



Società Autostrada Tirrenica p.A.

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

AUTOSTRADA (A12) : ROSIGNANO – CIVITAVECCHIA

LOTTO 4

TRATTO: GROSSETO SUD – FONTEBLANDA

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

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

| | | | | | | | |
|------------------------------|--|-----------------|---------|-------------------------------|----------------|------------------|--|
| RIFERIMENTO ELABORATO | | | | DATA: FEBBRAIO 2011 | | REVISIONE | |
| — | | DIRETTORIO | | FILE | | n. | |
| | | codice commessa | N.Prog. | unita' | n. progressivo | data | |
| — | | 12121401 | | GE0001 | — | | |
| | | | | | | SCALA: | |

| | | | |
|---|--|---|-----------------------------------|
|  ingegneria europea | | 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 | |

| | | |
|--|---|--|
| RESPONSABILE DI COMMESSA Ing. Giambattista Brancaccio Ord. Ingg. Roma N. 15710 COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO | VISTO DEL COMMITTENTE  | VISTO DEL CONCEDENTE  |
|--|---|--|

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE | 5 |
| 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 |
| 3 | GEOLOGIA | 10 |
| 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 compressiva pre e sin - collisionale</i> | 18 |
| 3.3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO | 18 |
| 4 | SISMICITA' | 30 |
| 4.1 | SISMICITA' E NEOTETTONICA | 30 |
| 4.2 | CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI | 33 |
| 5 | GEOMORFOLOGIA | 36 |
| 5.1 | METODOLOGIA | 36 |
| 5.2 | ATTIVITÀ SVOLTE IN SITU | 37 |
| 5.3 | REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA | 37 |
| 5.4 | DESCRIZIONE DELLE FORME E DEI PROCESSI | 37 |
| 5.4.1 | <i>Forme di versante dovute alla gravità</i> | 39 |
| 5.4.2 | <i>Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali</i> | 39 |
| 5.4.3 | <i>Forme strutturali</i> | 41 |
| 5.4.4 | <i>Forme antropiche</i> | 41 |
| 5.5 | CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA | 42 |
| 6 | REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA | 43 |
| 7 | DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA DELL'AREA | 45 |
| 7.1 | COPERTURE SENZA ATTRIBUZIONE DI ETÀ | 47 |
| 7.2 | DEPOSITI QUATERNARI | 47 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7.3 | DEPOSITI NEOGENICI | 48 |
| 7.4 | UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURI | 48 |
| 7.5 | UNITÀ TETTONICHE TOSCANE | 48 |
| 8 | DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO | 52 |
| 8.1 | GEOLOGIA | 52 |
| 8.2 | GEOMORFOLOGIA | 54 |
| 9 | BIBLIOGRAFIA | 55 |

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 Grosseto sud e circa due chilometri a nord dell'abitato di Fonteblanda (Fig. 1).

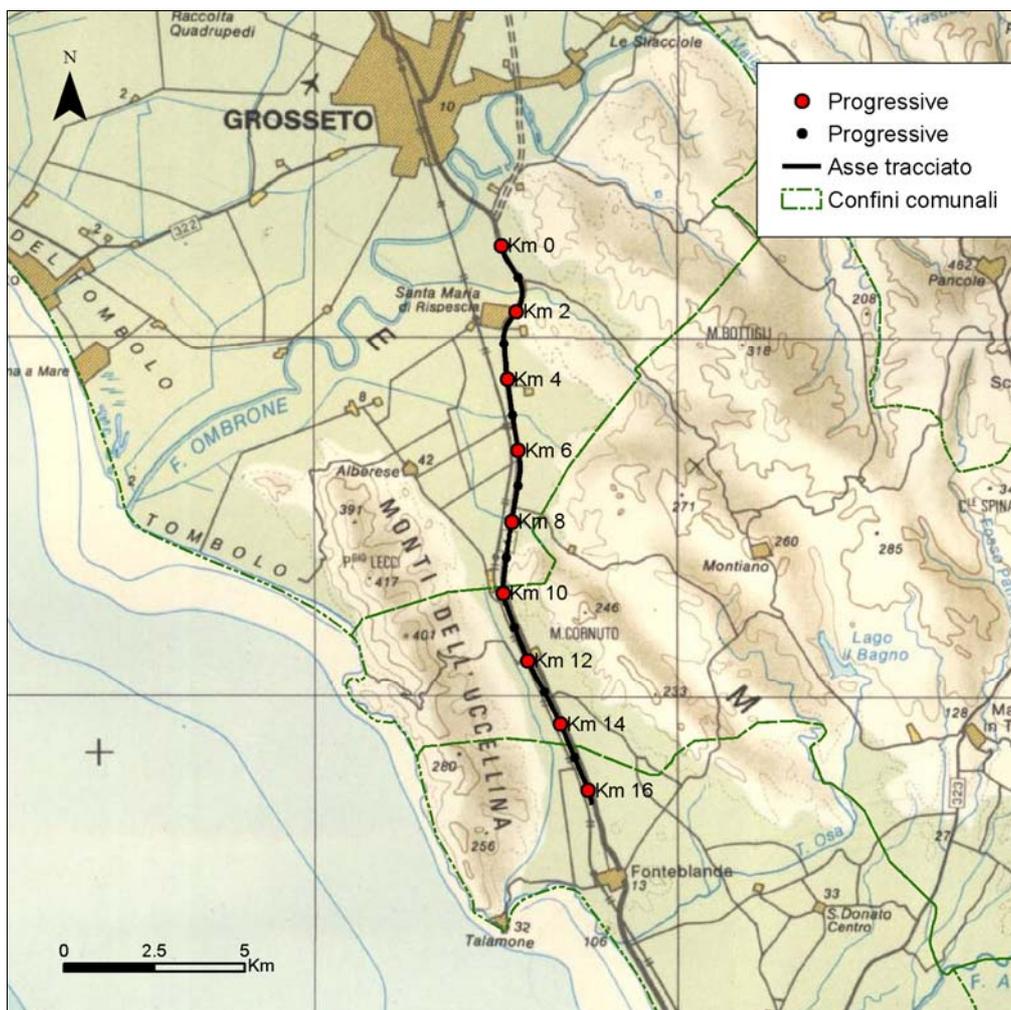


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area del lotto 4.

Il tracciato in oggetto ricade in un'area compresa nei comuni di Grosseto, Magliano in Toscana ed Orbetello. Lo studio è stato condotto su una fascia di territorio che si sviluppa per una lunghezza di circa 16,417 km ed un'ampiezza di circa 1 km a cavallo dell'attuale tracciato stradale.

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

La presente relazione descrive quanto rappresentato negli elaborati geologici, geomorfologici, e nel profilo longitudinale geologico (scala 1:5000 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. 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 a colori realizzate nell'ambito degli studi per l'opera in progetto (CGR scala di circa 1:14.000);
- fotografie aeree relative ai voli 1976 EIRA in b/n alla scala approssimativa di 1:13.000;
- Università degli Studi di Firenze relativamente alle seguenti tematiche:
 - Carta Geologica Nazionale in scala 1:100.000 fogli. Letteratura relativa alla caratterizzazione geologica, strutturale, litologica ed idrogeologica dell'area in oggetto, come riportato in bibliografia;
 - Cartografia geologica: - Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, 1982;
 - Articoli in bibliografia.
- Regione Toscana
 - Carte geologiche in scala 1:10.000 realizzate nell'ambito del progetto di cartografia geologica della Regione Toscana - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: (dal sito internet 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/banchedatinascoste/visualizza_asset.html_1260723368.html);
 - Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana (BDSRI);

- Comuni di Grosseto, Magliano in Toscana 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 eseguite le seguenti attività:

- analisi diretta del materiale carotato nel corso dei sondaggi della campagna geognostica realizzata 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, 2010 Progetto Definitivo) e di una serie di indagini bibliografiche reperite presso enti pubblici (Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana – BDSRI).

Tutte le indagini sono state ubicate in una apposita cartografia tematica 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 Fonteblanda 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 Rosignano (FASE A, campagna 2003) e nel tratto compreso tra Civitavecchia e Grosseto (Fase B, campagna 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 3 sondaggi di Fase A , 1 sondaggio di Fase B e 3 pozzetti di fase B ricadono in prossimità dell'attuale fascia di studio. La tabella seguente illustra le principali caratteristiche delle indagini menzionate e riportate nella documentazione cartografica di progetto.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|------------------------|---------------------------|--|
| A1-S17 | 25 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-25.00) |
| A1-S18 | 25 | TA - cieco (0.00-6.00) finestrato (6.00-25.00) |
| A1-S19 | 30 | TA - cieco (0.00-12.00) finestrato (12.00-30.00) n.1 Cella (9.00) |
| B1-S20 | 25 | TA - cieco (0.00-0.5) finestrato (0.5 – 9.5.00) n.1 Cella (24.5) |
| B3-Pz6, B3-Pz8, B3-Pz9 | | |

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

Di tali indagini ricadono nell'area di studio n. 3 sondaggi e n. 3 pozzetti. La documentazione relativa a tali indagini comprende le risultanze di prove in foro tipo spt, prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon, 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 delle indagini menzionate e riportate nella documentazione cartografica di progetto.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|------------------------|---------------------------|---|
| C-S20 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-9.00) TA - cieco (0.00-13.00) finestrato (13.00-25.00) |
| C-S21 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| C-S23 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-30.00) |
| C-Pz13, C-Pz14, C-Pz15 | | |

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 4/2 e parzialmente 4/1.

Nel tratto in esame sono stati realizzati complessivamente n. 26 sondaggi geognostici, dei quali 24 eseguiti a carotaggio continuo ed 2 a distruzione di nucleo spinti a profondità variabili fino a 40 m da p.c. e 20 pozzetti esplorativi superficiali.

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

Sui campioni prelevati in sondaggio ed 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 delle indagini menzionate e riportate nella documentazione cartografica di progetto.

| Indagine | Profondità (m da p.c.) | Strumentazione |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| 4/2-SD3 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 4/2-SD4 | 21 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-21.00) |
| 4/2-SD5 | 40 | Tubo in PVC per CH (0-40) |
| 4/2.SD5bis | 40 | Tubo in PVC per CH (0-40) |
| 4/2-SD6 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/2-SD7 | 29 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-29.00) |

| | | |
|--|----|--|
| 4/2-SD8 | 30 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-30.00) |
| 4/2-SD9 | 20 | n. 1 Cella (19.00) |
| 4/2-SD10 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 4/2-SD11 | 20 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-20.00) |
| 4/2-SD12 | 35 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-35.00) |
| 4/2-SD13 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 4/2-SD14 | 25 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-25.00) |
| 4/2-SD15 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-21.50.00) |
| 4/2-SD16 | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/2-SD16bis | 35 | Tubo in PVC per CH (0-35) |
| 4/2-SD17 | 20 | TA - cieco (0.00-4.00) finestrato (4.00-10.00) n.1 Cella (17.5) |
| 4/2-SD18 | 30 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-30.00) |
| 4/2-SD19 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/2-SD20 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/2-SD21 | 25 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-25.00) |
| 4/2-SD22 | 35 | n.1 Cella (32.50) |
| 4/2-SD23 | 20 | TA: cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-17.00) |
| 4/2-SD24 | 25 | n.1 Cella (14.00) |
| 4/1-SD1 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-20.00) |
| 4/1-SD2 | 20 | TA - cieco (0.00-3.00) finestrato (3.00-8.50) TA - cieco (0.00 -17.00) finestrato (17.00-20.00) |
| 4/2-Pzd4, 4/2-Pzd4bis, 4/2-Pzd5, 4/2-Pzd8, 4/2-Pzd10, 4/2-Pzd11, 4/2-Pzd13, 4/2-Pzd13bis, 4/2-Pzd14, 4/2-Pzd15, 4/2-Pzd18, 4/2-Pzd21, 4/2-Pzd22, 4/2-Pzd23, 4/2-Pzd25, 4/2-Pzd27, 4/1-Pzd1, 4/1-Pzd2, 4/1-Pzd3, 4/1-Pzd4 | | |

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).

