

AUTOSTRADA (A1) : MILANO – NAPOLI

TRATTO : BARBERINO – FIRENZE NORD

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO

VARIANTE - Sottoattraversamento autostrada A1  
PROGETTO DEFINITIVO

## DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA

<b>IL GEOLOGO</b>  Dott. Vittorio Boerio Ord. Geol. Lombardia N.794  <b>RESPONSABILE UFFICIO GEO</b>	<b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>  Ing. Michele Pastorino Ord. Ingg. Savona N. 1104  <b>CAPO COMMESSA/PROJECT ENGINEER</b>	<b>IL DIRETTORE TECNICO</b>  Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492  <b>RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE</b>
---	--	---

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO							DATA:	REVISIONE	
	DIRETTORIO			FILE				SETTEMBRE 2014	n.	data
—	codice	commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.			
—	1	1	0	1	8	1	0	3	<b>STPGE04001</b>	—
								SCALA:	—	

 <b>ingegneria europea</b>	<b>PIANIFICAZIONE COMMESSE</b>  Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
			ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :
CONSULENZA A CURA DI :	—	IL RESPONSABILE UNITA' STP	Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

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

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE .....</b>	<b>4</b>
2.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI .....	4
2.2	ATTIVITA' SVOLTE IN SITO .....	5
2.3	ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI .....	6
2.4	ANALISI DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE .....	8
2.5	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA .....	8
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA .....</b>	<b>12</b>
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	12
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE .....	14
<b>4</b>	<b>ASSETTO TETTONICO DELL'AREA .....</b>	<b>18</b>
4.1	UNITA' TETTONICHE LIGURI .....	18
4.2	UNITA' TETTONICHE TOSCANE .....	22
4.3	DEPOSITI CONTINENTALI: SUCCESSIONE DEL MUGELLO E DEPOSITI ALLUVIONALI DEL BACINO DI FIRENZE – PRATO – PISTOIA .....	23
<b>5</b>	<b>STRATIGRAFIA .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
6.1	FOTOINTERPRETAZIONE .....	40
6.2	FORME E PROCESSI GEOMORFOLOGICI .....	40
<b>7</b>	<b>IL MODELLO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAZIONI DI CARATTERE IDROGEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>SISMICITA' DELL'AREA .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>APPROFONDIMENTI STRUTTURALI .....</b>	<b>59</b>

10.1	FORMAZIONE DI SILLANO .....	59
10.2	FORMAZIONE DI MONTE MORELLO.....	61
<b>11</b>	<b>DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....</b>	<b>66</b>
11.1	TRATTO Progr. 11+314 (INIZIO LOTTO) – Progr. 12+309: TRINCEE .....	67
11.2	VIADOTTO MARINELLA E TRATTO FINO A Progr. 12+908.....	68
11.3	GALLERIA BOSCACCIO .....	69
11.4	TRATTO 14+881 – 17+543,73: RILEVATI .....	73
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la porzione di territorio attraversata dall'Autostrada A1 Milano – Napoli, nell'ambito del progetto autostradale di ampliamento alla terza corsia del tratto Barberino di Mugello - Incisa Valdarno, relativamente alla sub-tratta Barberino di Mugello - Firenze nord, con particolare riferimento al Lotto 1 (da progr. Km 11+314.70).

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

La presente relazione illustra quanto rappresentato nella cartografia geologico - geomorfologica e nel profilo geologico longitudinale allegate al presente progetto.

La ricostruzione geologica si è basata sia sui dati bibliografici, sia sui dati rilevabili in sito relativamente ad un'areale esteso per oltre 100 km<sup>2</sup> attorno all'asse di progetto (vedi planimetria geologico-strutturale di inquadramento generale alla scala 1:10.000); inoltre sono state considerate tutte le indagini geognostiche eseguite nell'ambito delle fasi progettuali a oggi disponibili.

