore ed una superiore riferibile al Messiniano superiore.



Nell'area del Fiume Albegna questi depositi sono stati oggetto di numerosi rilevamenti e studi geologici (Mancini, 1960; Bettelli *et al.*, 1980; Bonazzi *et al.*, 1980; 1992; Bettelli, 1985; Bossio *et al.*, 2003-2004, Fig.11).

Nell'insieme, questi depositi vengono riferiti ad ambienti fluvio-lacustri, caratterizzati dalla deposizione di peliti spesso organiche (aree lacustri) e di conglomerati ed arenarie (sistemi fluviali e deltizi).

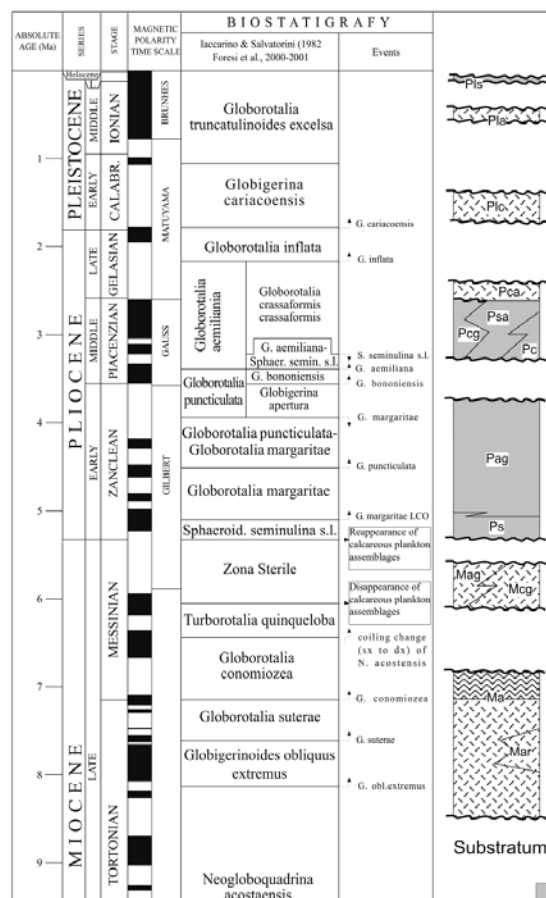


Fig. 11 - Schema stratigrafico della successione neogenico-quadernaria affiorante nella parte meridionale del bacino del Fiume Albegna (da Bossio *et al.*, 2003-2004)

La successione si chiude con calcari lacustri (“travertini”), affioranti in cave collocate poco a sud della Marsiliana; questi materiali vengono tentativamente attribuiti al Messiniano superiore (Bosi *et al.*, 1996; Bossio *et al.*, 2003-2004). Il significato tettonico-sedimentario di questa successione e di quella pliocenica soprastante, viene in genere spiegato in termini di sviluppo di bacini sedimentari post-collisionali nell’ambito di un generale regime di estensione crostale, complicato 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 laddove la

compressione crostale abbia giocato un ruolo importante sullo sviluppo di questi bacini (si veda ad esempio Boccaletti & Sani, 1998 per una discussione a scala regionale di questa ipotesi).

### ***La successione pliocenica***

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

### ***La successione quaternaria***

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

Una revisione della geologia del Quaternario presente in questo settore della costa toscana è stata analizzata da Mazzanti (1983), che considera i terrazzi ed i depositi costieri in funzione delle variazioni del livello marino avvenute tra il penultimo interglaciale (Tirreniano) e l'Olocene. Le sue conclusioni vengono confermate anche da Hearthy e Dai Pra (1987), che ricalibrano cronologicamente alcuni affioramenti dei depositi costieri presenti tra Talamone ed Il Chiarone.

Nisi *et al.* (2003) definiscono il tratto di costa compreso tra Grosseto ed il Chiarone (Fig. 12) come 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.

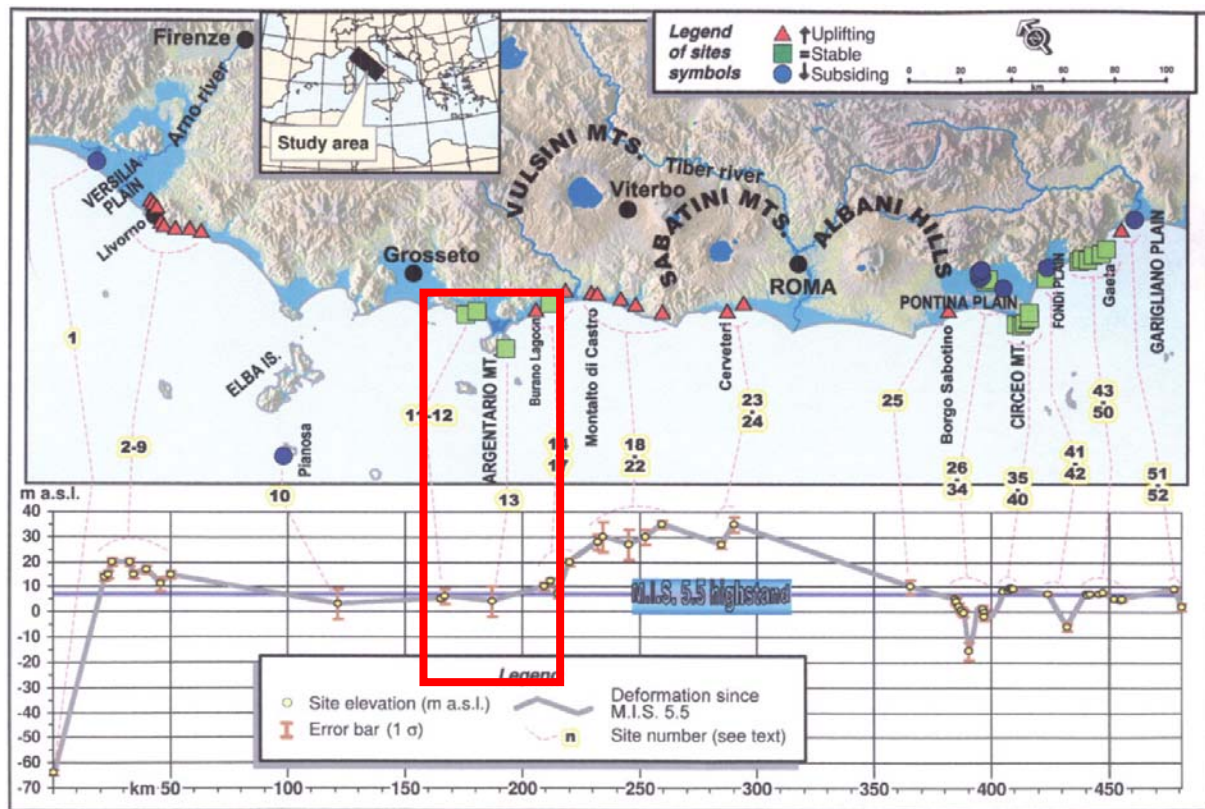
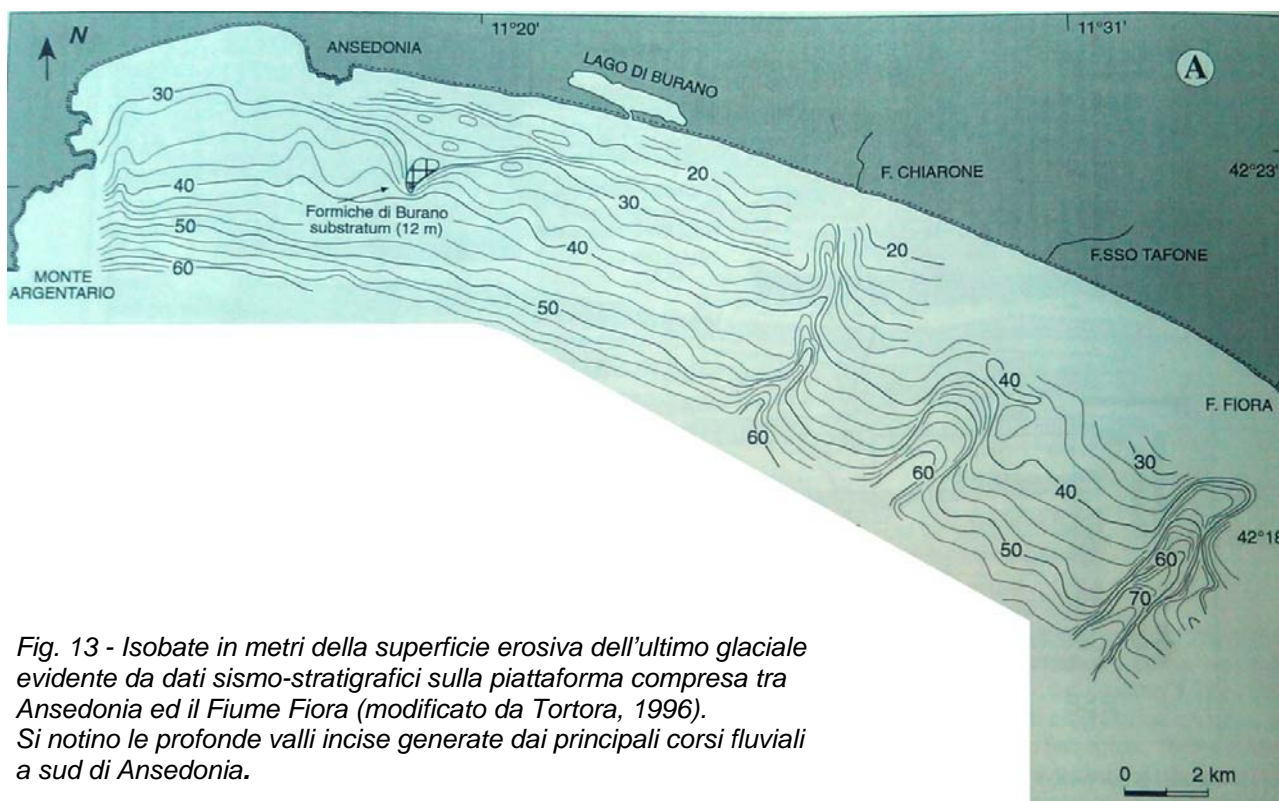