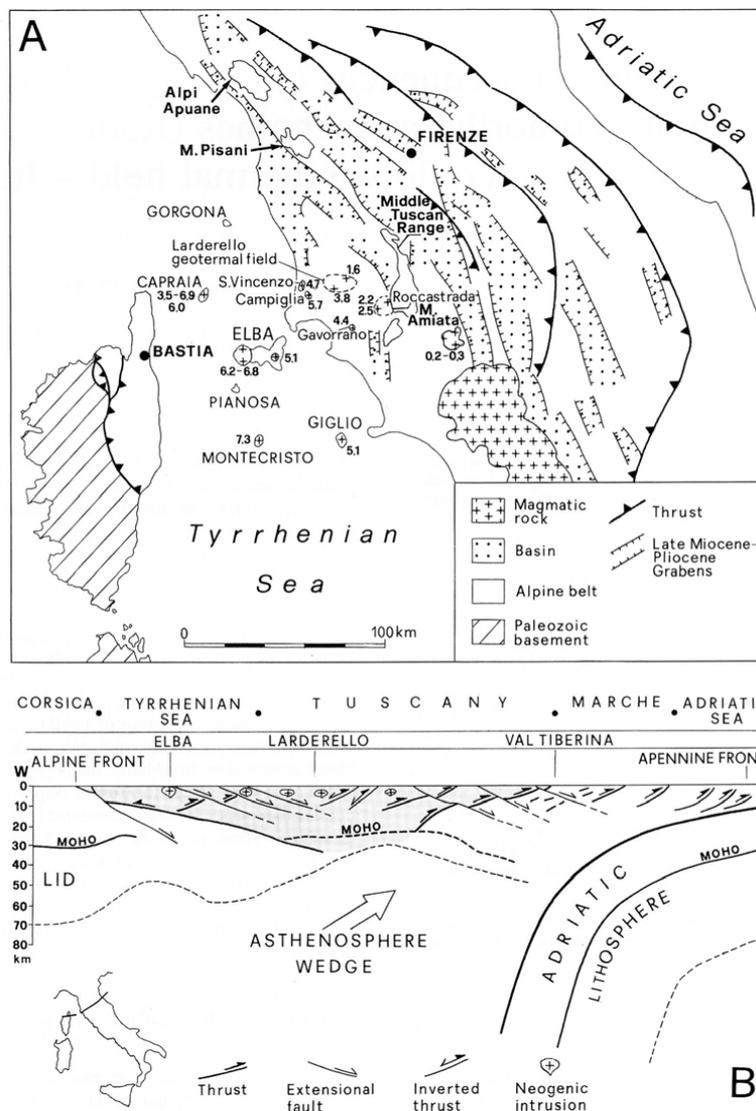


Fig. 2 - Schema geologico - strutturale della Toscana.

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.

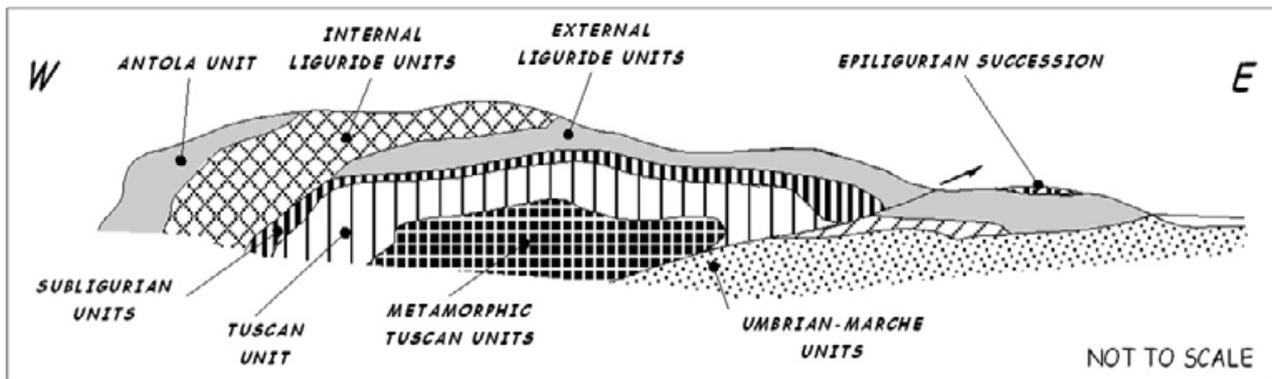


Fig. 3 - Ricostruzione schematica dell'impilamento tettonico tradizionalmente riconosciuto in Appennino Settentrionale

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 Domino 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.

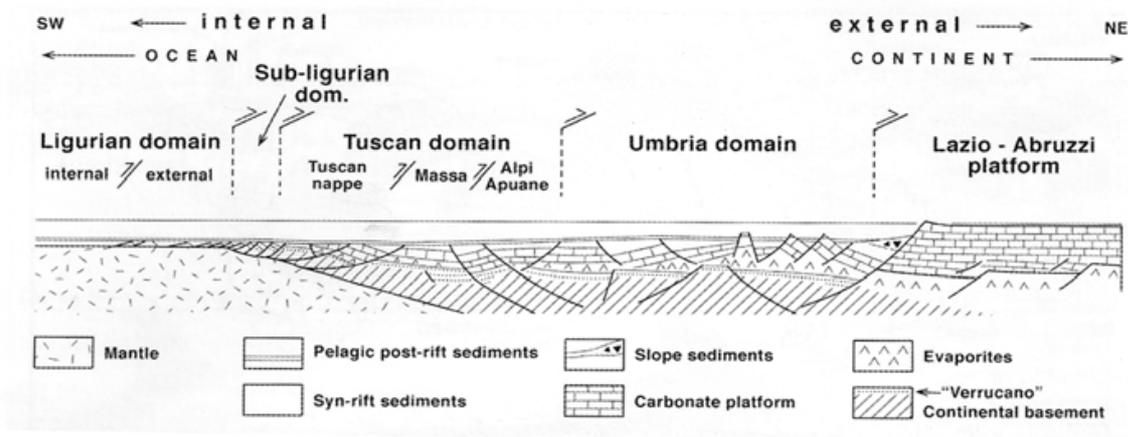


Fig. 4 - Schema paleogeografico del margine continentale della placca Adria con la localizzazione del Domino Subligure.

- 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.

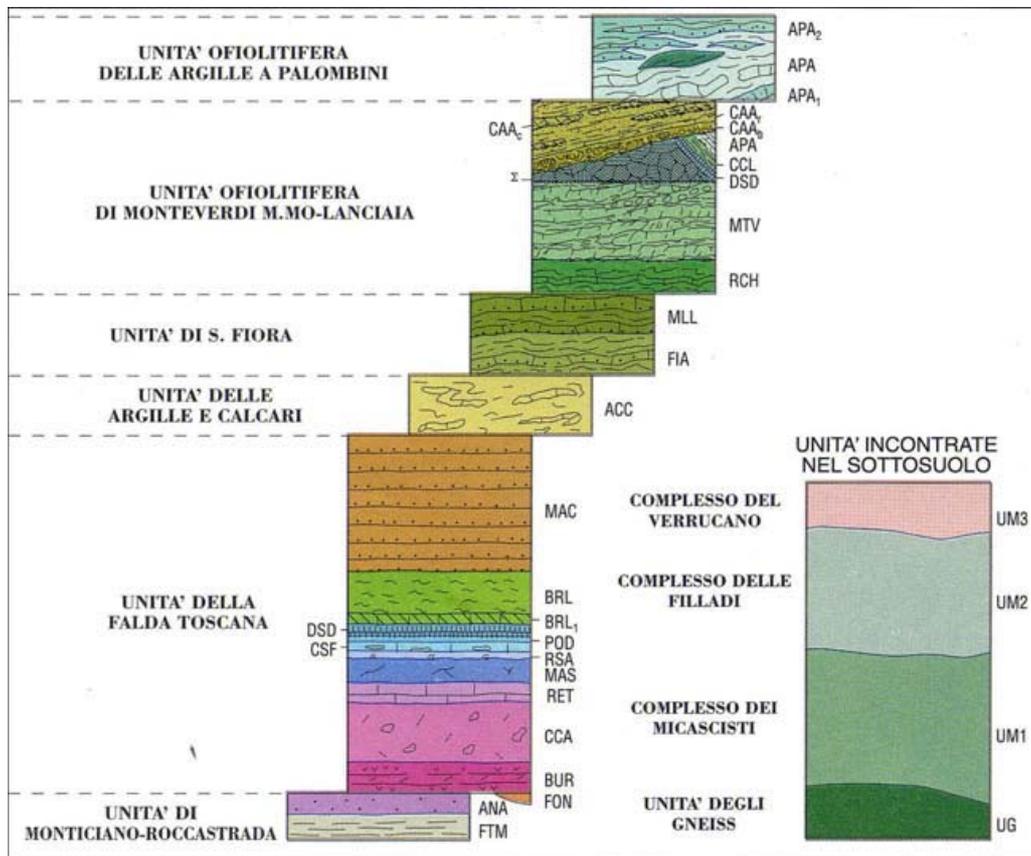


Fig. 5 - Schema dei rapporti tra unità tettoniche Liguri e Subliguri con la Falda Toscana, così come osservate in Toscana meridionale (Foglio 306 Massa Marittima)

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.