## 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Nell'ambito dei paragrafi successivi vengono elencate 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:

- Università degli Studi di Firenze relativamente alle seguenti tematiche:
  - cartografia geologica (Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale alla scala 1:250.000 CNR, 1982); cartografia geologica della Regione Toscana scala 1:10.000 (CARG 2008); Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 252 "Barberino di Mugello", Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 264 "Borgo San Lorenzo");
  - letteratura geologico - strutturale e litologica dell'area in oggetto, come riportato in bibliografia;
- dati acquisiti in fasi precedenti:
  - cartografia geologico - geomorfologica e relazione geologico - geomorfologica relativa al progetto definitivo della tratta Barberino – Firenze Nord;
  - dati geognostici pregressi relativi alle campagne d'indagine realizzate dal 1990 al 2003 per la progettazione preliminare e definitiva delle varianti autostradali e sondaggi geognostici relativi alla costruzione e manutenzione dell'Autostrada esistente;
  - "Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico" dell'Autorità di Bacino Fiume Arno - "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante" (aggiornamento 11/2009), approvato ed entrato in vigore con D.P.C.M. 06/05/05;
  - "Carta dei dissesti" del P.T.C.P. della Provincia di Firenze;

- Fotografie aeree (C.G.R. - Compagnia Generale Riprese Aeree Parma volo 3/4/2005) e locali integrazioni con voli precedenti (consultati presso l'Istituto Geografico Militare di Firenze) relativamente a problematiche evidenziate durante i rilevamenti e le attività di indagine geognostica;
- Catasto delle Grotte e delle aree carsiche della Toscana - aggiornamento anno 2006 (Federazione Speleologica Toscana);
- Consultazione della cartografia geologico - geomorfologica "Indagini geologico - tecniche di supporto al Piano Strutturale" dei Comuni di Barberino di Mugello e Calenzano.

## **2.2 ATTIVITA' SVOLTE IN SITO**

Sono state eseguite le seguenti attività di campagna:

- rilievi geomeccanici su affioramenti rappresentativi delle diverse litologie cartografate (campagna rilievi serie RG, campagna rilievi serie RGE, campagna integrativa rilievi serie RGI);
- analisi diretta del materiale carotato nel corso dei sondaggi geognostici eseguiti relativamente all'asse autostradale di progetto ed alle viabilità di servizio;
- attività di rilevamento geologico e geomorfologico:
  - rilevamento geologico e geomorfologico in scala 1:5.000, con particolare approfondimento di quei settori che, in seguito alle risultanze delle indagini geognostiche, hanno presentato aspetti di maggiore interesse progettuale;
  - verifica puntuale in sito del rilevamento geomorfologico in scala 1:5000, con particolare riferimento al riconoscimento ed alla caratterizzazione dei processi di versante, alla verifica ed all'integrazione di quanto evidenziato dalle Carte di perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante (da P.A.I. e da P.T.C.P. per alcuni settori);

- integrazione di alcuni dati relativi ad elementi idrogeologici in sito, quali sorgenti e pozzi.

### **2.3 ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI**

I dati di sottosuolo analizzati riguardano le stratigrafie delle campagne geognostiche (sondaggi e pozzetti esplorativi), eseguite nel corso degli anni lungo tutto il tracciato della Barberino – Firenze Nord, tali dati sono stati utilizzati per la redazione della carta geologica, del profilo geologico longitudinale e delle sezioni geologiche trasversali a corredo della cartografia.

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, il secondo livello di attendibilità è stato attribuito ai sondaggi di cui sono state reperite le stratigrafie corredate di documentazione fotografica, infine sono state considerate quelle perforazioni delle quali è risultata disponibile unicamente la stratigrafia.

In particolare si è proceduto alla diretta osservazione delle carote relative ai seguenti sondaggi, distinti per campagna ed elencati partendo da nord a sud:

ANNO 2010: FR1, FR2, FR3, FR4, FR5, FR6, FR7, FR8, FR8BIS, FR9, FR9BIS, FR10, FR11, FR12, FR13, FR13BIS, FR14, FR15, FR16, FR17, FR18, FR19, FR20;

ANNO 2006-2007 (viabilità di servizio): AB5, AB5BIS, AB6, AB6BIS, AB6TER, AB7, AB8, AB8BIS, AB9, AB10, AB11, VBF1, VB2, VBF3, VBF4, VBF6, VBF7, VBF8, VBF8BIS, VBF8TER, VBF9, VBF9BIS, VBF10, VBF11, VBF12, VBF13, VBF14, VBF17, VBF18, VBF19, VBF20, VBF20BIS, VBF21, VBF22, VBF23, VBF24, VBF25, VBF26, VBF27, VBF28BIS, VBF28.