Fig. 12 - Quote dei depositi e forme costiere riferite al Tirreniano (Stage Isotopico 5.5) tra la Versilia ed il basso Lazio. Il riquadro indica l'area di interesse (da Nisi et al., 2003).

Le tracce dell'ultimo ciclo glacio-eustatico, successivo allo stazionamento alto del livello del mare avvenuto nel Tirreniano, sono evidenti anche offshore analizzando i dati stratigrafico-sismici pubblicati da Tortora (1996). In Fig. 13 viene messa in evidenza la superficie erosiva riscontrabile sulla piattaforma tra Ansedonia ed il Fiume Fiora, generata dall'incisione fluviale a seguito della caduta eustatica dell'ultimo glaciale.

Nella cartografia geologica esistente (Foglio 135 Orbetello carta geologica d'Italia, 1:100.000, sezioni dei fogli 343-353, Carta Geologica Toscana scala 1:10.000) viene segnalata la presenza, tra le località il Chiarone e La Torba, di depositi clastici riferibili ad una successione marino-costiera prevalentemente pelitico-sabbiosa di generica età pleistocenica, sulla quale si appoggiano ghiaie e sabbie arrossate alluvionali.

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



*Fig. 13 - Isobate in metri della superficie erosiva dell'ultimo glaciale evidente da dati sismo-stratigrafici sulla piattaforma compresa tra Ansedonia ed il Fiume Fiora (modificato da Tortora, 1996). Si notino le profonde valli incise generate dai principali corsi fluviali a sud di Ansedonia.*

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

Nell'ampia pianura alluvionale dei fiumi Albegna-Osa si rinviene la maggiore estensione di depositi Quaternari che sia presente nell'area di progetto. Qui e nelle colline a sud di Magliano vengono segnalati fino a 4 ordini di terrazzi fluviali generati dal Fiume Albegna durante il suo progressivo incassamento (Bossio *et al.*, 2003-2004).

Mancini (1960) descrive con grande dettaglio la distribuzione dei depositi costieri di questo settore, indicando le sabbie arrossate presenti tra l'Albegna e l'Osa come facenti parte di antichi sistemi di spiaggia e dunali, entrambi riferibili al livello marino del Tirreniano, che fu più alto dell'attuale. Nelle

parti più depresse della pianura dell'Albegna e specificatamente nei pressi della sua foce, i depositi superficiali vengono invece riferiti alle alluvioni recenti di questo corso.

Alcuni sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nei pressi di Albinia (argine in destra idrografica dell'Albegna), hanno consentito a Mazzini *et al.* (1999) di eseguire dettagliate analisi paleo ambientali; infatti l'analisi delle microfaune a ostracodi e foraminiferi eseguite su circa 51 metri di depositi in prevalenza fangosi e la datazione della sostanza organica con il metodo del radiocarbonio, hanno consentito di ricostruire il contesto e le variazioni paleoambientali di una laguna costiera impostatasi a partire dalla fine dell'ultima glaciazione in virtù della risalita eustatica post-glaciale.

Dati di letteratura riportano che la stretta depressione compresa tra i Monti dell'Uccellina ed il Monte Cornuto risulta essere stata sede di deposizione alluvionale ad opera di piccole conoidi alluvionali, come messo in evidenza da dati geomorfici e pedologici (Fig. 14), piuttosto che di un corso fluviale longitudinale come farebbe supporre l'andamento NO-SE della depressione. L'area di pianura fluviale che chiude la tratta a NO si riferisce alla propaggine meridionale della piana del Fiume Ombrone caratterizzato da deposizione fluviale prevalentemente sabbioso-fangosa, durante il tardo Quaternario ed in particolare nell'Olocene in relazione alla risalita eustatica post-glaciale (Biserni *et al.*, 2005).

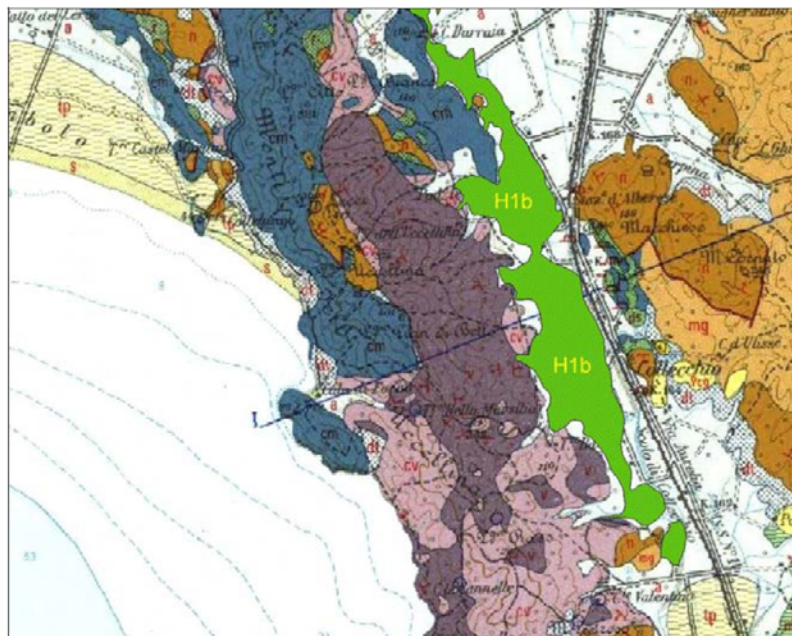


Fig. 14 -Distribuzione dei suoli su conoidi alluvionali (H1b) sovrimposta alla carta geologica del Servizio Geologico Italiano in scala 1:100.00 (da Arnoldus-Huyzendveld, 2005)

Durante l'Olocene ed in particolare nel corso delle ultime migliaia di anni, si sono definiti i caratteri morfologici dei litorali sabbiosi e delle adiacenti zone costiere.



Fig. 15- Evoluzione dei tomboli della Feniglia e della Giannella (da De Pippo, 2004)

Tra questi sono di particolare rilievo i tomboli sabbiosi della Giannella e della Feniglia che delimitano la laguna di Orbetello. Tali cordoni sabbiosi si sarebbero formati, probabilmente in epoche pre-etrusco/romane (Bartolini *et al.*, 1977), per effetto della rifrazione del moto ondoso causata dall'originaria isola del Monte Argentario e per la redistribuzione dei sedimenti del Fiume Albegna (Fig. 15) (De Pippo, 2004). Negli ultimi secoli i litorali sabbiosi tra Talamone e l'Argentario hanno subito variazioni morfologiche di breve durata, in larga parte causate da rapidi cambiamenti delle condizioni meteo-marine e dall'impatto antropico sull'apporto dei sedimenti alle coste (D'Alessandro *et al.*, 1979).

## **4 SISMICITA'**

### **4.1 SISMICITA' E NEOTETTONICA**

La zona in studio è posta in un settore appartenente all'insieme dei "Bacini Neogenici Tosco - Laziali" (Aguater, 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.