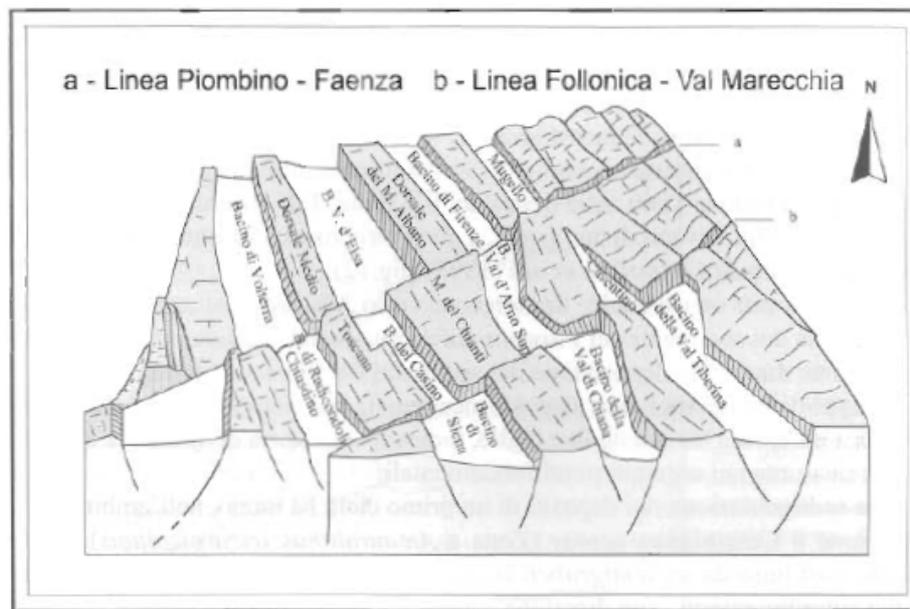


Fig. 6 - Stereogramma strutturale schematico non in scala, mostrante i probabili rapporti delle linee trasversali dell'Appennino Settentrionale con le strutture rigide distensive e con quelle plicative

Tettonica distensiva Plio - Pleistocenica

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

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

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

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

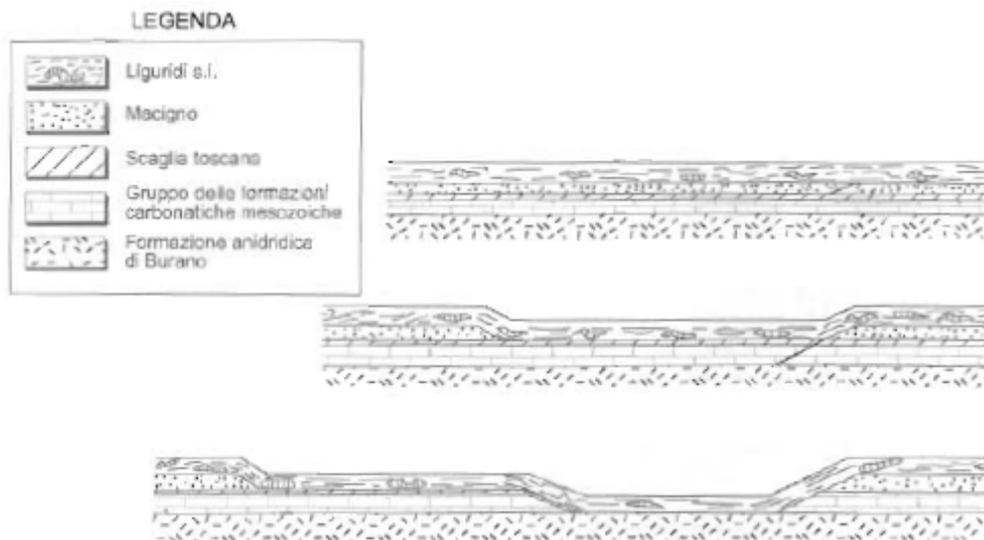


Fig. 7- Meccanismo semplificato di formazione della “serie ridotta” tramite superfici di scorrimento alla base delle liguridi e lungo i livelli incompetenti della successione toscana (Bertini et alii, 1991)

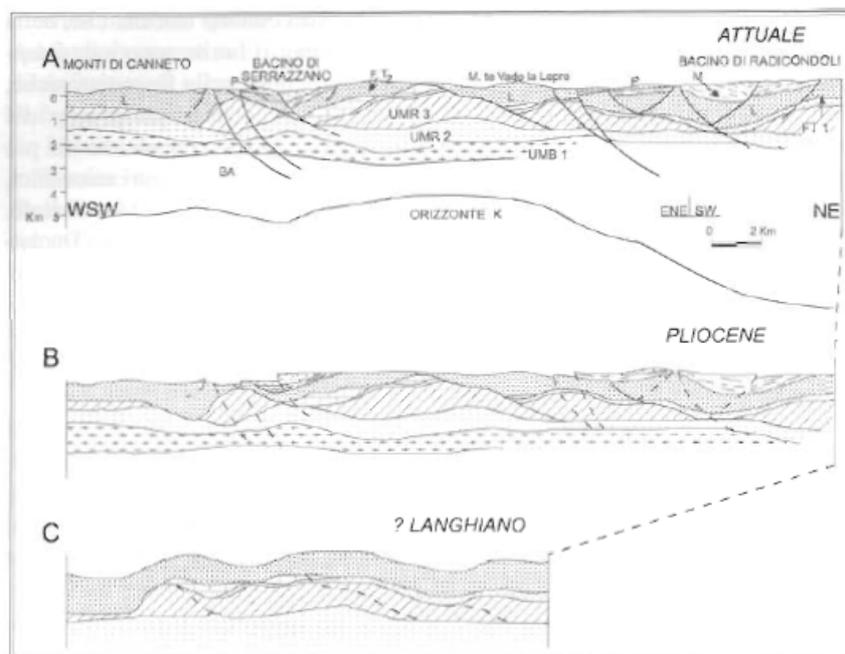


Fig. 8 - Caratteri evolutivi della tettonica distensiva dal Langhiano (Miocene medio) all'attuale. (Baldi et alii, 1994)

3.2.2 Tettonica compressiva pre e sin - collisionale

Gli effetti della tettonica compressiva, riferibile alla chiusura dell'Oceano Ligure ed alla collisione dei margini europeo ed africano, sono osservabili nell'area in esame, nelle coperture a Facies Ligure, Subligure e Toscana, che risultano piegate ed accavallate l'una sull'altra, costituendo un importante edificio a falde. Conoscenze, sia pure meno dettagliate, si hanno anche sul cosiddetto "Basamento Metamorfico".

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 parte settentrionale di quella porzione di tracciato della nuova Autostrada Tirrenica compreso tra la zona dello svincolo di Grosseto sud e l'abitato di Fonteblanda. Questo ampio areale si colloca nella parte emersa più interna dell'Appennino Settentrionale. Le caratteristiche geo-morfologiche di questo settore, quindi, riflettono intensi processi endogeni che hanno portato alla strutturazione di questa catena orogenetica sulla quale sostanzialmente si sviluppa l'intero territorio toscano. Su questo principale *imprinting* strutturale e geodinamico, realizzatosi in varie decine di milioni di anni, si sono sovrapposti fenomeni esogeni, determinati da cambiamenti climatici ed oscillazioni del livello marino, che negli ultimi milioni di anni hanno concorso a definire le odierne caratteristiche fisiche di quest'area .

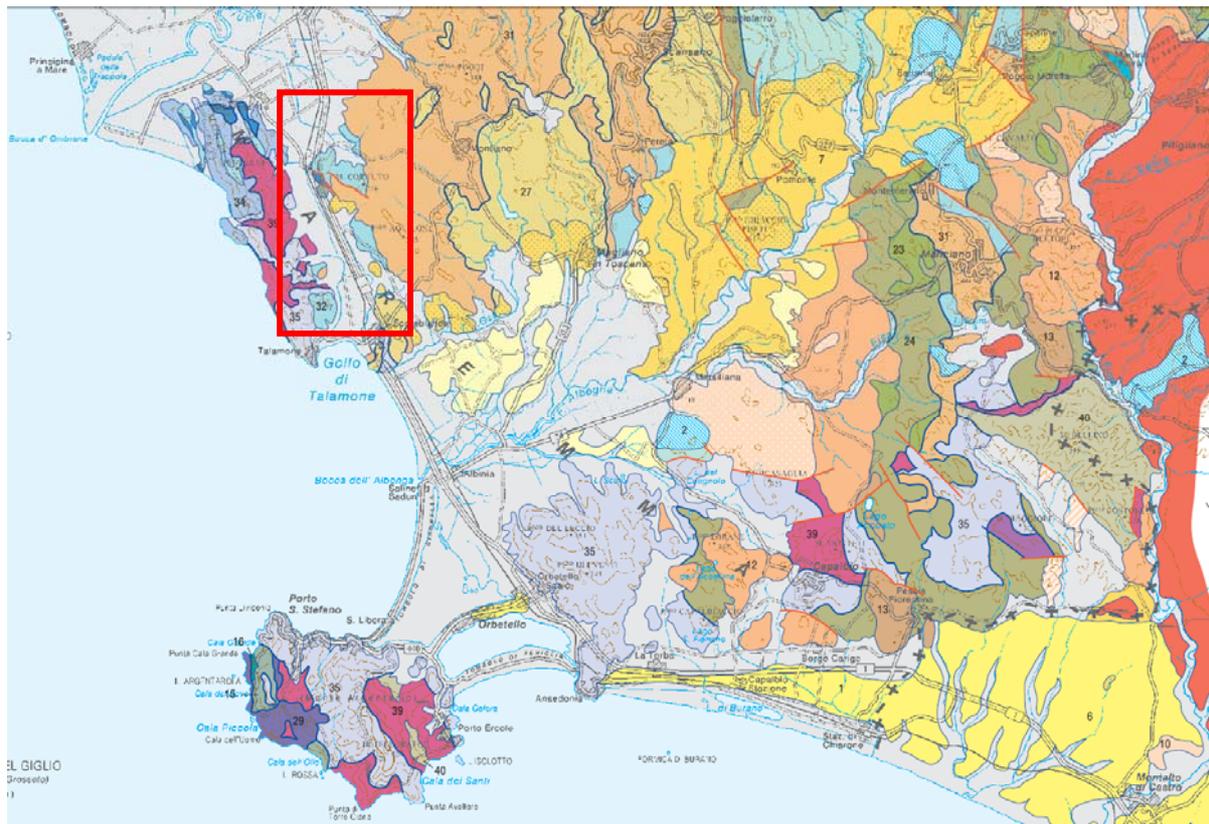


Fig. 9 - Stralcio della Carta Geologica della Toscana in scala 1:250.000 comprendente il tratto Grosseto-Orbetello con ubicazione dell'area in esame.