ANNO 2005-2006 (tracciato autostradale): IS1, IS2, IS3, IS4, IS5, IS6, IS7, IS7bis, IS7ter, IS8, IS9, IS10, IS10bis, IS11, IS11bis, S14, IS12, IS12bis, IS13, IS13bis, IS14, IS15, IS16, IS17, IS18, IS19, IS20, IS21, IS21bis, IS22, IS22bis, IS23, IS24, IS24bis, IS25, S26, S27, S28, SS4, S29, IS25bis, IS26, S30, S31, IS27bis, IS27ter, IS28, S33bis, IS27, IS28bis, IS28ter, IF4, IS29bis, S40, IS32, IS33, IS29, IS33bis,

IS34, IS34bis, S51, IS35, IS35bis, IS36, IS37, IS38, S35, IS38bis, IS39bis, IS39, S57, S58, S58bis, IS40, IS41.

I sondaggi delle campagne geognostiche precedenti utilizzati (da nord a sud) sono:

ANNI 1991-1992: S58(SV) (Svincolo Barberino).

ANNO 1998: S3(SV), S4(SV), S7(SV) (Svincolo Barberino),

ANNO 1998: S3(FiN-FiS), S4(FiN-FiS), P2(FiN-FiS), P3(FiN-FiS), P4(FiN-FiS), P5(FiN-FiS) (Ampliamento 3° corsia Barberino di Mugello – Incisa Valdarno 2° tratto: Firenze Nord - Firenze sud dal km 277+500 al km 292+243).

ANNI 2002-2003: S1, S2, S3, S4, S5, SS1, SS2, AB1, AB2, AB3, AB4, S6, S7, S8, S9, S11, S12, S13, S15, S16, S17, S18, S19, S20, SS3, S21, S22, S23, S24, S25bis, SS6, S32, S33, S34, S35, S36, S37, IF3, S38, S39, IF2, IF1, S41, S42, S43, S44, S45, S46, S47, S48, S49, S50, S53, S54, SS5, S56, S59, S60, PZ3, PZ4, PZ5.

I sondaggi realizzati lungo il tracciato esistente, a partire dagli anni '50, (indicati in planimetria qualora ubicabili) sono relativi a: Viadotto Fosso Mulinaccia, Viadotto Bellosguardo e loc. Bellosguardo, Zona Viadotto Baccheraia, Viadotto Cassiana, Viadotto il Formicaio, Podere Vicchio, Viadotto Ragnaia, Parcheggio Marinella, Viadotto Marinella.

Si segnala che, ai fini dello studio per l'adattamento e il corretto funzionamento dei dispositivi di ritenuta da bordo laterale previsti nei tratti di riqualifica delle attuali carreggiate (installazione in rilevato su arginello esistente) dell'Autostrada A1 Milano – Napoli nel tratto Barberino – Firenze Nord (dalla progr. Km 263+500 alla progr. Km 276+500), è stata eseguita nel 2009 una specifica campagna di indagini (campionamenti in sito e prove di laboratorio) non riportata nelle planimetrie redatte ma le cui risultanze finali sono state inserite negli elaborati allegati al presente progetto.

## **2.4 ANALISI DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE**

Sono state acquisite le risultanze delle prospezioni geofisiche a oggi disponibili e realizzate in diverse fasi progettuali (per la tipologia e le risultanze delle indagini geofisiche si rimanda agli specifici elaborati allegati al presente progetto); le informazioni ricavate hanno integrato gli elementi conoscitivi utili alla ricostruzione del profilo geologico e delle sezioni geologiche trasversali.

## **2.5 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA**

Sulla base delle indagini menzionate e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito un quadro geologico aggiornato dell'area di studio. Gli elementi acquisiti hanno portato alla compilazione di documenti di sintesi; in particolare sono state redatte una carta geologico-strutturale di inquadramento generale in scala 1:10.000, una carta geologica in scala 1:5000 corredata del profilo geologico longitudinale e di sezioni trasversali, ed una carta geomorfologica in scala 1:5.000. Per quanto concerne la geologia sono state riportate in carta le successioni stratigrafiche e le giaciture dei piani di strato, distinguendo le aree in affioramento da quelle dove l'ammasso roccioso è risultato sub - affiorante (ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito); la presenza di misure di strato senza affioramento indica che quest'ultimo non raggiunge dimensioni cartografabili. Sono inoltre state rappresentate le principali strutture tettoniche normali e compressive e i principali piani assiali delle strutture plicative. Le coperture detritiche (di versante o di frana) riportate in carta sono relative a spessori verificati, o presunti, maggiori di 5 m circa.