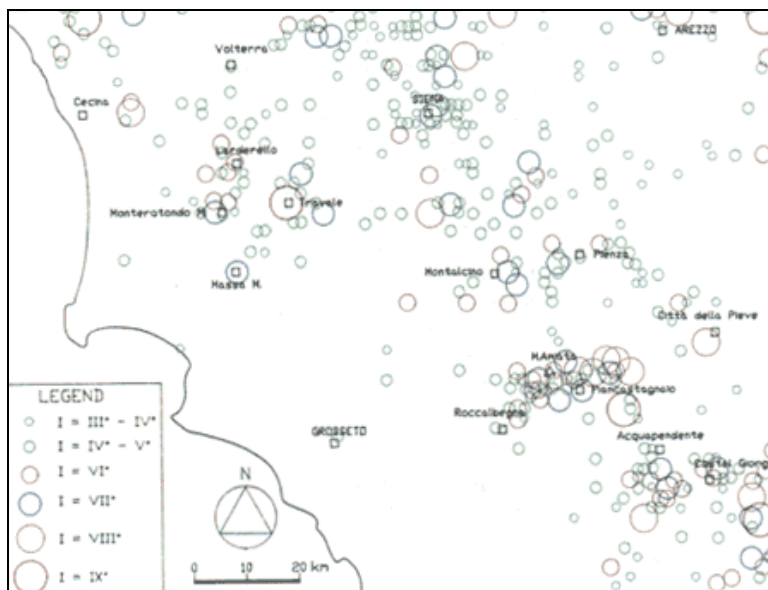


Fig. 16 - Sismicità storica delle località della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS). Rappresentazione schematica (ENEL, 1995)

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  $M_s$  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.

Un altro parametro fondamentale per la valutazione della sismicità dell'area è l'accelerazione massima al suolo (PGA, detta anche accelerazione orizzontale di picco).

I valori di PGA sono espressi in frazione di  $g$  (accelerazione di gravità) con la probabilità di superamento della soglia del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni).

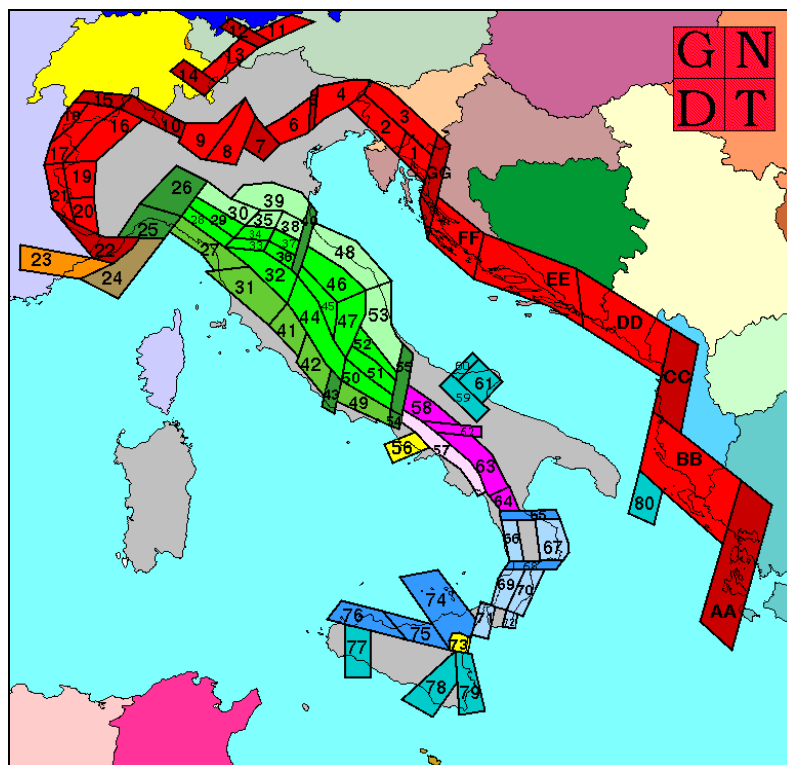


Fig. 17 - Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (GNDT 1996)

Studi più recenti confermano che l'area di studio è stata interessata da pochi sismi in tempi storici e con intensità massima  $\leq 6$ . In fig. 18 sono riportate le massime intensità macrosismiche nelle province toscane e la tabella relativa alla Provincia di Grosseto.

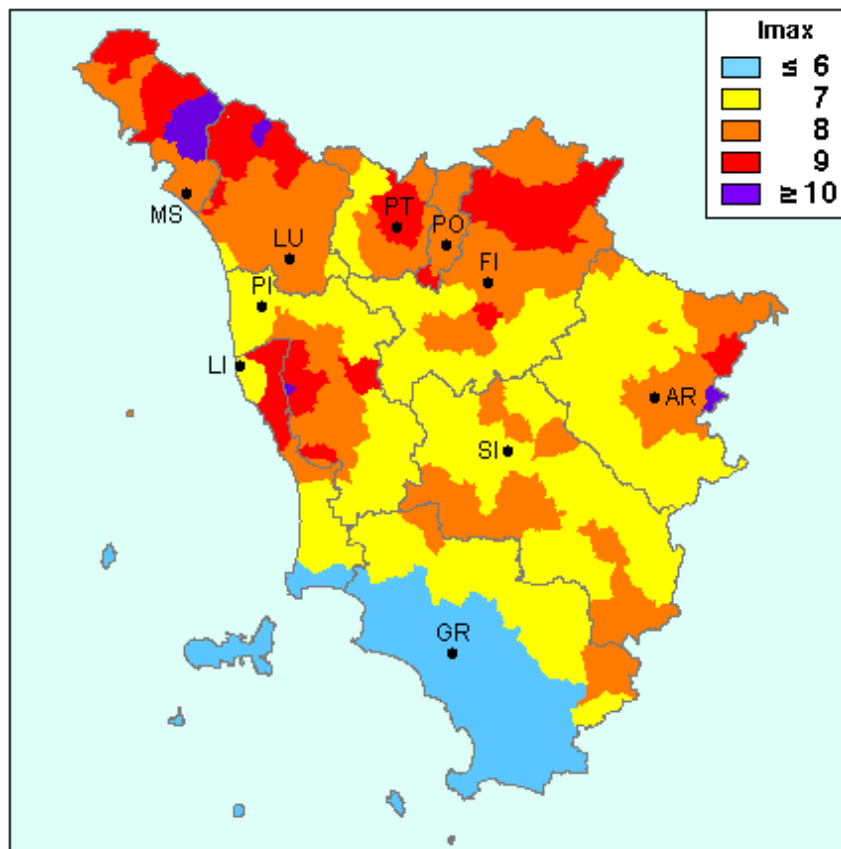


Fig. 18– Mappa delle massime intensità macrosismiche in Toscana (tratta da: [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE\\_PROVINCE/9.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/9.html) )

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
CAPALBIO	9	53	3	42.45404	11.41998	$\leq 6$
ORBETELLO	9	53	18	42.43738	11.21097	$\leq 6$

Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Grosseto

## 4.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI

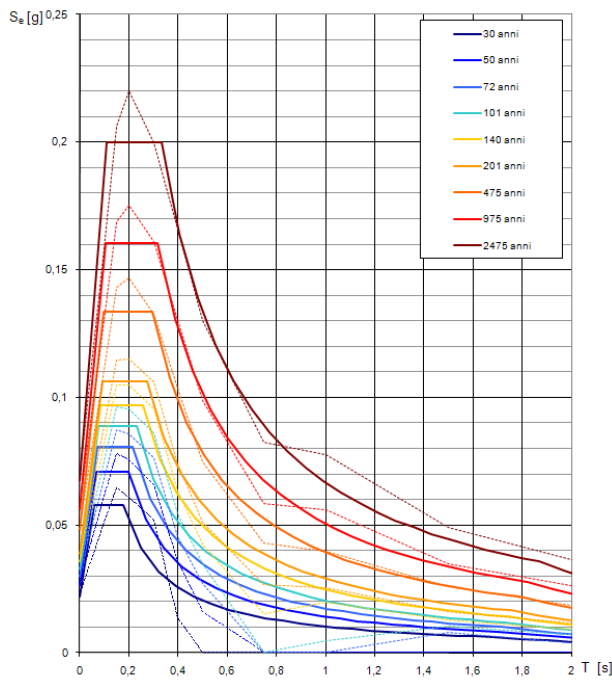
Il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione 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  $a_g$ ,  $F_c$ ,  $T_c$  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 Orbetello e Capalbio 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)

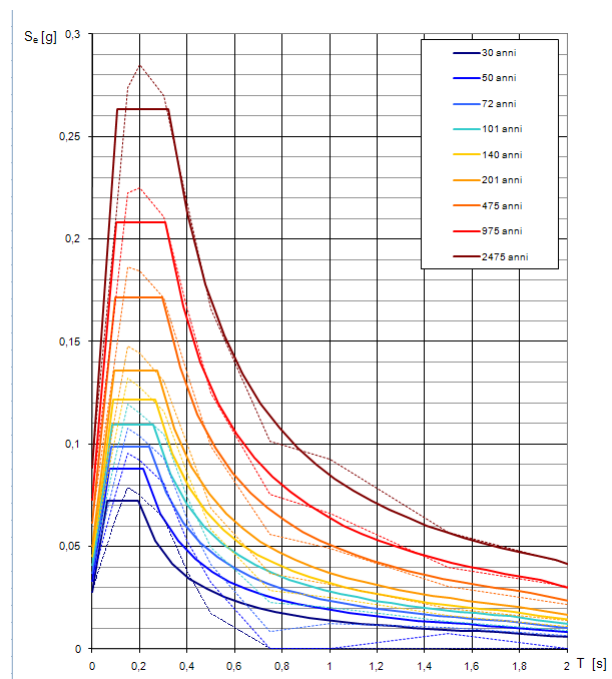
Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda alla relazione geotecnica di dettaglio.