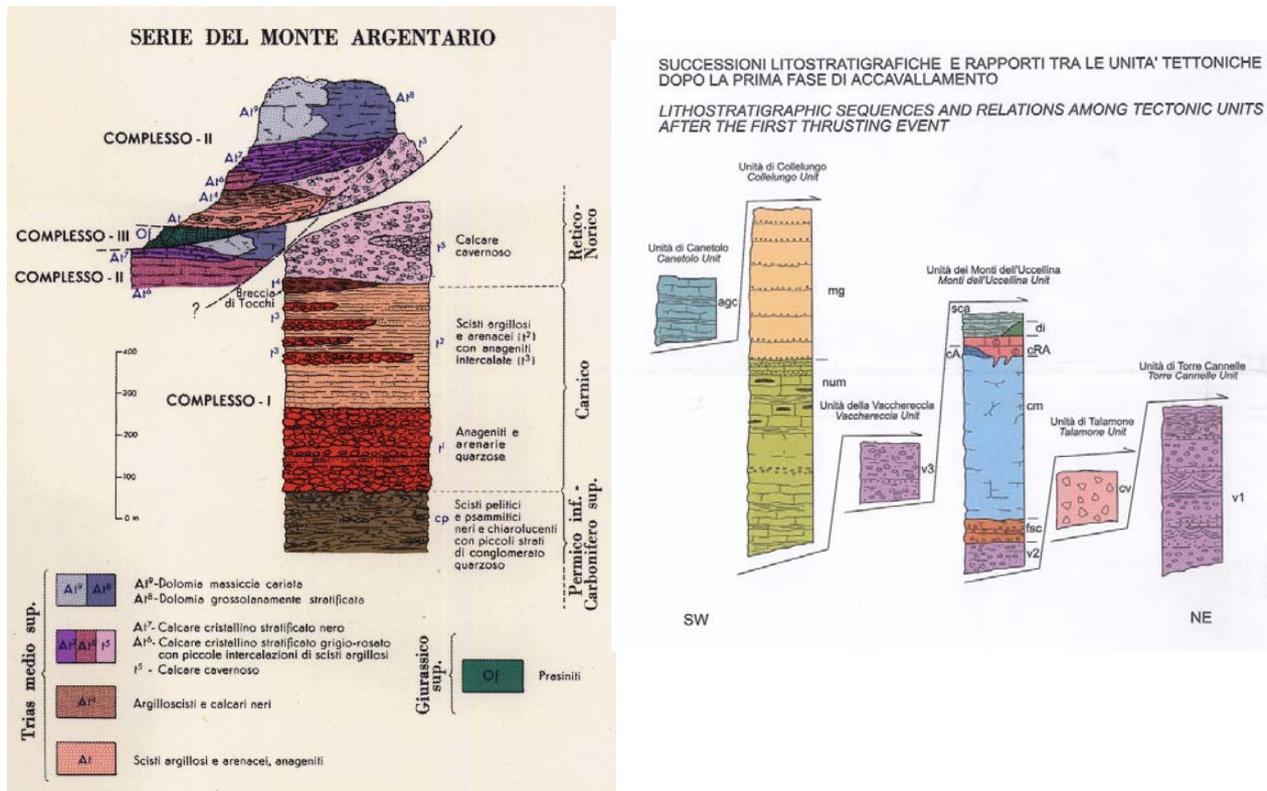
Nello specifico il tracciato del lotto 4 attraversa paesaggi morfologici riconducibili a due tipi principali: 1) rilievi montuosi di modesta elevazione costituiti da rocce litoidi (nella fascia compresa tra i Monti dell'Uccellina e il Monte Cornuto-Poggio Aquilone); 2) pianure alluvionali e costiere e contermini rilievi collinari, nell'insieme caratterizzati da sedimenti sciolti o poco litificati (propaggine meridionale della pianura del Fiume Ombrone, e tratto meridionale verso il Golfo di Talamone) (Fig.9).

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

La storia geologica più antica è registrata in questo settore della Toscana Meridionale dalle rocce affioranti sui rilievi dei Monti dell'Uccellina e del Promontorio dell'Argentario. Il Monte Argentario e i Monti dell'Uccellina sono costituiti dalla sovrapposizione di rocce sedimentarie ed in genere debolmente metamorfiche illustrata nei suoi dettagli tettonico-stratigrafici in vari studi geologici (per la geologia del M. Argentario Lazzarotto et al., 1964, Fig. 10A, e per i Monti dell'Uccellina Montomoli et al., 2009, Fig. 10B). In questi nuclei affioranti di 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, sviluppatasi durante il ciclo orogenetico alpino (Vai, 2001).

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

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



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

Frammenti di crosta oceanica rappresentata da rocce ofiolitiche con lembi fortemente disarticolati delle coperture sedimentarie terrigeno-carbonatiche, costituiscono la cosiddetta Successione 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.

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

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

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

Le aree di pianura alluvionale e costiera e delle colline

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

Le successioni del Miocene medio-superiore

I depositi miocenici sono presenti in affioramento nell'area di Capalbio-Pescia Fiorentina e nella zona medio-prossimale della bacino idrografico del Fiume Albegna. Tra Capalbio e Pescia

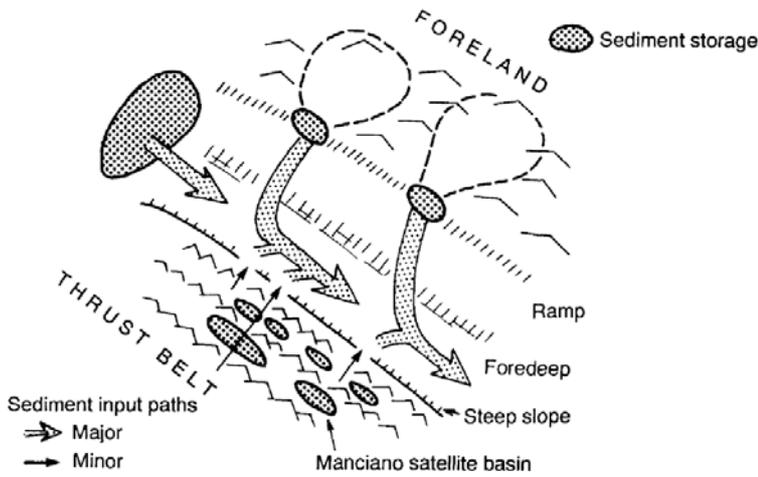
Fiorentina alcuni rilievi collinari quali Poggio la Pesca, località Garavicchio, sono costituiti da arenarie fossilifere e bioturbate attribuite alla Formazione delle Arenarie di Manciano, già note come Arenarie a *Scutella* (Dessau *et al.* 1972; Fontana, 1980). La collocazione cronostratigrafica ed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

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

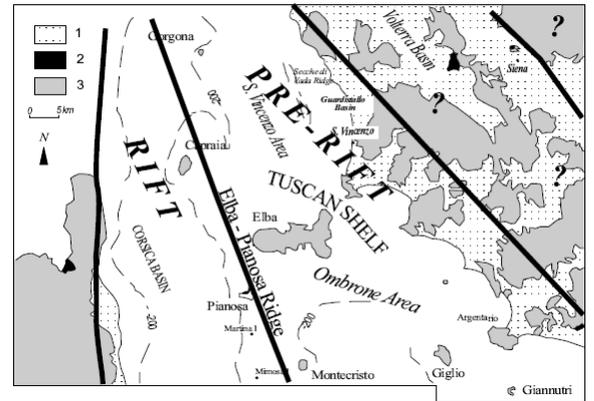
Questi sedimenti costituiscono una successione comune a gran parte della Toscana meridionale che include una porzione inferiore nota come "Serie Lignitifera" (Sestini, 1970) attribuibile al Tortoniano superiore-Messiniano inferiore ed una superiore riferibile al Messiniano superiore.

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

Nell'insieme questi depositi vengono riferiti ad ambienti fluvio-lacustri caratterizzati dalla deposizione di peliti spesso organiche nelle aree lacustri e di conglomerati ed arenarie in sistemi fluviali e deltizi. La successione è chiusa da calcari lacustri ("travertini") affioranti in cave poco a sud della Marsiliana che vengono tentativamente attribuiti al Messiniano superiore (Bosi *et al.*, 1996; Bossio *et al.*, 2003-2004).



A *late Burdigalian - early Serravalian*



A
B

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

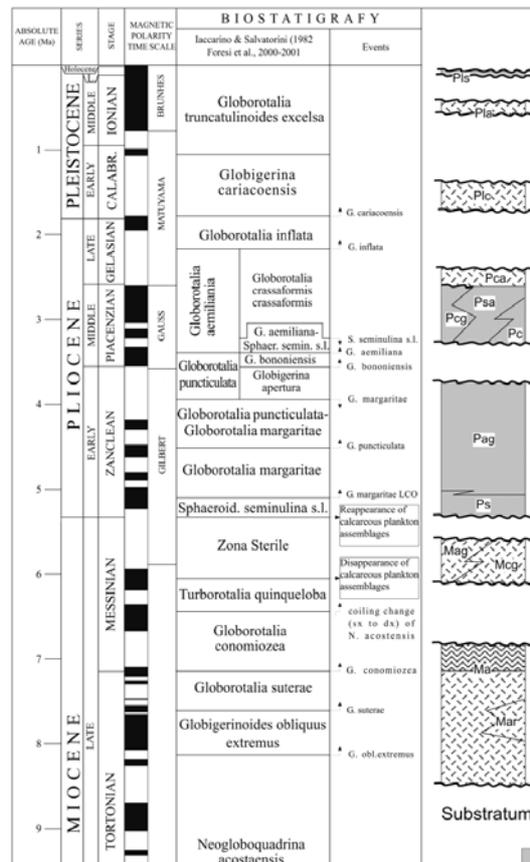


Fig. 12 - Schema stratigrafico della successione neogenico-quadernaria affiorante nella parte meridionale del bacino del Fiume Albegna (da Bossio et al., 2003-2004)

Il significato tettonico-sedimentario di questa successione e di quella pliocenica soprastante viene in genere spiegato in termini di sviluppo di bacini sedimentari post-collisionali in un generale contesto di estensione crostale complicata da sollevamenti localizzati (Pasquarè et al., 1983). Il

grado di deformazione dei depositi, fortemente tiltati e talora piegati, suggerisce una storia tettonica probabilmente più complessa dove la compressione crostale potrebbe aver giocato un ruolo importante sullo sviluppo di questi bacini (si veda ad esempio Boccaletti & Sani, 1998 per una discussione a scala regionale di questa ipotesi).