Per quanto attiene agli elementi strutturali, è opportuno evidenziare come la loro ubicazione in planimetria ed in sezione possa talora presentare un certo grado di indeterminatezza, ciò in ragione della frammentaria esposizione rocciosa e della presenza di estese coltri di detrito, di frana ed alluvionali. Attorno alle zone di faglia ed alle strutture tettoniche principali è probabile la presenza di una zona cataclastica (con fratture più o meno cementate da calcite) di cui tener conto anche se non espressamente indicata da sovrassegni. Nei profili con il sovrassegno indicante "zona intensamente tettonizzata" si intendono sia i volumi rocciosi in cui siano state verificate tramite sondaggio geognostico condizioni di fratturazione molto elevata e di

brecciatura consistenti, sia le aree con affioramenti costituiti da strati spiegazzati, fratturati o con aspetto “boudinato”. Resta inteso che ulteriori fasce ad intensa fratturazione possano essere presenti lungo il tracciato ma non essere note, in quanto non intercettate dai sondaggi e non osservabili in affioramento.

Fra i segni convenzionali riportati in legenda è stato utilizzato il simbolo di “contatto tettonizzato” per indicare quei limiti di natura presumibilmente tettonico-meccanica e non stratigrafica che sono tipici delle Unità Liguri. Questa tipologia di contatto è stata utilizzata anche nell’ambito cartografia ufficiale in scala 1:50.000 (cfr. tra gli altri Foglio 252 “Barberino di Mugello”) e si configura mediante geometrie complesse e non facilmente prevedibili a causa delle caratteristiche strutturali delle unità coinvolte. In sondaggio essi si associano sia a zone brecciate e cementate da calcite, sia a zone relativamente poco disturbate.

Sul profilo geologico longitudinale sono state riportate con apposito simbolo anche le fasce ad elevata fratturazione evidenziate dalle prospezioni geofisiche relativamente ai settori dove non fossero presenti elementi già riconosciuti.

Il profilo geologico longitudinale e le sezioni trasversali (scala 1:5.000) derivano dall’interpretazione dei dati cartografici unitamente alle risultanze delle indagini geognostiche e sismiche; le colonne stratigrafiche dei sondaggi eseguiti in asse al tracciato sono state rappresentate con colorazioni differenti da quelle dei sondaggi realizzati nelle vicinanze (sondaggi proiettati). I sondaggi esterni al tracciato di progetto, realizzati in posizione tale da escluderne l’utilizzo diretto nell’ambito del profilo longitudinale sono stati indicati solo con la sigla, omettendo la rappresentazione grafica della colonna stratigrafica; tali sondaggi hanno lo scopo di concepire tridimensionalmente la carta geologica e di consentire interpretazioni maggiormente attendibili.

Il profilo geologico longitudinale è completato anche da indicazioni finalizzate ad evidenziare gli assetti strutturali degli ammassi rocciosi di maggiore interesse progettuale, quali ad esempio strati a franapoggio, verticalizzazioni parallele al tracciato, strutture tettoniche complesse.

La carta geologica riporta inoltre i depositi e le coperture quaternarie continentali ed in particolare le aree interessate da fenomeni gravitativi, i depositi alluvionali in evoluzione e terrazzati, i depositi alluvionali e lacustri – Successione del Mugello, i detriti di versante, i detriti eluvio-colluviali e i detriti in blocchi;

La carta geomorfologia è stata concepita suddividendo l'area in due entità distinte: “depositi e coperture quaternarie continentali” (insieme dei depositi alluvionali in evoluzione e terrazzati, depositi alluvionali e lacustri – Successione del Mugello, detriti di versante, detriti eluvio-colluviali e detriti in blocchi) e in “Unità tettoniche liguri e toscane” (cioè l'insieme dei substrati rocciosi riferibili alle unità tettoniche liguri e toscane); inoltre sono state riportate le forme ed i processi geomorfologici suddivisi in alcune categorie principali:

Forme e processi dovuti a gravità e processi di pendio;

Forme e processi dovuti allo scorrimento delle acque;

Forme di dissoluzione chimica;

Forme e depositi antropici.

I processi gravitativi comprendono le frane, che nella cartografia geomorfologica vengono suddivise in forme in evoluzione ed in forme attualmente quiescenti in funzione del grado di attività, mentre nella carta geologica sono state assimilate in un'unica entità definita come “Aree interessate da fenomeni gravitativi”, ai fini di una maggiore chiarezza globale di lettura. Sono state inoltre cartografate le paleofrane, con questo termine si intendono alcuni fenomeni di dissesto, evidenziati dall'analisi fotogrammetrica, in grado di coinvolgere estese porzioni di versante, al cui interno sono talora preservati porzioni di ammasso con assetto stratigrafico ancora riconoscibile.