**Comune di Orbetello**



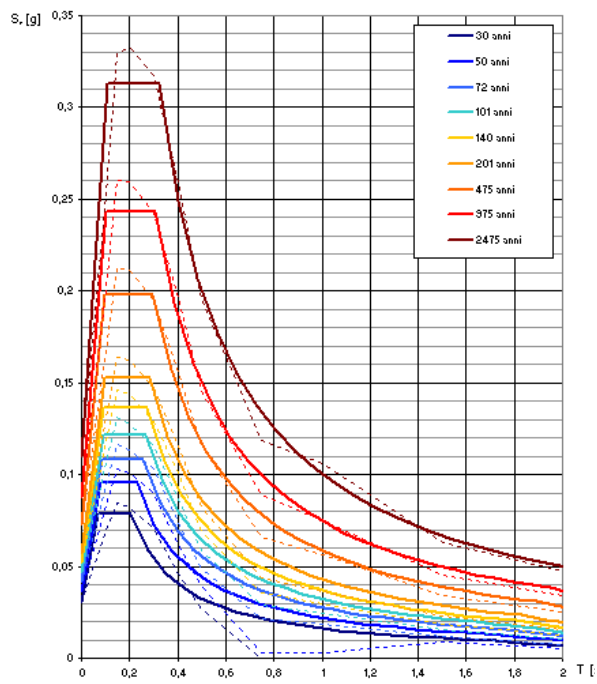
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,022	2,614	0,178
50	0,027	2,671	0,198
72	0,030	2,704	0,215
101	0,033	2,715	0,230
140	0,036	2,724	0,256
201	0,039	2,731	0,273
475	0,048	2,777	0,294
975	0,056	2,854	0,315
2475	0,068	2,961	0,333

**Comune di Capalbio**



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,028	2,608	0,195
50	0,033	2,649	0,217
72	0,037	2,669	0,239
101	0,041	2,679	0,257
140	0,045	2,695	0,265
201	0,050	2,724	0,274
475	0,062	2,788	0,296
975	0,073	2,867	0,307
2475	0,088	2,980	0,323

**Montalto di Castro**



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,031	2,577	0,206
50	0,037	2,610	0,231
72	0,041	2,612	0,256
101	0,047	2,616	0,265
140	0,052	2,640	0,271
201	0,057	2,661	0,281
475	0,073	2,711	0,296
975	0,088	2,769	0,307
2475	0,110	2,848	0,320

## 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 bibliografica esistente, sia l'interpretazione dei fotogrammi aerei eseguita mediante stereoscopio. L'indagine è stata completata da sopralluoghi finalizzati alla verifica in sito dei principali elementi riconosciuti.

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 di Orbetello e di Capalbio.

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).

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

I fotogrammi di entrambe le riprese risultano di buona qualità con assenza di coperture nuvolose, la copertura stereoscopica è completa su tutto il tracciato.

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

Volo EIRA - 1976	
Strisciata	Fotogrammi
104	196 ÷ 211
105/B	220 ÷ 233
Volo C.G.R. - 2010	
Strisciata	Fotogrammi
4	8084 ÷ 8097

## 5.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU

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

## 5.3 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA

Sulla base delle informazioni acquisite, è stato ricostruito il quadro geomorfologico dell'area di studio. Tutte le forme riconosciute sul territorio sono state riportate nella cartografia tematica geomorfologica (scala 1:5.000 elaborati GEO006-007) 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.

## 5.4 DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI.

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

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

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

- Forme 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, 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 di 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 gravitativi comprendono fenomeni di soliflusso, mentre le forme mappate sono orli di scarpate di degradazione inattive, scarpate morfologiche con orlo arrotondato e variazioni di inclinazione dei versanti.

Le forme carsiche individuate sono prevalentemente doline, ubicate nella formazione di Calcere Cavernoso. Un fenomeno di collasso (*sinkhole*) avvenuto nel substrato di Calcere Cavernoso viene segnalato nella zona del lago di S. Floriano.

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 sentieramento da pascolo.

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 approvati da ADBO e dagli elaborati dei Piai Strutturali dei Comuni di Capalbio ed Orbetello.

## **5.5 FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ**

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

Nel lotto in esame è stato identificato un unico caso afferente a questa tipologia di dissesto, ubicata nel settore sud occidentale e non interferente con il tracciato autostradale in progetto.

**Scarpata di degradazione** – Si tratta di brusche rotture di pendio, che possono essere determinate da vari fattori, tra cui anche semplici variazioni litologiche o particolari assetti strutturali degli ammassi rocciosi, queste scarpate possono però essere indicative anche di condizioni d'equilibrio precarie, ovvero di situazioni che potrebbero dar luogo a dissesti nel caso in cui si verificassero incauti interventi antropici, azioni sismiche o variazioni della capacità erosiva delle acque superficiali.

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

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

## 5.6 FORME FLUVIALI E DI VERSANTE DOVUTE ALLE ACQUE SUPERFICIALI

**Alveo abbandonato** – Nell'area in esame si individua una forma di questo tipo in sinistra del Torrente Chiarone a nord del tracciato dell'opera in progetto.

**Orlo di scarpata fluviale o torrentizia** – Si tratta di quelle scarpate che sono riconoscibili in prossimità dei corsi d'acqua, laddove l'antropizzazione non ha completamente mascherato le forme della dinamica fluviale.

**Vallecola con fondo concavo (U)** – In molti casi le vallecole presenti sui versanti meno acclivi hanno una forma concava a testimonianza dell'assenza di fenomeni erosivi di fondo e del raggiungimento di una sorta di equilibrio geomorfologico locale tra le pendenze del fondo e la capacità erosiva delle acque incanalate, talora queste morfologie sono determinate anche dalle pratiche colturali che tendono a mascherare, nel corso delle stagioni, eventuali solchi di erosione.

Da un confronto tra le foto aeree attuali e quelle degli anni '70 si è osservato che, in tutta l'area di indagine, queste forme di sostanziale equilibrio risultano notevolmente aumentate nel tempo a scapito dei fenomeni erosivi lineari.

**Erosione areale diffusa** – Sono quelle aree ove avviene un trasporto delle particelle detritiche lungo linee di massima pendenza ad opera del velo d'acqua che ricopre diffusamente il suolo, peraltro la superficie del terreno subisce un logoramento pressoché uniforme. Questo fenomeno è caratterizzato da un fittissimo reticolato di rivoli, i quali si distribuiscono sul pendio in maniera diversa nel tempo, i solchi generati, nelle zone coltivate, vengono facilmente eliminati dalle lavorazioni agrarie stagionali.

Queste forme sono presenti in piccoli areali, attualmente risultano meno estese rispetto agli anni '70.

**Erosione incanalata (rill)** – Nelle aree collinari, in particolare nella parte sud del tracciato in esame, si osserva la presenza di solchi erosivi tipo "rill" in alcune vallecole, localmente è possibile individuare, al termine del solco, dei depositi colluviali connessi proprio a questo tipo d'erosione, i solchi di neoformazione sono marcati dall'assenza di vegetazione.

**Area con drenaggio endoreico (N)** – Nelle aree collinari immediatamente retrostanti la costa, frequentemente si individuano delle aree, anche con estensione di alcuni ettari, con una forma a conca ed un drenaggio endoreico, che non permette il deflusso all'esterno della medesima depressione morfologica.

**Area con difficoltà di drenaggio (DD)** - Queste aree a differenza delle precedenti mostrano dei dislivelli minimi rispetto al contesto circostante; si individuano 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 ed acque della laguna, la copertura è coincidente con quella delle acque individuate nella CTR della Regione Toscana.

## 5.7 FORME CARSIICHE

**Dolina (D)** - La presenza dell'ammasso carbonatico, costituito dalla formazione del Calcere Cavernoso, determina una situazione favorevole allo sviluppo di doline.

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

Le cavità carsiche censite nella Banca Dati della Regione Toscana (Censimento delle cavità carsiche in collaborazione con la Federazione Speleologica Toscana) non ricadono nell'area di studio rappresentata nella planimetria geomorfologica.