La successione pliocenica

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

La successione quaternaria

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

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

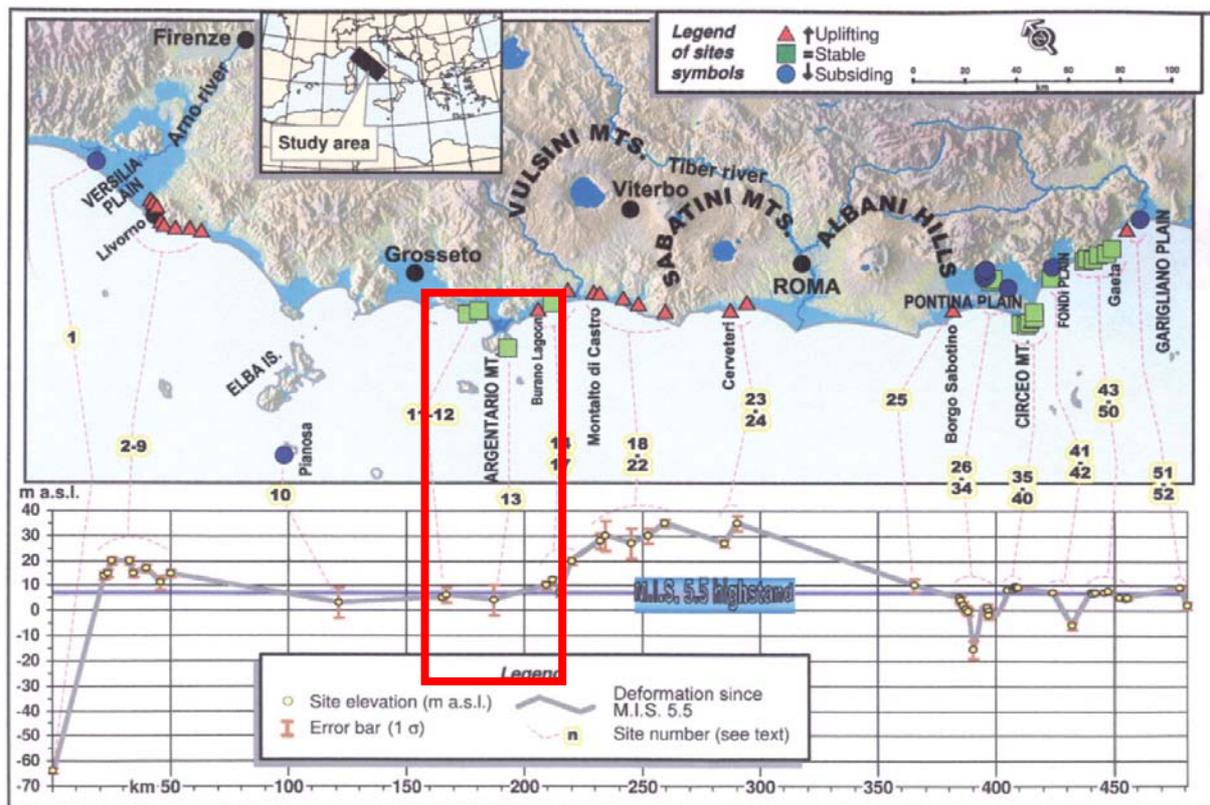


Fig. 13 - Quote dei depositi e forme costiere riferite al Tirreniano (Stage Isotopico 5.5) tra la Versilia ed il basso Lazio. Il riquadro indica l'area di interesse (da Nisi et al., 2003).

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

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

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

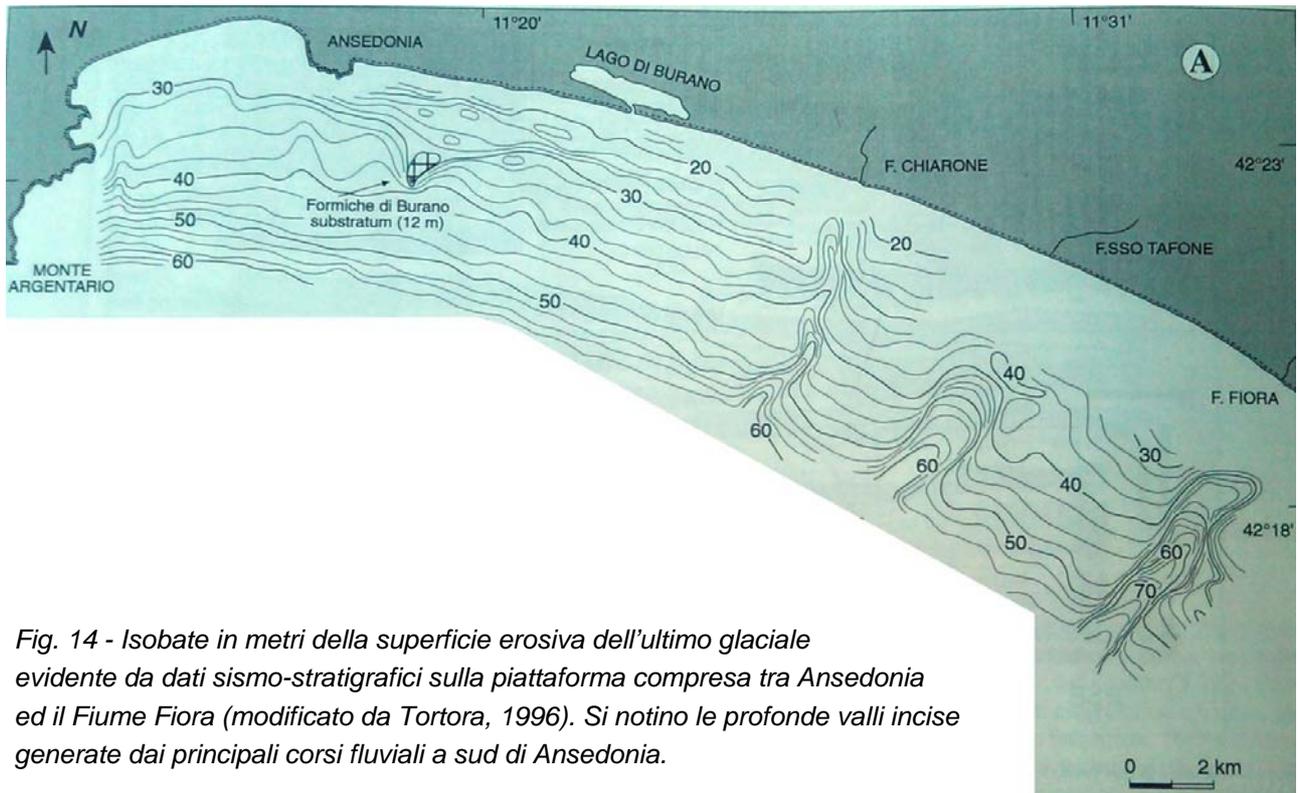


Fig. 14 - Isobate in metri della superficie erosiva dell'ultimo glaciale evidente da dati sismo-stratigrafici sulla piattaforma compresa tra Ansedonia ed il Fiume Fiora (modificato da Tortora, 1996). Si notino le profonde valli incise generate dai principali corsi fluviali a sud di Ansedonia.

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

La maggiore distribuzione di depositi riferibili al Quaternario si ha nell'ampia pianura alluvionale dei fiumi Albegna-Osa. Qui, nelle colline a sud di Magliano vengono segnalati fino a 4 ordini di terrazzi fluviali costruiti dal Fiume Albegna durante il suo progressivo incassamento (Bossio *et al.*, 2003-2004). Mancini (1960) descrive con grande dettaglio la distribuzione dei depositi costieri di questo settore indicando nelle sabbie arrossate distribuite tra l'Albegna e l'Osa, antichi sistemi di spiaggia e dunali riferibili al livello marino del Tirreniano più alto dell'attuale. Nelle parti più depresse della pianura dell'Albegna e specificatamente nei pressi della sua foce i depositi superficiali vengono riferiti alle alluvioni recenti di questo corso. Un'indagine di sottosuolo effettuata attraverso sondaggi a carotaggio continuo nei pressi di Albinia e dell'argine di destra idrografica dell'Albegna, hanno consentito a Mazzini *et al.* (1999) dettagliate analisi

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

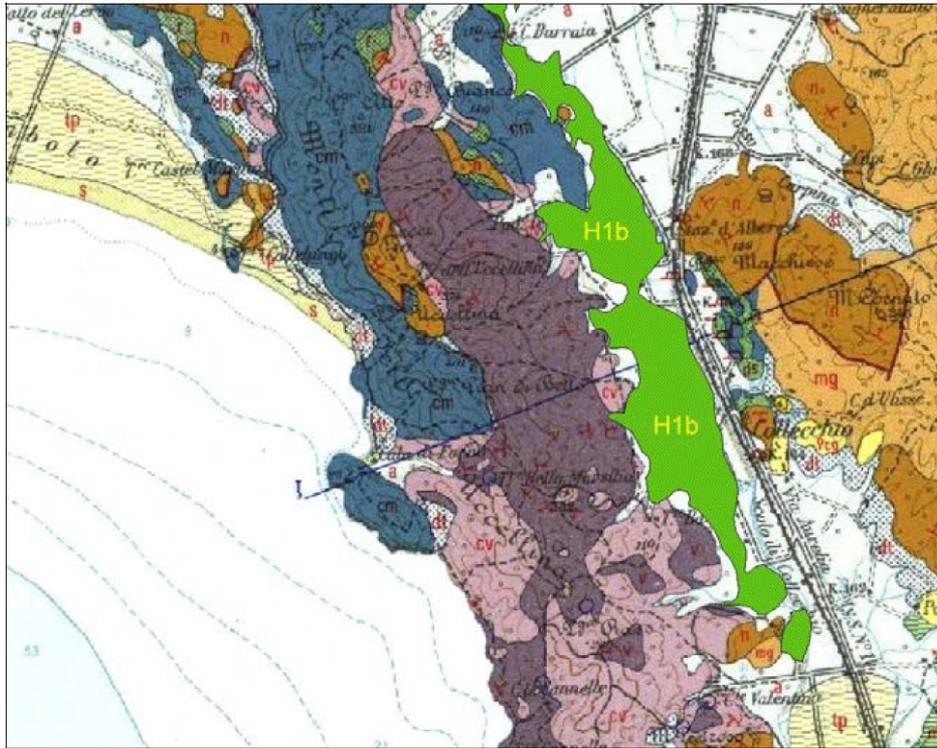


Fig. 15 - Distribuzione dei suoli su conoidi alluvionali (H1b- "conoidi recenti del Calcare cavernoso e del Calcare massiccio") sovrimposta alla carta geologica del Servizio Geologico Italiano in scala 1:100.00 (da Arnoldus-Huyzendveld, 2005) (nota: la dicitura H1b non ha riferimento alla analoga sigla utilizzata per la cartografia geologica del lotto 4 allegata al progetto)

Dai dati di letteratura, 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. 15), piuttosto che di un corso fluviale longitudinale come farebbe supporre l'andamento NO-SE della depressione. L'area di pianura fluviale del Fiume Ombrone risulta caratterizzata 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. 16- Evoluzione dei tomboli della Feniglia e della Giannella (da De Pippo, 2004)

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

4 SISMICITA'

4.1 SISMICITA' E NEOTETTONICA

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

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

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

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

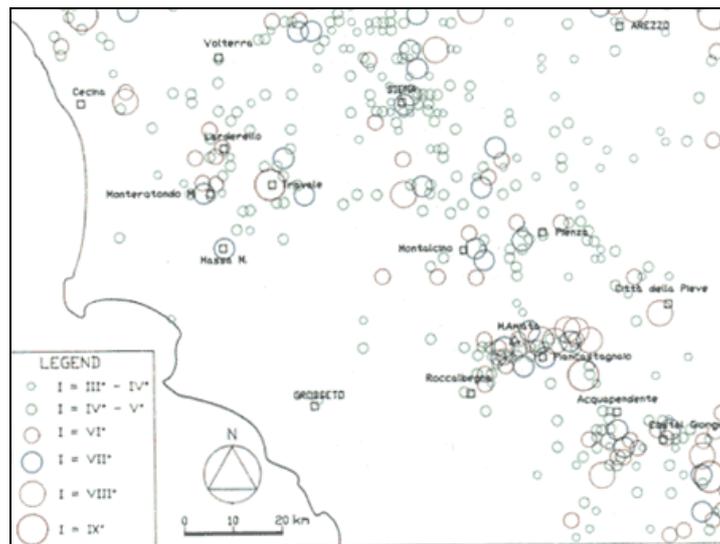


Fig. 17 - Sismicità storica delle località della Toscana meridionale nel periodo 1900-1990: distribuzione degli epicentri ed intensità degli eventi (scala MCS). Rappresentazione schematica (ENEL, 1995)

I dati riportati nel Catalogo Nazionale dei Terremoti, per la Toscana meridionale, coprono il periodo dall'anno 1000 sino al 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). Di seguito si riportano i valori delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni interessati dal Progetto.

| Comune | Provincia di GROSSETO | | | Lat. | Long. | I _{max} |
|---------------------|-----------------------|-------|------|----------|----------|------------------|
| | 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 |
| MAGLIANO IN TOSCANA | 9 | 53 | 13 | 42.59854 | 11.29233 | <= 6 |
| ORBETELLO | 9 | 53 | 18 | 42.43738 | 11.21097 | <=6 |
| SCARLINO | 9 | 53 | 24 | 42.90761 | 10.85191 | <= 6 |

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).