Nella carta geomorfologica sono stati altresì mappati i coronamenti di frana, le aree con franosità diffusa, le scarpate morfologiche (orli di scarpata o rotture di pendio) e le aree soggette a soliflusso. Queste ultime devono essere considerate con cautela

per la possibile evoluzione del fenomeno, che può essere annoverato fra quelli attivi ed equiparabili ad una frana di coltre o superficiale.

Sono state indicate con apposito simbolo anche le frane di piccola dimensione e le aree che presentano, per la loro posizione morfologica e per la litologia dei terreni, una elevata potenzialità di dissesto.

Durante le verifiche sul terreno sono state rilevate anche le lesioni riscontrate sul manto stradale, anche se naturalmente questi fenomeni sono soggetti a rapide modifiche ad opera dei frequenti interventi di manutenzione, pertanto devono essere semplicemente considerati indizi di instabilità.

Infine sono riportate in carta anche le zone morfologicamente depresse rispetto ai terreni circostanti.

Per quanto attiene alle forme legate allo scorrimento delle acque, sono state cartografate le aree soggette ad erosione superficiale diffusa e localizzata, quelle in cui l'erosione è accentuata da interventi antropici, gli alvei in approfondimento, le conoidi alluvionali e le aree con ristagno di acqua.

Nota l'abbondante presenza di rocce carbonatiche, sono state evidenziate le forme di dissoluzione chimica rilevate nell'area, in particolare doline e grotte (queste ultime riportate così come indicato nel Catasto delle Grotte della Federazione Speleologica Toscana).

Da ultimo sono stati riportati elementi di carattere idrogeologico quali sorgenti e pozzi, derivati dal censimento in sito e dai dati di archivio della Provincia di Firenze, ed i processi e le forme antropiche, che sono state suddivise in depositi e scarpate antropiche, aree di cava e aree dedicate al trattamento degli inerti.

### **3 INQUADRAMENTO DELL'AREA**

#### **3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

Il tratto di autostrada interessato dai lavori di ampliamento (in particolare il Lotto 1 oggetto del presente progetto) ha inizio alla progr. Km 11+314,70 e prosegue fino a poche centinaia di metri oltre la barriera di Calenzano (margine settentrionale della pianura fiorentina, Valdarno medio) (fig. 1).

La morfologia del territorio è quella tipica dell'alta collina, le quote massime raggiunte dai rilievi superano di poco i 900 metri, (Monte Maggiore 916 metri, ad ovest del tracciato, e Monte Morello 934 metri, ad est).

L'orografia appare disposta prevalentemente in direzione nord – sud.

I rilievi situati ad ovest dell'autostrada prendono il nome di Monti della Calvana e, rimanendo su quote superiori ai 500 metri, si saldano senza soluzione di continuità con la parte centrale della catena appenninica. Al contrario i rilievi situati ad Est, che culminano con Monte Morello, verso nord sono interrotti trasversalmente dalla valle del Sieve, sede del bacino fluvio-lacustre Plio – Pleistocenico del Mugello. Le quote alle quali si trova la valle del Sieve sono di poco superiori ai 200 metri.

L'area studiata è situata a valle del crinale delle Croci di Calenzano, spartiacque tra i corsi d'acqua che scorrono verso nord (Fosso Mulinaccia, Fosso Riotorto e Fosso Baccheraia) affluenti del Fiume Sieve, tributario del Fiume Arno e quelli che defluiscono a sud direttamente nella pianura del Valdarno medio. Il principale di questi ultimi è il Torrente Marina che corre circa parallelo al tracciato autostradale, con un andamento NNE-SSO, raccoglie le acque del suo ramo in sinistra (Torrente Marinella di Legri) all'altezza della località La Chiusa, ed affluisce nel Fiume Bisenzio a sud ovest dell'area indagata. La parte finale del tracciato autostradale, al suo sbocco in pianura, attraversa il Torrente Chiosina a sua volta affluente del Torrente Marina. Nell'area di confluenza de La Chiusa, nel tratto pianeggiante tra la strada provinciale e l'autostrada attuale, rimangono alcune tracce dell'acquedotto romano usato in tempi storici per convogliare le acque di queste zone verso Firenze.



Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area.