**Sinkhole** – 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 venuta a creare una notevole attenzione relativamente a questo fenomeno ed è stata prodotta un'abbondante bibliografia al riguardo. In particolare gli Enti Pubblici hanno manifestato grande attenzione al fenomeno sia a scala locale, nelle zone dove gli eventi si sono manifestati (Comuni, Province e Regioni), sia a livello statale. In particolare l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A. ex APAT) ha avviato nel 2002 un “Progetto Sinkhole”, che oltre a fornire un censimento delle aree interessate dal fenomeno, si occupa dello studio dei meccanismi genetici volti alla definizione di linee guida che permettano una più corretta classificazione del fenomeno (<http://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 sua manifestazione è legata alla coesistenza di più fattori. In generale sono riconosciute tre classi genetiche principali: antropica, carsica e di *piping* profondo (Fig. 19).

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

- substrato calcareo profondo e fratturato (generalmente oltre i 100 m);
- spessore di alluvioni con forti variazioni granulometriche orizzontali e verticali ma generalmente con ampi livelli impermeabili o semipermeabili;
- scadenti caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di copertura;
- presenza di linee tettoniche importanti ed attive e di un reticolo di fratture che permettano un maggiore circolazione idrica con scambi tra terreni di copertura e substrato;
- presenza di acque mineralizzate;
- presenza di acque sotterranee confinate con flussi importanti e sorgenti con portate elevate;
- presenza di risalite di flussi gassosi che consentano, talora, la dissoluzione dei materiali di copertura e la risalita delle acque.

Tra le cause innescanti si possono citare:

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

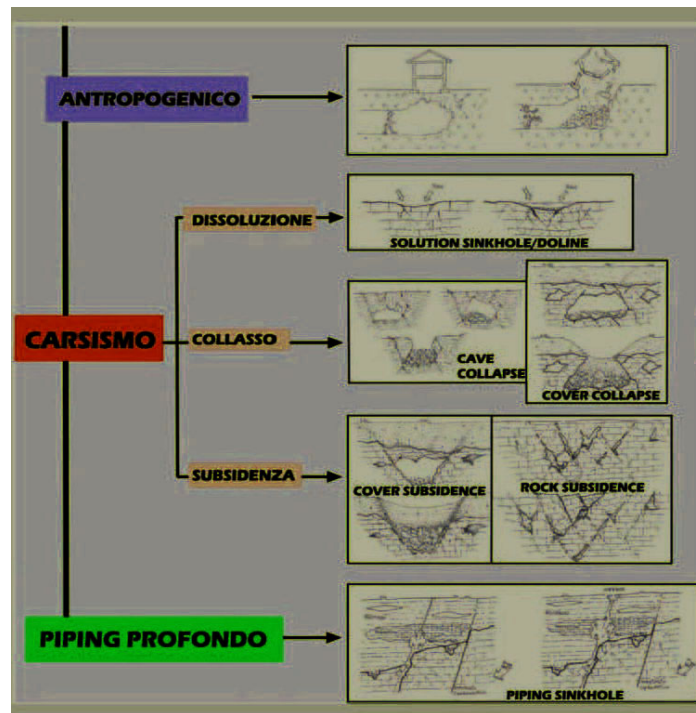


Fig. 19 – Classificazione dei fenomeni di sprofondamento (tratta da Nisio in: I.S.P.R.A. -2008)

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

Nella zona in esame è segnalata la presenza di fenomeni di *sinkhole* nell'area del Lago di San Floriano (Comune di Capalbio). In quest'area al di sotto di terreni sciolti olocenici e pleistocenici a profondità comprese tra 30 e 50 metri (Nisio in I.S.P.R.A., 2008) è presente il substrato carbonatico costituito da Calcere Cavernoso. L'origine del fenomeno è carsica e l'evento si è manifestato in epoche recenti. La rappresentazione più antica del lago è presente in una tavola del 1696. L'origine del nome deriva dalla presunta data del 4 agosto, dedicato a S.Floriano, in cui si sarebbe manifestato lo sprofondamento. La forma in origine circolare del lago è stata modificata da opere antropiche e dalla realizzazione di un immissario. La forma del *sinkhole* riportata in cartografia deriva dal Piano Strutturale del Comune di Scarlino.

## 5.8 FORME STRUTTURALI

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

## 5.9 FORME ANTROPICHE

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

**Cava inattiva** – Le aree di cava non più attive molto spesso sono state abbandonate senza che fossero state realizzate sistemazioni del profilo del terreno; il che ha reso queste vecchie cave assai evidenti, in quanto la crescita della vegetazione appare ancora scarsa a distanza di parecchio tempo dalla dismissione dei siti.

**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 sono state attuate lavorazioni volte al recupero ambientale dei siti, che hanno determinato la presenza di aree coltivate, costruzioni o altre opere antropiche.

**Cava inattiva rinaturalizzata (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 questo processo si svolge con maggior rapidità laddove vi sia minore dislivello e minore pendenza delle scarpate; queste forme, oramai obliterate dalla vegetazione, in qualche caso sono riconoscibili solo mediante un confronto con le foto aeree degli anni '70.

**Rilevato stradale (R) o ferroviario (F)** – Questi elementi sono stati desunti prevalentemente dalla fotointerpretazione, con l'ausilio della base topografica.

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

**Discarica (D)** – Nei pressi di Ansedonia (località Poggio Rina), è stata rilevata una discarica localizzata in un sito estrattivo abbandonato di cui in parte si conservano le tracce e che risultano ben visibile nelle foto aeree del 1976.

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

**Sbarramento artificiale (S)** – Si tratta di bacini ricavati mediante scavo, più raramente si osserva la presenza di uno sbarramento in terra che delimita l'invaso.

**Corso d'acqua artificiale (in trincea)** – In alcune aree dell'immediato entroterra risulta evidente la notevole difficoltà di drenaggio delle acque superficiali; in taluni casi, per permettere un miglior deflusso verso il mare delle acque provenienti da monte, sono state realizzate delle canalizzazioni mediante scavi realizzati attraverso modesti dislivelli naturali.

**Erosione per sentieramento da pascolo (PA)** – Nella zona più meridionale del lotto, in prossimità con il confine regionale tra Toscana e Lazio, si sono rilevati degli areali dove la presenza di allevamenti di bestiame all'aperto determina la presenza di forme erosive che marciano il transito del bestiame nelle varie zone di stazionamento e pascolo.

## **5.10 CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA**

L'area in esame si colloca all'interno del Bacino Idrografico del Fiume Ombrone e vi si individuano i bacini del Fosso del Chiarone (sottobacino del Canale della Bassa), del Fosso del Melone (con il sottobacino del Fosso Gabriellaccio, ubicato nella parte settentrionale all'altezza del Lago di S. Floriano) ed in piccola parte dei corsi minori tra il Melone ed il Chiarone (PS Comune di Capalbio). La configurazione idrografica dell'area di Capalbio è caratterizzata da un serie di rilievi collinari che degradano abbastanza bruscamente in una zona pianeggiante, posta circa all'altezza della strada Pedemontana, che si raccorda al litorale sabbioso. Le acque piovane che scendono dai rilievi possono assumere una dinamica veloce che può portare a tracimazioni in più settori della pianura.

Vengono pertanto riportati nella cartografia geomorfologica le aree che presentano elevato grado di pericolosità idraulica e che sono state segnalate dagli enti preposti alla difesa del suolo.

In particolare l'area studiata ricade nel territorio di competenza del Bacino Regionale del Fiume Ombrone (BRO), che si estende fino al confine regionale toscano. Sono state riportate in cartografia quelle aree attualmente classificate a pericolosità idraulica elevata e molto elevata

(P.I.E. e P.I.M.E.) tratte dal "Piano di Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" e successivi aggiornamenti approvati da BRO. Sono state inoltre mappate le aree a "Pericolosità idraulica elevata" (P.I.E.) e "Pericolosità idraulica molto elevata" (P.I.M.E.), ricavate dagli specifici elaborati geologici dei Piani Strutturali Comunali di Capalbio ed Orbetello.



## 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 Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, la cartografia geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000, nonché le carte geologiche allegate ai Piani Strutturali dei comuni di Orbetello e di Capalbio. Queste fonti hanno rappresentato la base d'inquadramento 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 sono stati rappresentati sul profilo geologico proiettandoli perpendicolarmente alla traccia del profilo (30 metri in destra rispetto all'asse di progetto), l'intercetta ricavata in questo modo è stata a sua volta proiettata perpendicolarmente all'asse del tracciato per determinarne la distanza progressiva rispetto all'origine di lotto. Lo stesso procedimento è stato adottato per l'intercetta dei limiti geologici e delle faglie. Nella descrizione del profilo geologico, riportata nell'apposito capitolo, si fa riferimento alle progressive del tracciato stradale così ricavate.