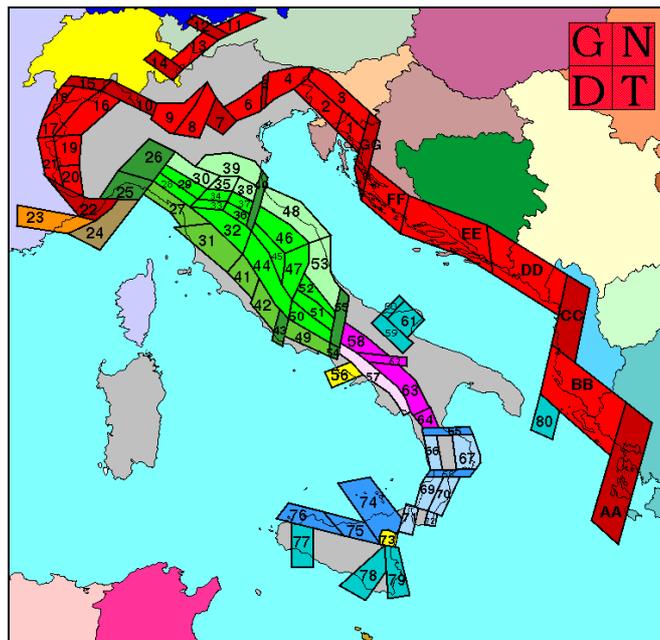


Fig. 18 - Zonazione sismogenetica del territorio nazionale (GNDT 1996)

Come detto l'area di studio è stata interessata da pochi sismi in tempi storici e con intensità massima ≤ 6 . In fig.19 sono riportate le massime intensità macrosismiche nelle province toscane.

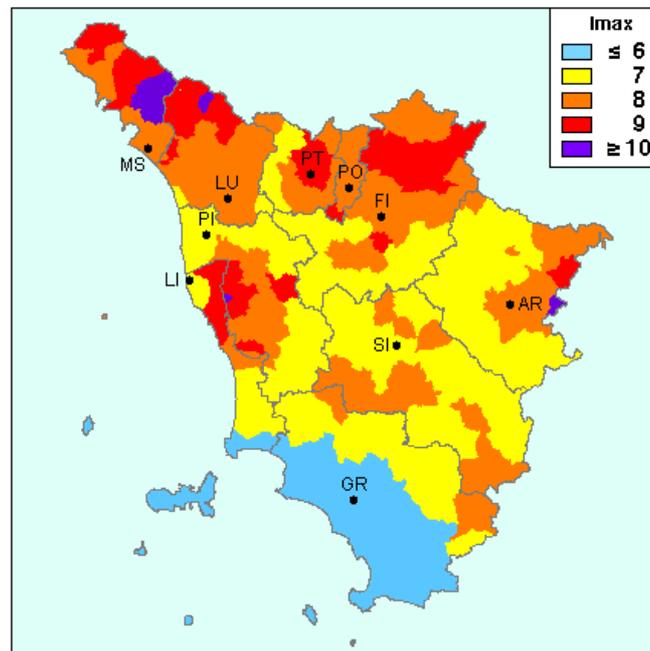


Fig. 19 – Mappa delle massime intensità macrosismiche in Toscana e tabella relativa alla Provincia di Grosseto. (tratta da: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/9.html)

4.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI

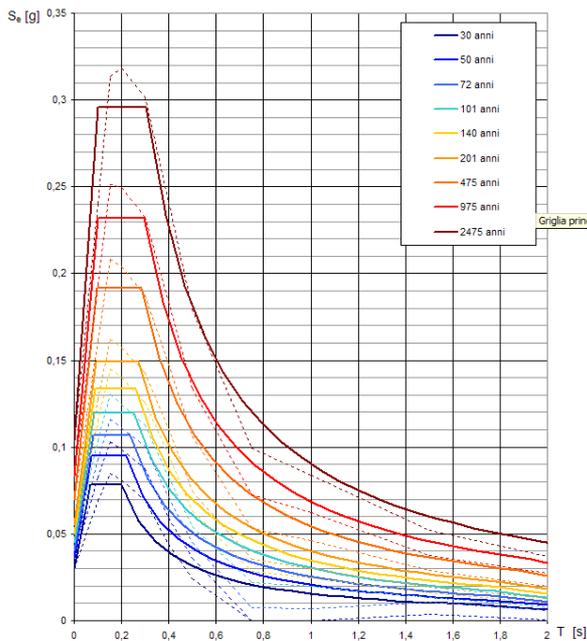
Il 4 febbraio 2008 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione 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 (grafici e tabelle) gli spettri di risposta elastici ed i valori dei parametri a_g , F_c , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento forniti dal Ministero delle Infrastrutture (Spettri-NTCver.1.0.3.xls), con un dettaglio sui Comuni di Grosseto, Magliano in Toscana ed Orbetello.

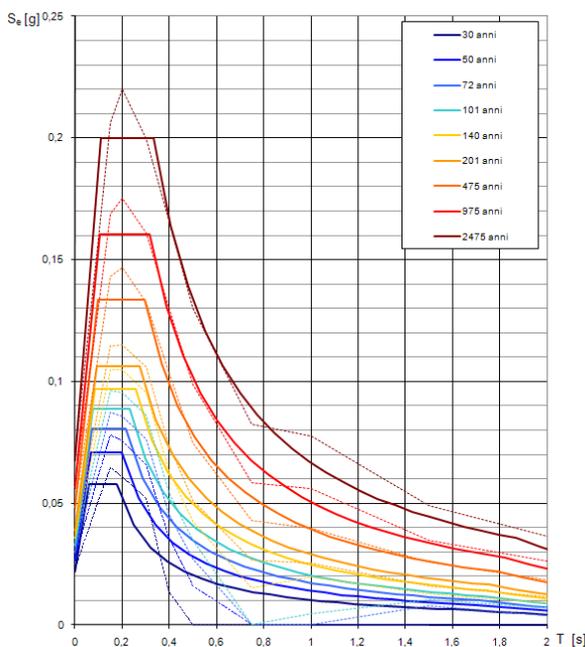
Questi valori sono da considerarsi indicativi a livello comunale mentre per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda alla relazione geotecnica di dettaglio.

Comune di Grosseto



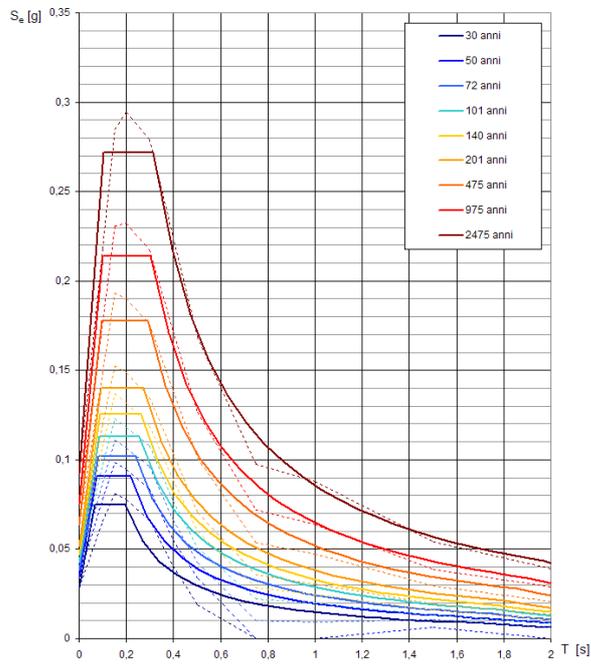
| T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_C^* [s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30 | 0,030 | 2,597 | 0,200 |
| 50 | 0,036 | 2,636 | 0,219 |
| 72 | 0,040 | 2,648 | 0,237 |
| 101 | 0,045 | 2,657 | 0,253 |
| 140 | 0,050 | 2,681 | 0,260 |
| 201 | 0,055 | 2,705 | 0,270 |
| 475 | 0,070 | 2,751 | 0,285 |
| 975 | 0,083 | 2,782 | 0,296 |
| 2475 | 0,104 | 2,853 | 0,305 |

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 Magliano in Toscana



| T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30 | 0,029 | 2,605 | 0,197 |
| 50 | 0,034 | 2,648 | 0,217 |
| 72 | 0,038 | 2,669 | 0,239 |
| 101 | 0,042 | 2,675 | 0,255 |
| 140 | 0,047 | 2,695 | 0,262 |
| 201 | 0,051 | 2,723 | 0,272 |
| 475 | 0,064 | 2,785 | 0,291 |
| 975 | 0,076 | 2,835 | 0,302 |
| 2475 | 0,092 | 2,944 | 0,315 |

5 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è stata analizzata sotto il profilo geomorfologico mediante fotointerpretazione in visione stereoscopica e con verifiche sul terreno dei dati acquisiti, al fine di discriminare e riconoscere l'insieme delle forme e dei fenomeni che possano avere interesse pratico nei confronti della realizzazione delle opere in progetto.

Gli elementi derivati dalla fotointerpretazione risultano in buon accordo con quanto rilevato direttamente in sito, in ogni caso le verifiche di campagna e le risultanze delle indagini geognostiche hanno consentito di completare le indicazioni fornite dalla fotointerpretazione, definendo un quadro geomorfologico dettagliato dell'area, rappresentato nell'ambito della cartografia geomorfologica allegata al presente progetto.

5.1 METODOLOGIA

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

Per quanto concerne la cartografia esistente sono stati consultati i dati presenti nelle carte geomorfologiche prodotte dai Comuni di Grosseto, Magliano in Toscana ed Orbetello per i rispettivi Piani Strutturali.