### Planimetria geologica

Per quanto concerne la geologia, sono state riportate in carta le unità stratigrafiche, distinguendo le aree in affioramento da quelle dove l'ammasso roccioso è sub – affiorante e cioè ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito. 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. La presenza di queste faglie, non riconoscibili direttamente in campagna, è stata ipotizzata per risolvere i rapporti laterali tra alcune unità stratigrafiche pleistoceniche riconoscibili nei sondaggi. Secondo la ricostruzione proposta l'età degli elementi strutturali è collocabile nel Pleistocene medio, in quanto risultano suturati dai depositi di età successiva. In planimetria si è scelto di indicare con la dicitura “faglia presunta” la posizione delle faglie presenti nei depositi dislocati e con “faglia sepolta (presunta)” l'andamento al di sotto dei depositi non interessati dalla tettonica.

Relativamente agli elementi morfologici antropici (argini e rilevati), l'estremo dettaglio del profilo topografico, derivato dai rilievi appositamente realizzati per l'opera in progetto, mostra una lieve discrepanza rispetto alla posizione dei medesimi elementi individuati sulla cartografia regionale (cartografia in scala 1:10.000 restituita in progetto in scala 1:5.000) che è stata utilizzata come base topografica per gli elaborati geologici. Nella realizzazione della sezione geologica si è ritenuto di privilegiare le posizioni individuate dalla traccia del profilo.

### Profili geologici

Lungo la sezione geologica sono state rappresentate schematicamente le colonne stratigrafiche dei sondaggi, al loro interno sono state rappresentate, mediante apposito retino, le litologie prevalenti che sono state riconosciute in base all'esame dei carotaggi. 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 è in gran parte originale e risponde alla necessità di definire i vari corpi geologici dal punto di vista delle loro caratteristiche di facies, della loro posizione stratigrafica e dei riferimenti temporali individuati. Alcuni limiti di incertezza nell'attribuzione dei depositi quaternari derivano tuttavia dall'impossibilità di eseguire verifiche cronostatigrafiche puntuali.

Nell'elaborazione della stratigrafia rappresentata nella carta di superficie e nel profilo di sottosuolo si è fatto riferimento ad alcune pubblicazioni (citati nelle descrizioni e presenti in bibliografia), che forniscono degli elementi di riferimento fondamentali per la ricostruzione cronostatigrafica dei depositi di questo settore della Toscana Meridionale.

L'alternanza degli episodi trasgressivo-regressivi (Fig. 20) determinati dalle variazioni del livello del mare porta alla sovrapposizione di ambienti simili durante il corso del tempo. La ricostruzione che viene presentata si basa pertanto sulla correlazione fisica delle stratigrafie dei singoli sondaggi. Nella suddivisione stratigrafica in ogni sondaggio i sedimenti sono stati descritti nei loro caratteri:

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

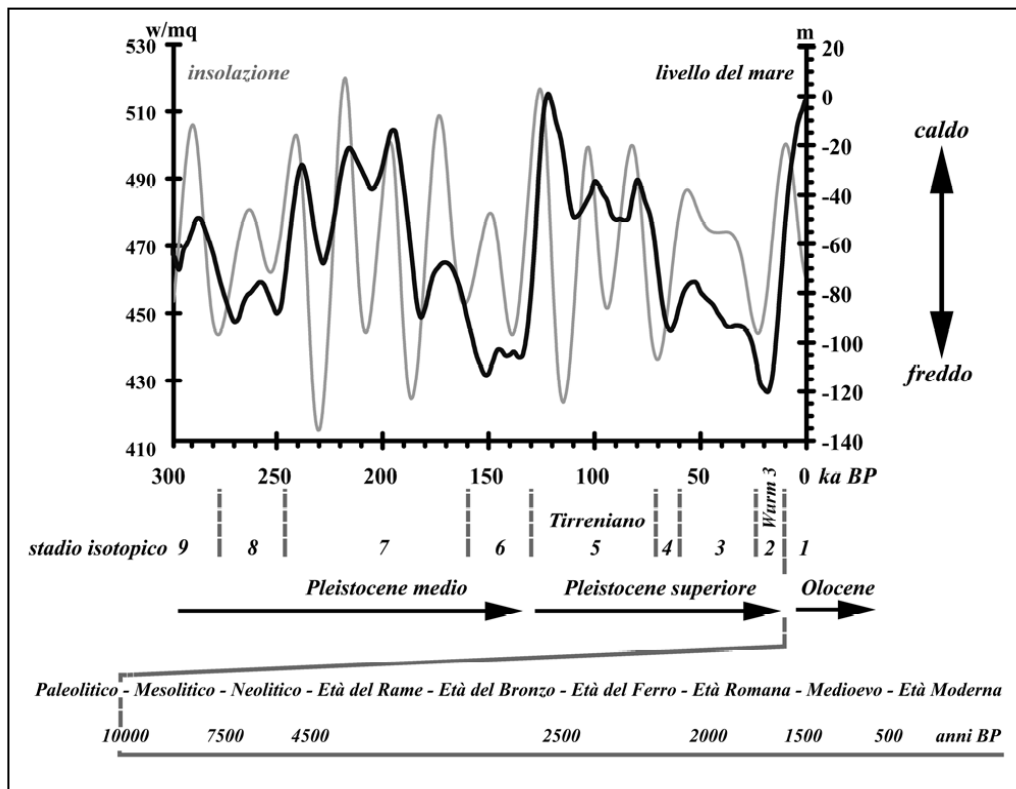


Fig. 20 – Variazioni del livello del mare e dell’insolazione dal Pleistocene medio all’Olocene (da: Silenzi et al. 2004)

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

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

## 7.1 COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ

### 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. Si tratta di depositi generalmente Olocenici, ma la loro collocazione in legenda tra le “Coperture senza attribuzione di età” viene fatta

per analogia a quanto riconosciuto in areali limitrofi. Infatti, in settori più settentrionali lungo il tracciato, nei pressi di rilievi costituiti da unità litoidi, sono stati riconosciuti in sondaggio terreni attribuibili a questo tipo di deposito che si presentano interdigitati in unità quaternarie di età diversa. Per semplicità di rappresentazione e per limitare la proliferazione di sigle si è deciso di indicare con **a4** tutti questi terreni, anche se di età diversa.

## **7.2 DEPOSITI QUATERNARI**

### **H1c - Depositi costieri di retro duna**

Limi, limi argillosi e sabbie fini limose talora con frustoli e torbe. Rappresentano ambienti costieri di retro duna e sono presenti nell'area di studio nel settore sud occidentale.

Nel settore nord, attorno al lago di S. Floriano, sono presenti depositi riferibili a questa unità che sono stati interpretati come probabili depositi di colmata. Età: Olocene

### **H1b - Depositi fluviali**

Limi sabbiosi, sabbie fini limose e livelli di limi argillosi talora con clasti arrotondati eterogenei millimetrici. Età: Olocene

### **Qt1e – Depositi eolici (dune)**

Sabbie da fini a medie, talora limose, talora con livelli parzialmente cementati (fig. 21). Sabbie debolmente limose.

Possibile presenza di qualche frammento di malacofauna.

Età: Pleistocene superiore



*Fig. 21 - Depositi Qt1e, sabbie con livelli cementati (depositi eolici).*

### **Qt1d – Depositi fluviali (LGM)**

Sabbie limose, limi sabbiosi, sabbie con ghiaia (clasti tondeggianti da millimetrici a centimetrici). Ghiaia con sabbia (in sondaggio). Presenza di calcinelli e concrezioni manganesifere nei suoli. Locale presenza di materiale biancastro di probabile natura vulcanoclastica. Nell'ambito della carta geologica è stato distinto il ciclo superiore, in quanto risulta separato da una debole scarpata morfologica (**Qt1d1**) rispetto ai depositi fluviali **Qt1d**. Età: Pleistocene superiore.

### **Qt1b – Depositi lagunari**

Prevalenza di depositi fini con granulometria variabile dai limi argillosi, alle argille limose, ai limi sabbiosi. Talora sono riconoscibili apporti fluviali in laguna, testimoniati dalla presenza di sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose (5/1 SD10). Presenza di malacofauna di ambiente salmastro.

Talora si rinvencono sabbie fini con malacofauna salmastra ed una locale presenza di materiale biancastro di probabile natura vulcanoclastica.

Si tratta di depositi lagunari riferibili al lasso temporale Tirreniano (?) - parte terminale del Pleistocene medio; l'attribuzione a questo intervallo è supportata da dati bibliografici (Nisi *et al.* - 2003) che nel settore tra fra Ansedonia ed il Chiarone riportano la presenza di sedimenti lagunari tirreniani a quote analoghe a quelle riscontrate nei sondaggi. E' significativo notare che questi autori indicano una transizione morfostrutturale del tratto costiero caratterizzata da regimi che vanno dalla stabilità, al sollevamento verso sud (fig.13); il che risulta del tutto compatibile con l'ipotesi fatta nel profilo geologico, ovvero di una dislocazione, se pur modesta, di questa unità per effetto di faglie che rialzano relativamente il settore orientale.

#### **Qt1a – Depositi fluvio-deltizi**

Sabbie fini e sabbie limose talora con presenza di livelli di argilla ed inclusi poligenici. (pre-tirreniani) (?). Età: Pleistocene medio

#### **Qt2 – Depositi marino-costieri**

Sabbie prevalenti da fini a medie a luoghi da debolmente cementate a cementate. Talora sono presenti livelli di limi sabbiosi ed argille limose e frammenti di malacofauna marina.

Si tratta di depositi comunque riconducibili ad ambienti marino-costieri. Età: Pleistocene medio - inferiore

#### **Qt3 – Depositi costieri e palustri**

Nel sondaggio 5/1-SD25, al di sotto di Qt2, sono presenti un primo livello plurimetrico di argille limose grigio scure e nerastre, passanti verso il basso a sabbie limose fini da grigio chiare a screziature ocracee. Si tratta di depositi presumibilmente riconducibili ad ambienti costieri e palustri. Età: Pleistocene inferiore ?

### **7.3 DEPOSITI NEOGENICI**

Nella parte centrale e finale del tracciato sono stati riconosciuti in sondaggio terreni che per caratteristiche granulometriche, colori e cementazione sono attribuibili ai depositi Neogenici. L'assenza di datazioni e di affioramenti nell'areale studiato e nelle sue immediate adiacenze ha però reso difficoltosa la loro attribuzione formazionale; si è comunque ritenuto opportuno

identificare questi terreni con specifiche sigle che ne suggeriscano una immediata correlazione con le unità formalizzate in letteratura.

**MIO1 - Depositi miocenici prevalentemente ghiaioso-sabbiosi-conglomeratici (cfr. Conglomerati di Montebamboli)**

Ghiaie sabbiose e sabbie con ghiaie dai colori rossastri e rosso violacei. Le ghiaie sono eterogenee ed eterometriche. Questo deposito è riferibile ai Conglomerati di Montebamboli, che è una formazione presente in numerosi areali della Toscana meridionale, depositasi al termine della crisi di salinità messiniana e caratterizzata da ghiaie e conglomerati debolmente cementati. Riconosciuto solo in sondaggio. Età: Messiniano terminale

**MIO2 – Depositi miocenici prevalentemente argilloso-marnosi**

Argilla da molto consistente a dura (semilitificata) nella quale si riconosce, a tratti, una sorta di stratificazione sottilissima (Fig. 22); i colori sono grigi e rossastri. Questo litotipo è stato riconosciuto solo in sondaggio. Età: Messiniano superiore



*Fig 22 - Sondaggio 5/1 SD16 - Argilla litoide con stratificazione (MIO2)*



### **MIO3 – Depositi miocenici prevalentemente argilloso-marnosi**

Marna argillosa ed argilla dura (semilitificata), nella quale si riconoscono frequenti clasti pelitici eterometrici da tondeggianti ad angolari (Fig.23). Deposito di "Mud flow" Riconosciuto solo in sondaggio. Età: Miocene (?)



*Fig 23 - Sondaggio 5/1 SD22 – Aspetto (MIO3)*

### **MAN – Arenarie di Manciano**

Arenarie bioclastiche a cemento carbonatico di colore grigio; talora sono presenti livelli di conglomerati eterogenei ed eterometrici. Nell'area in esame affiorano marginalmente sul bordo nord orientale Età: Langhiano - Tortonianiano inferiore

## **7.4 UNITÀ TETTONICHE LIGURI**

Nella parte finale del lotto, al di sotto dei depositi quaternari, sono stati riconosciuti in sondaggio terreni a prevalenza argillitica, con trovanti calcarei attribuiti alle Unità Tettoniche Liguri. Non disponendo di datazioni o di ulteriori riferimenti relativi alla posizione strutturale di questi terreni, si è ritenuto di adottare l'interpretazione proposta nel lotto adiacente.

### **Unità della Pietraforte - (Cretaceo)**

In profilo è presente solo l'unità inferiore a prevalenza argillitica.

#### **ASV– Argilliti Varicolori Mangesifere**

Sono costituite da argilliti scure foliate di colore variabile dal verde al nero, con intercalazioni di trovanti e di livelli di calcari marnosi grigi, localmente anche di marne (sondaggi C-S15 - 6b-SD24 - 6b-SD22 - 6b-SD21bis - 6b-SD21). Età: Cretaceo inferiore – superiore.

## **7.5 UNITÀ TETTONICHE TOSCANE**

### **Falda Toscana**

La serie sedimentaria della Falda Toscana comprende formazioni del Triassico, del Giurassico, del Cretaceo, dell'Oligocene. Nel tratto in esame affiora la sola formazione del Calcere Cavernoso.

#### **CV – Calcere Cavernoso**

E' costituito da calcari e calcari dolomitici, brecce ad elementi calcarei e dolomitici, calcari a "cellette". Si presenta talora intensamente fratturato; inoltre si segnala che sono possibili intercalazioni di gesso.

La cavernosità dei livelli dolomitici è attribuita all'idratazione dei livelli anidritici, che originariamente si alternavano alla dolomia, o per meglio dire la causa della cavernosità è da ricercarsi nella dissoluzione della maggior parte dei cristalli di gesso che derivarono dal fenomeno d'idratazione.

Nell'ambito del tratto indagato, il Calcere Cavernoso affiora nel settore occidentale, ma non viene intercettato dal profilo. Età: Trias superiore (Norico)

## 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

La posizione delle faglie riportate in profilo deve tener conto del margine di incertezza correlato al fatto che tali strutture non sono affioranti, ma sepolte sotto i depositi Qt1d, la loro presenza è stata pertanto ipotizzata per spiegare le dislocazioni dei depositi lagunari tirreniani riconosciute nei sondaggi, che comunque sono posti a distanza di diverse centinaia di metri gli uni dagli altri.

I principali elementi geologici riconosciuti in sondaggio ed esplicitati in profilo mostrano, nella parte centro-orientale del profilo, un settore strutturalmente rialzato, caratterizzato da una antiforme che interessa i depositi Neogenici e le Unità Liguri del substrato (MIO1, MIO2, MIO3 , MIO4 e la Formazione delle Argilliti Varicolori Manganesifere - ASV).

Le unità neogeniche sono caratterizzate da:

- depositi conglomeratico-ghiaiosi (tipo Conglomerati di Montebamboli (*Auctt.*) di ambiente continentale collocabili temporalmente nella parte finale del Messiniano);
- Terreni argilloso – marnosi foliati (marne tipo lago-mare del Messiniano superiore);
- Depositi di mud flow (MIO3) legati alla probabile vicinanza di versanti acclivi che scaricavano;
- Arenarie molassiche (MIO4) per le quali si potrebbe ipotizzare trattarsi di depositi marginali delle Arenarie di Manciano;

Al di sopra di questi terreni si sviluppa una successione quaternaria caratterizzata da depositi marino-costieri pre-olocenici, costituiti da depositi sabbiosi e sabbioso limosi (Qt2) con frequente malacofauna, sui quali si depositano peliti lagunari a Cerastoderma e malacofauna salmastra. Il tutto a quote superiori rispetto al livello del mare attuale. Facendo riferimento alla letteratura esistente la posizione di queste lagune è riferibile al Tirreniano.

Al di sopra delle peliti lagunari si riconoscono superfici erosive ad alto rilievo morfologico e valli incise riempite con depositi alluvionali ad organizzazione ciclica (elementi relativamente più grossolani passanti a peliti talora con sviluppo di paleosuoli).

Solo localmente, al di sotto delle successioni di spiaggia Qt2, sono riconoscibili ambienti fluviali (Qt1a) e ambienti costiero-lagunari (Qt3).

Spostandosi verso Ansedonia la posizione delle lagune riferite al Tirreniano si sviluppa a quote diverse fin sotto il livello del mare, suggerendo la possibile presenza di dislocazioni tettoniche di modesta entità e di età Pleistocenica media, che ribassano il settore occidentale.

Sui depositi delle lagune tirreniane, verso oriente, si depositano in discordanza con contatto erosivo depositi eolici di duna.

Il tracciato, nella sua parte iniziale, si sviluppa nell'unità Qt1e (depositi di duna), che è caratterizzata da sabbie fini e medie, spesso limose con livelli cementati da centimetrici e decimetrici e rari frammenti rotti di malacofauna. Data la natura erosiva del contatto basale lo spessore è variabile fino a superare i 20 metri. Fino a circa **progr. 1+963** l'unità sottostante è costituita da sabbie fini e sabbie limose alternate a livelli di limi sabbiosi o argillosi con frequenti resti fossiliferi appartenenti a Qt2 (ambienti di spiaggia). Da **progr. 1+963** i depositi di Qt1e si impostano su terreni prevalentemente fini dell'unità Qt1b, che risulta essere di ambiente lagunare e di età tirreniana; si tratta di depositi costituiti da limi argillosi, argille limose con frequenti frammenti di gusci di malacofauna salmastra (prevalentemente Cerastoderma), colori prevalentemente grigi e talora nerastri.