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

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

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

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

| Volo EIRA - 1976 | |
|--------------------|-------------|
| Strisciata | Fotogrammi |
| 89/A | 51-53 |
| 90 | 651-653 |
| 91 | 628-630 |
| 92 | 523-525 |
| 93 | 400-402 |
| 94 | 505-507 |
| 95 | 380-383 |
| 96 | 516 ÷ 519 |
| Volo C.G.R. - 2010 | |
| Strisciata | Fotogrammi |
| 1 | 8038-8050 |
| 2 | 8014 ÷ 8017 |

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) 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 e processi dovuti a gravità e processi di pendio;
- Forme e processi dovuti allo scorrimento delle acque;
- Forme strutturali;
- Forme e processi antropici.

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

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

Per quanto attiene alle forme legate allo scorrimento delle acque sono state cartografate le zone con erosione areale diffusa, le aree con difficoltà di drenaggio e con drenaggio endoreico, le forme di erosione incanalata, i tratti pensili di corsi d'acqua, le vallecole a fondo concavo ed i corpi d'acqua.

Le forme strutturali riguardano le lineazioni riconosciute da fotointerpretazione.

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

L'area esaminata presenta delle problematiche di tipo idraulico legate alla conformazione morfologica del territorio, sono state pertanto riportate le zone segnalate dal Bacino Regionale del Fiume Ombrone a Pericolosità idraulica molto elevata traendo queste informazioni dal: "Piano di

Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" e successivi aggiornamenti approvati.

5.4.1 Forme di versante dovute alla gravità

Superficie interessata da soliflusso o creep - Il soliflusso ed il creep sono tipologie di movimento superficiale di deformazione plastica del terreno che può verificarsi anche su pendenze limitate. La lentezza di questo tipo di processo e la mancanza di evidenti superfici di taglio o nicchie di distacco determina aspetti non appariscenti del fenomeno e quindi anche la sua delimitazione diventa talora difficoltosa. Per tale motivo non si è delimitato un perimetro per circoscrivere il fenomeno ma si è evidenziato il solo simbolo per segnalarne la presenza. Le zone soggette a soliflusso devono essere considerate con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni che possono essere equiparati a frane attive di coltre. Nel lotto in esame questa tipologia di dissesto risulta 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 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 aree di crinale subpianeggianti che, in poche decine di metri, subiscono un incremento di pendenza fino a formare un versante da mediamente a molto inclinato.

Scarpata morfologica con orlo arrotondato – Si tratta di modeste variazioni di pendenza di un versante che determinano la formazione di un piccolo gradino, generalmente con orlo molto ben arrotondato e pertanto testimoniano una situazione attuale di sostanziale equilibrio geomorfologico ma possono essere utili nel riconoscere l'evoluzione recente del paesaggio.

5.4.2 Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali

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.

Corso d'acqua pensile – si sviluppa quando un corso d'acqua, particolarmente ricco in trasporto solido, determina un progressivo innalzamento dell'alveo e del terreno in prossimità delle sponde rispetto alla pianura circostante.

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

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

Conoide alluvionale – Allo sbocco in pianura di alcuni corsi d'acqua minori è possibile individuare la presenza di un cono alluvionale che si sviluppa al piede dei versanti. Queste forme sono ben sviluppate nella zona orientale dei Monti dell'Uccellina ed in parte riconoscibili nell'area in esame.

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.

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

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.

5.4.3 Forme strutturali

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

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

5.4.4 Forme antropiche

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

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

Cava inattiva rinaturalizzata (CN) – Si è osservato, con una certa frequenza, che le depressioni causate dall'attività estrattiva vengono abbandonate e progressivamente invase dalla vegetazione che tende a coprire sia i piazzali pianeggianti sia le scarpate dei fronti di coltivazione, probabilmente con maggior successo laddove vi sono minore dislivello e minore pendenza delle scarpate; queste forme, oramai obliterate dalla vegetazione, 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 sia per la fase di riporto sia per l'individuazione dei rilevati di più modeste dimensioni.

Rilevato (P) per opere civili – Riprofilature del terreno mediante apporto di materiali inerti in generale localizzati in prossimità di rilevati stradali o nel tessuto urbano talora rilevati dal confronto tra i due voli di epoche diverse.

Argine (A) – Le arginature dei corsi d'acqua risultano uno degli elementi caratterizzanti delle zone di pianura, generalmente si hanno argini su tutti i corsi d'acqua principali e pertanto le dimensioni dei manufatti hanno permesso una rappresentazione con elementi poligonali.

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

5.5 CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

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

La configurazione morfologica dell'area indagata si caratterizza per un andamento piuttosto pianeggiante orientato nord-sud e compreso tra due dorsali, quella dei Monti dell'Uccellina ad ovest e quella di Monte Cornuto-Poggio Aquilone ad est. Una blanda sella morfologica orientata est-ovest si colloca circa all'altezza di Alberese Scalo (km 10 circa del tracciato) separa una zona con pendenze decrescenti verso nord che si raccorda alla piana del Fiume Ombrone ed una zona con pendenza decrescente verso sud verso il Golfo di Talamone. I settori con problematiche di tipo idraulico si collocano nella settore settentrionale e meridionale del tracciato dove si raccordano rispettivamente alla piana del Fiume Ombrone e la piana degradante verso il golfo di Talamone.

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

In particolare sono state riportate in cartografia quelle aree attualmente classificate a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.M.E.) tratte dal "Piano di Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone Appr. DCR n° 12 25/01/2005" e successivi aggiornamenti approvati.

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 Grosseto, Magliano in Toscana ed Orbetello. 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 posta 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 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 cioè ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito (1-2 metri). Per quanto attiene agli elementi strutturali presenti (faglie e sovrascorrimenti) ed al loro assetto, è opportuno evidenziare come la loro ubicazione in planimetria ed in sezione presenti un certo grado di indeterminatezza legato alla scarsità di dati osservabili in campagna.

Profili geologici

Lungo la sezione geologica sono 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 di alcuni 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 (nella Banca Dati Sottosuolo e Risorse Idriche della Regione Toscana) 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.

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

7 DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA DELL'AREA

La notevole mole di dati acquisita per il presente lavoro (sondaggi a carotaggio continuo) unita la qualità del loro dettaglio rappresenta un grosso incremento alle conoscenze del sottosuolo dell'area e nello stesso tempo presenta alcuni elementi di incertezza derivanti dalla mancanza di puntuali verifiche cronostratigrafiche soprattutto relativamente ai depositi quaternari.

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

La nomenclatura proposta per i depositi quaternari è in gran parte originale e risponde alla necessità di definire i depositi dal punto di vista delle loro caratteristiche di facies, della loro posizione stratigrafica e dei riferimenti temporali individuati. 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 pertanto si basa 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 nelle litologie ciottoloso sabbiose;
- 3- eventuali strutture sedimentarie (laminazioni, gradazioni);
- 4- contenuto fossilifero verificando quando possibile la autoctonia o alloctonia di eventuali resti di bivalvi e gasteropodi;
- 5- colore dei sedimenti, espressione di variabili condizioni ossido-riducenti degli ambienti di sedimentazione o di alterazione e pedogenesi.

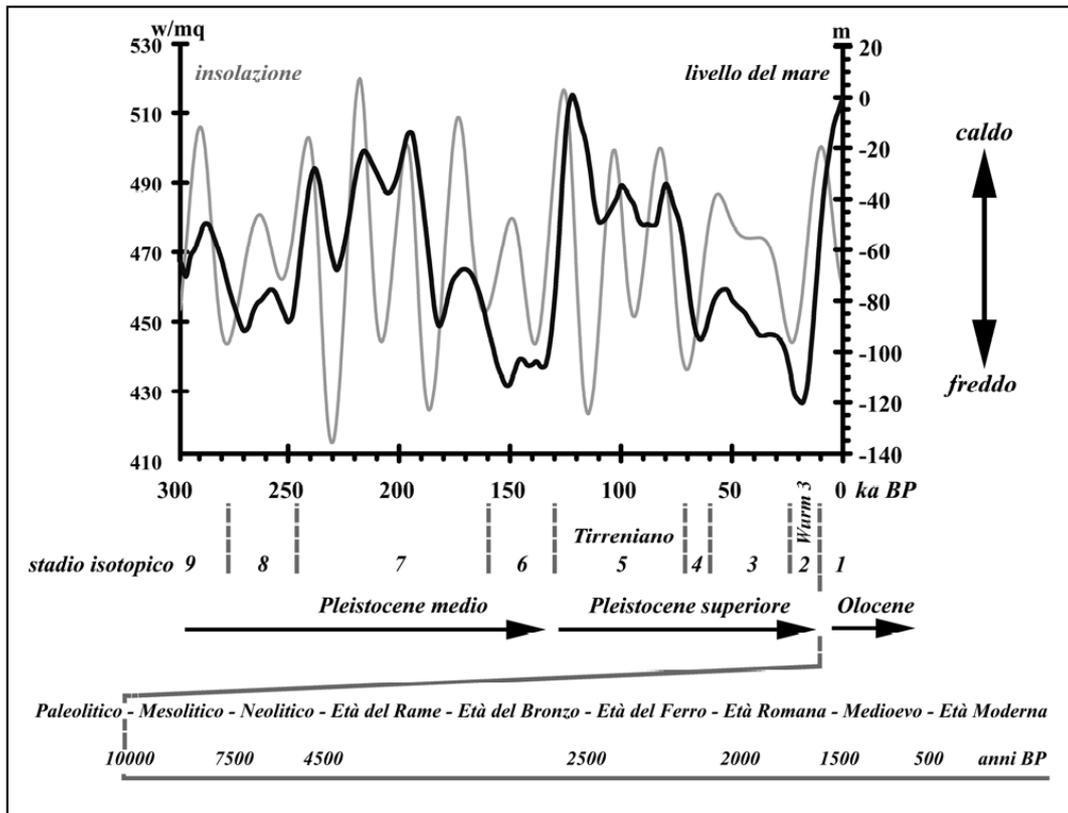


Fig. 20 – Variazioni del livello del mare e dell'insolazione dal Pleistocene medio all'Olocene (da: Silenzi et al. 2004)

E' risultato importante, nella suddivisione proposta, enfatizzare la natura, concordante e discordante dei contatti stratigrafici tra le unità definite sulla base delle osservazioni sopra elencate.

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

a3 – Depositi di versante

Limi e sabbie rossastre con clasti eterometrici ed eterogenei talora subordinati

a4 – Depositi eluvio - colluviali

Limi, limi argillosi e limi sabbiosi, talora sabbie limose, con ghiaie minute e clasti millimetrici eterogenei. Colori frequentemente rossastri. Si tratta di depositi la cui età, nell'area in esame, è riferibile all'Olocene. La loro collocazione in legenda tra le "Coperture senza attribuzione di età" viene fatta per analogia a quanto riconosciuto in areali limitrofi nei lotti adiacenti dove, 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

H1b - Depositi fluviali

Sabbie, sabbie fini limose, limi, limi sabbiosi e limi argillosi talora con clasti arrotondati eterogenei millimetrici. Talora presenza di ghiaia sparsa ed elementi millimetrici nerastri. Età: Olocene

H1a - Depositi lagunari

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

H1a1 - Depositi palustri

Limi, limi argillosi nerastri e grigi talora con qualche elemento scuri e radici. Possibili intercalazioni di sabbie molto fini e fini limose grigie. In carta sono stati rappresentati anche quando coperti da modesti spessori di suolo più sabbioso eluvio colluviale. Età: Olocene

Qt1d - Depositi fluviali

Sabbie limose, limi sabbiosi, sabbie con ghiaia (clasti tondeggianti da millimetrici a centimetrici). Ghiaia con sabbia (in sondaggio). Presenza di calcinelli e concrezioni manganesifere nei suoli. Colori prevalenti marrone ocracei talora screziati. (LGM (?) - 18ka BP). Età: Pleistocene superiore.