A partire dalla **progr. 3+100**, al di sopra dei depositi lagunari Qt1b, sono presenti depositi fluviali prevalentemente fini, di età pleistocenica (Qt1d) ed olocenica (H1b), questi ultimi mappati nei pressi dei fossi principali intercettati dal tracciato. I depositi di questa unità sono costituiti da limi argillosi, argille limose con locali clasti per lo più minuti, passanti verso il basso a sabbie medie e fini limose, con limo ed argillose. I colori sono da marroni a marrone brunastri talora con zonature rosicce. Lo spessore di questi depositi nei sondaggi è stimato di 5-8 metri (5/1-SD10bis e 5/1-SD14) anche se a luoghi si ritiene possa risultare inferiore. Nel tratto compreso tra la **progr. 3+334** e la progressiva **3+667** il tracciato si sviluppa nei depositi di duna Qt1e.

Nel settore compreso tra **progr. 5+340 e 5+575** il sondaggio 5/1 SD14 intercetta a fondo foro un deposito di sabbie con abbondanti ghiaie attribuite all'unità MIO1 in analogia a quanto riconosciuto con maggiore chiarezza nei settori più orientali del profilo.

Da circa **progr.5+838** fino a **progr. 8+413** il tracciato si sviluppa direttamente sui depositi lagunari Qt1b, spessi circa una quindicina di metri, solo brevemente interrotti da depositi fluviali olocenici attorno ai fossi minori attraversati. All'altezza del sondaggio 5/1 SD15 si registra un episodio fluviale (Qt1a) costituito da sabbia fine argillosa e sabbia medio fine con argilla ghiaiosa tra l'unità Qt1b e la sottostante Qt2. La sua estensione laterale in questo tratto è ipotetica.

Da **progr. 7+050** circa si ipotizza la presenza di un substrato miocenico MIO2, riconosciuto nel sondaggio 5/1SD16, costituito da argilla dura (semilitificata) con locale stratificazione millimetrica di colore grigio e rosato-rossastro, talora con livelli debolmente sabbiosi. Si ipotizza che lateralmente questo deposito si trovi in contatto con l'unità MIO1, che è stata rinvenuta più ad est e che risulta sovrastante dal punto di vista stratigrafico.

Alla **progr. 8+413** circa, si intercetta una faglia con blanda dislocazione di poco superiore ai 10 metri, che ha interessato anche i depositi lagunari tirreniani (Qt1b) che risultano rialzati verso est.

Da **progr. 8+413** a **8+858** il tracciato prosegue ancora su depositi lagunari Qt1b spessi 6-7 metri circa, sovrastanti Qt2 e talora ricoperti da depositi fluviali olocenici (H1b).

Da **progr. 8+858** a **progr. 9+210**, da **progr. 9+334** a **progr. 9+580** e da **progr. 9+592** a **progr. 9+841**, da **progr. 9+888** a **progr. 10+532** i depositi affioranti sono Qt1d e Qt1d1 e sovrastano prevalentemente Qt1b, che affiora solo nelle parti più basse morfologicamente, come ben espresso in profilo.

Da **progr. 10+126**, al di sotto di Qt1b si ipotizza la presenza di depositi fluviali dell'unità Qt1a.

A **progr. 10+460** circa il tracciato intercetta una faglia sepolta al di sotto dei depositi fluviali Qt1d, analogamente all'altra struttura tettonica incontrata in precedenza, la faglia disloca i depositi tirreniani, rialzandone il settore orientale. Nel tratto compreso fra le due faglie (**progr 8+413** – **progr. 10+460**), i sondaggi geognostici hanno permesso di riconoscere un substrato miocenico costituito in gran parte da ghiaie in matrice argillosa ed argilloso-sabbiosa (MIO1) (5/1 SD18, 5/1 SD19, 5/1SD21) e da argilla dura semilitificata (MIO2) (5/1SD20, B1-S10).

Da **progr. 10+530** a **progr. 10+741** il tracciato si sviluppa poggiando direttamente sui depositi Qt1a di ambiente fluviale, costituiti da alternanze di argille limose e limi sabbiosi, sabbie limose da fini e molto fini a medie, talora con settori debolmente ghiaiosi (sondaggi 5/1 SD22 e 5/1 SD23).

Da **progr. 10+741** a **progr. 11+120** si intercettano di nuovo depositi fluviali Qt1d1 che poggiano prima sui terreni fluviali pre-tirreniani Qt1a e a partire da **progr. 10+835** sui depositi lagunari

tirreniani Qt1b. Questi ultimi affiorano in un settore morfologicamente più depresso fino a **progr. 11+216**. In tutto questo tratto al di sotto dei depositi quaternari i sondaggi permettono il riconoscimento di depositi neogenici costituiti da MIO3 (5/1 SD22) e MIO4 (5/1SD23).

Da **progr. 11+216** a fine tracciato i terreni attraversati appartengono ai cicli fluviali Qt1d e Qt1d1 (Qt1d1 è il ciclo superiore, mappato quando riconosciuto morfologicamente e in sondaggio). Solo tra **progr. 13+764** e **progr. 13+867** si intercettano depositi fluviali olocenici (H1b) nei pressi del Fosso Chiarone.

Da **progr. 11+310 circa** i depositi fluviali riempiono una notevole incisione fluviale generatasi a seguito della caduta eustatica dell'ultimo glaciale in buon accordo con quanto mostrato in fig.13 (Tortora 2006). Questi depositi si sovrappongono prima sul substrato miocenico dell'unità arenacea MIO4 e poi, procedendo verso est, sui depositi costieri e lagunari dell'unità Qt3, sui terreni sabbiosi dell'unità Qt2, sui depositi pre-tirreniani dell'unità Qt1a e su quelli lagunari tirreniani dell'unità Qt1b (questi ultimi presenti tra **progr. 12+680** e **progr. 13+263** e tra **progr. 14+243** e fine tracciato).

Da **progr. 12+690** a fine tracciato il substrato delle unità quaternarie è costituito da terreni appartenenti alle unità Liguri in particolare da Argilliti Varicolori Manganesifere (ASV), caratterizzate da prevalenti argilliti con livelli e trovanti calcarei. Questa formazione, riconosciuta solo in sondaggio, presenta una porzione alterata spesso ridotta ad argilla limosa di spessore attorno ai due metri.

## 8.2 GEOMORFOLOGIA

I principali elementi geomorfologici di interesse per la realizzazione dell'opera, rappresentati nella relativa cartografia allegata, vengono di seguito descritti e riferiti alle progressive dell'asse del tracciato. Gli elementi di maggiore impatto riguardano gli aspetti idraulici legati all'attraversamento dei corsi d'acqua in aree con morfologie spesso sfavorevoli per il deflusso ed a rischio di allagamento.

L'asse del tracciato interseca tra **progr. 0+100** e **progr. 0+270** una prima area a pericolosità elevata (P.I.E.) seguito da una zona a pericolosità molto elevata (P.I.ME.) tra **progr. 1+766** e **progr. 2+054**.

Tra **progr. 3+110** e **progr. 3+332** l'asse intercetta un' area a pericolosità elevata (P.I.E.) seguita da una zona a pericolosità molto elevata (P.I.M.E.) tra **progr. 3+650** e **progr. 4+860** nell'attraversamento dei fossi Melone e San Floriano.

Procedendo verso est si incontrano tra le **progressive 6+471 – 8+220** e **8+603 - 8+870** due aree classificate P.I.M.E. legate alla presenza del Botro dei Ceppi-Canale della Bassa e del Fosso della Carige, nella zona di Ponte Tre Occhi (come anche segnalato durante colloqui presso il Consorzio di Bonifica Osa-Albegna).

All'altezza della **progr. 9+589** il tracciato attraversa un fosso affluente in sinistra del Canale della Bassa segnalato a P.I.E. fino alla **progr. 9+658**.

Ulteriori zone a pericolosità molto elevata sono segnalate attorno ai fossi Madonna Nicola e Pelagone ed intercettano il tracciato rispettivamente tra **le progressive 10+342 – 10+969** e **progressive 11+682 – 12+330**.

L'ultima area classificata a P.I.M.E. viene incontrata dal tracciato tra **progr. 13+517** e **progr. 13+830** nell'attraversamento del fosso del Chiarone.

Si segnala infine che, sulla base di colloqui avvenuti presso il Consorzio di Bonifica Osa-Albegna, in cui ricade il territorio esaminato, l'area dell'attuale svincolo di Pescia Fiorentina, sito all'altezza del Palazzo del Chiarone, in caso di forti e concentrate precipitazioni può presentare elementi di criticità per difficoltà di smaltimento delle acque.

## 9 BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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