7.3 DEPOSITI NEOGENICI**VIL - Depositi Continentali**

Sabbie e sabbie con ciottoli poligenici alternate a conglomerati poligenici. Età: Pliocene inf.-medio (Ruscignano-Villafranchiano inferiore)

FAA - Depositi Marini

Argille grigio azzurre localmente fossilifere. Età: Pliocene inf.-medio (Zancleano-Piacenziano)

7.4 UNITÀ TETTONICHE SUBLIGURI**ACC - Argille e Calcari di Canetolo**

Argilliti e siltiti scure alternate a calcari grigi e grigio verdastri e calcareniti grigie. E' stata distinta una litofacies calcarea (ACCb) caratterizzata da strati calcarei spessi e molto spessi ed una litofacies argillitico-calcarea (ACCa) con alternanza di argilliti prevalenti, siltiti e calcari micritici, calcareniti in strati per lo più sottili e med. Età: Paleocene - Eocene

7.5 UNITÀ TETTONICHE TOSCANE

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

UNITA' DI COLLELUNGO**MAC - Macigno**

Areniti quarzoso-feldspatiche, micacee e siltiti in strati da sottili a spessi talora molto spessi, granulometria da fine a medio-grossolana, colori grigi al taglio fresco marroni e giallastre

all'alterazione. In sondaggio (4/2SD3) è presente una fascia di alterazione caratterizzata da limi sabbiosi con trovanti arenitici beige e livelletti di siltiti alterate. Età: Oligocene superiore-Miocene inferiore

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

Calcari stratificati con interstrati pelitici, colore grigio. Presenza di liste di selce e livelli di breccie con clasti di quarzo. Possibile presenza di bancate calcarenitiche grossolane a macroforaminiferi. Età: Cretaceo superiore-Eocene inferiore. (Fig.21)



Fig. 21 - Scaglia Toscana (STO3) Calcareniti a nummuliti con lista di selce (località Collecchio)

UNITA' DELLA VACCHERECCIA

V3 - Verrucano

Alternanze di litotipi costituiti da quarzoareniti e quarzoruditi con livelli subordinati di peliti talora con colori violacei. Localmente rilevati alcuni livelli carbonatici di scarsa continuità laterale. Età: pre-Retico



Fig. 22 – Affioramenti di Verrucano

UNITA' DEI MONTI DELL'UCCELLINA

DSD – Diaspri

Radiolariti rosso scure, talora verdastre stratificate intercalate a livelli sottili di argilliti. Età: Giurassico medio-Cretaceo inferiore (Calloviano-Berrasiano).(Fig. 23)



Fig. 23 – Affioramento di Diaspri (DSD) (Loc. Poggio Marcone)

CRA - Calcare Rosso Ammonitico

Calcari e calcari marnosi stratificati alternati a sottili strati di marne. Il colore è grigio e rosato; talora intercalati in filoni sedimentari all'interno di MAS. I calcari possono presentare una struttura nodulare. Nei calcari marnosi sono talora presenti Ammoniti e Crinoidi. Età: Lias (Sinemuriano-Toarciano)

MAS Calcare Massiccio

Calcare grigio chiaro a grana fine e finissima, stratificazione per lo più indistinta. Età: Lias (Hettangiano). Fig. 24



Fig. 23 – Affioramento Calcare Massiccio (MAS)

8 DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA IN ASSE AL TRACCIATO

8.1 GEOLOGIA

Nell'ambito del presente capitolo si riportano, procedendo da nord a sud, le considerazioni a tema geologico di interesse tecnico per la realizzazione dell'opera, relativamente al profilo geologico longitudinale, tracciato 30 metri in destra rispetto all'asse stradale.

Il tratto in esame si caratterizza come un settore allungato in direzione N-S, attualmente depresso e confinato tra i monti dell' Uccellina ed i rilievi orientali di Monte Cornuto - Poggio Aquilone. I sondaggi eseguiti evidenziano come sopra il substrato roccioso, costituito da terreni delle Unità Tettoniche Toscane e dell'Unità Subligure, siano presenti sedimenti alluvionali che sembrano indicare la coalescenza di apparati laterali di conoide fluviale di età pleistocenica. La zona situata all'altezza di Alberese Scalo costituisce una zona di alto, caratterizzato da una sella morfologica che determina il deflusso verso nord e verso sud dei corsi d'acqua. Negli assi vallivi i depositi olocenici sono costituiti da depositi palustri, caratterizzati da peliti o sabbie fini di ambiente mal drenato in condizioni riducenti e da depositi alluvionali.

Il tracciato, nella sua parte iniziale, si sviluppa sui terreni fluviali pleistocenici ascrivibili all'unità Qt1d fino a **progr. 0+231** dove passa, fino a **progr. 2+870**, a depositi alluvionali olocenici H1b. Nel tratto iniziale il substrato sottostante i depositi pleistocenico-olocenici è costituito da arenarie del Macigno che spesso si presentano alterate al contatto, con spessori che superano i 7 metri. Alla **progr. 1+130** la formazione delle Argille e Calcari di Canetolo, nella litofacies argillitico calcarea (ACCa) sovrascorre sulla formazione del Macigno. Anche la formazione delle Argille e Calcari di Canetolo (ACCa) si presenta spesso alterata, con disfacimento della parte argillitica a limo argilloso ed argilla limosa talora con clasti. Da circa **progr. 1+217** al di sotto dei depositi olocenici H1b sono riconoscibili terreni appartenenti ai depositi fluviali di conoide pleistocenici Qt1d. Alla **progr. 2+870** il tracciato si imposta sui depositi pleistocenici Qt1d che proseguono fino a **progr. 3+465**. Da qui fino a **progr. 5+200** l'opera si sviluppa su depositi olocenici paludosi caratterizzati da prevalenti limi argillosi e argille limose con locale presenza di materiale organico e sabbie limose. I colori dominanti sono grigiastri. Da **progr. 5+200** a **progr. 6+170** si intercettano ancora dei depositi pleistocenici Qt1d. Attorno al sondaggio 4/2 SD12 si ipotizza la presenza di un substrato calcareo estremamente fratturato attribuito alla formazione della Scaglia Toscana - Calcari a Nummuliti (STO3).

Da progr. **6+170** a **progr. 9+423** il tracciato si attesta nei depositi fluviali H1b che da circa **progr. 8+079** a **progr. 9+221** poggiano su un sottile livello di depositi palustri H1a1. Da **progr. 9+423** a **progr. 9+643** i depositi sono costituiti da detrito eluvio colluviale (a4) poggiante su depositi Qt1d. In questo settore, al di sotto dei depositi quaternari, è presente un substrato (riconosciuto all'altezza del sondaggio 4/2-SD17) costituito da terreni dell'Unità Tettonica dei Monti dell'Uccellina; in particolare dai Calcari Rosso Ammonitico (CRA) e dal Calcare Massiccio (MAS). Circa a **progr. 9+320** i calcari STO3 dell'Unità di Collelungo sovrascorrono sul Calcare Massiccio (MAS). La zona di faglia è caratterizzata da una intensa fratturazione. La formazione STO3 affiora tra progr. **9+643** e **progr. 9+710**. Alla **progr. 9+854** viene nuovamente intercettato il piano di scorrimento di STO3 sul Calcare Massiccio (MAS).

Il tracciato prosegue da **progr. 9+710** e **progr. 11+114** su depositi eluvio colluviali (a4) derivanti dai vicini rilievi. Questa coltre di detrito poggia direttamente sul substrato di Calcare Massiccio (riconosciuto in sondaggio 4/2-SD19) fino a circa **progr. 10+431** per poi passare a depositi Qt1d.

I terreni pleistocenici Qt1d costituiscono i depositi intercettati dall'opera da progr. **progr. 11+114** a **progr. 12+655**. Nella zona del sondaggio 4/2-SD21, al di sotto dei depositi sciolti pleistocenici Qt1d, si riconosce la presenza di un substrato calcareo costituito da Calcare Rosso Ammonitico sovrascorso a **progr. 12+077** dai Calcari a Nummuliti STO3. Il sovrascorrimento risulta rigettato da una faglia subverticale. In questo settore (sondaggi 4/2-SD22 e C-S20) si segnala una intensa fratturazione tettonica. I calcari STO3 affiorano tra **progr 12+655** e **progr. 12+726**.

Da **progr. 12+726** a **progr. 14+046** i depositi su cui si attesta l'opera in progetto sono costituiti da terreni Qt1d. Si segnala che al di sotto di questi depositi circa a **progr. 12+769** è presente il sovrascorrimento che sovrappone le Argille e Calcari di Canetolo su STO3 dell'Unità Tettonica di Collelungo, mentre da **progr. 13+006** a **progr. 13+469** si ipotizza la presenza di depositi pliocenici costituiti da sabbie e ciottoli - VILa ed Argille azzurre - FAA affioranti in areali limitrofi.

Da **progr. 14+046** a **progr. 14+886** si intercettano depositi palustri H1a1 caratterizzati da limi argillosi ed argille limose prevalentemente grigiastri con locali livelli sabbiosi. Da **progr. 14+886** a fine lotto i depositi passano a depositi lagunari H1a caratterizzati da argille limose e limi grigi con presenza di malacofauna salmastra.

8.2 GEOMORFOLOGIA

I principali elementi geomorfologici di interesse per la realizzazione dell'opera sono stati rappresentati nella cartografia allegata al progetto e sono stati 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 sfavorevoli per i deflussi ed a rischio di allagamento.

Il tracciato nella parte iniziale si sviluppa su terreni di conoide pleistocenica a quote superiori rispetto alla pianura adiacente ove sono segnalate zone a Pericolosità idraulica molto elevata (P.I.M.E.) dalla cartografia del "Piano di Assetto Idrogeologico - Bacino Regionale Ombrone" (PAI) che non interferiscono con l'opera.

Da **progr. 1+192** a **progr. 1+595** viene attraversata una zona segnalata a pericolosità idraulica molto elevata.

Il tracciato prosegue senza intercettare elementi geomorfologici di particolare rilievo fino a **progr. 13+977** dove, scendendo nella piana che degrada verso il Golfo di Talamone, si attraversa una zona segnalata a P.I.M.E. che si sviluppa fino a fine tracciato.

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.