Al fine di ottenere un quadro geologico conoscitivo generale più completo e coerente, è stato deciso di estendere, trasversalmente, la zona di riferimento dai primi versanti occidentali del Torrente Marina, che riflette un importante lineamento tettonico di svincolo strutturale tra la porzione ovest e quella est, fino alla zona del Torrente Carzola a Pescina e Paterno, mentre longitudinalmente sono stati scelti i limiti rappresentati dalle prime propaggini del bacino fluvio - lacustre del Mugello, a nord, e da quelle del bacino fluvio - lacustre di Firenze-Prato-Pistoia, a sud.

### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE

L'area in esame, come accennato, è situata nel tratto dell'Appennino Settentrionale compreso tra le due depressioni tettoniche del Bacino del Mugello a nord, e del Bacino di Firenze – Prato - Pistoia (Valdarno medio), a sud.

L'Appennino è una catena a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi paleogeografici più interni su elementi più esterni (relativamente alla polarità della deformazione); la storia tettonica che ha portato alla sua formazione si è sviluppata in modo continuo ed è tuttora in atto. Durante la sua evoluzione è comunque possibile distinguere alcuni periodi (fasi tettoniche) in cui l'intensità delle deformazioni è risultata particolarmente elevata e tale da lasciare una registrazione stratigrafica degli eventi, così sintetizzabili:

- Dal Cretaceo all'Eocene medio (fase oceanica) si verifica la progressiva chiusura del paleo oceano ligure - piemontese con la conseguente formazione di un prisma di accrezione che coinvolge successioni liguri e subliguri. La fase tettonica principale è databile Eocene medio e viene denominata "fase ligure"; tale fase è testimoniata dall'importante discordanza fra la Successione Epiligure e le sottostanti Liguridi precedentemente deformate;
- Le fasi deformative succedutesi dall'Oligocene in poi, si sono verificate in un quadro geodinamico molto differente (fase continentale), rappresentato da un regime collisionale e post - collisionale in cui sono state via via coinvolte nella deformazione le successioni dell'avampaese toscano e umbro con i sovrastanti depositi di avanfossa (Macigno, Modino, Cervarola, Marnoso Arenacea). La migrazione continua del fronte deformativo per tutto il Miocene ed il Pliocene ha coinvolto successivamente i domini più esterni dell'avampaese appenninico (dominio umbro - marchigiano e padano) fino a determinare la configurazione attuale della catena nord - appenninica.

A partire dal Tortoniano superiore nella parte interna della catena appenninica si sono sviluppati dei bacini (es. Bacino del Mugello, Bacino di Firenze – Prato - Pistoia), che classicamente sono stati interpretati come generati in regime distensivo. Tale regime infatti era spiegato mediante un modello evolutivo della catena che

prevedeva la migrazione del fronte compressivo verso est e l'instaurarsi di un regime di estensione nelle zone più interne. Studi più recenti ipotizzano riattivazioni in compressione dei thrusts durante il tardo Miocene, il Pliocene ed il Pleistocene (Boccaletti & Sani, 1997); in particolare per il Bacino del Mugello il riconoscimento di fasi compressive nella parte interna della catena di età compresa tra il Pleistocene inferiore ed il Pleistocene medio (Piccardi *et alii*, 1997), hanno suggerito varie interpretazioni:

- a) un modello compressivo (Boccaletti *et alii*, 1999) secondo il quale il Bacino del Mugello risulterebbe essere un *thrust - top basin* legato alle riattivazioni dei thrusts dell'Unità Cervarola - Falterona e dell'Unità Castel Guerrino. La tettonica estensionale si sarebbe dunque instaurata solo nel Pleistocene superiore.
- b) un modello (Benvenuti & Papini, 1997) che prevede un'alternanza di episodi compressivi e distensivi che hanno determinato l'architettura del bacino del Mugello ed influenzato la sua sedimentazione come registrato da numerose "unconformities" tra i depositi.

Studi recenti svolti sulle faglie quaternarie del Bacino del Mugello (Delle Donne, 2000) hanno mostrato come vi siano strutture ancora attive e sismogenetiche, probabilmente guidate da antiche linee di debolezza ereditate dalla fase tettonica tortoniana, che si possono spiegare all'interno di una tettonica distensiva in un contesto generale di trascorrenza sinistra (tra le linee Prato - Sillaro e Pontassieve - Faenza).

L'elemento tettonico principale del Bacino di Firenze – Prato - Pistoia (fig. 2) è rappresentato dal sistema Prato – Fiesole, che consiste in un fascio sub-parallelo di faglie normali, disposte a gradini ed orientate circa NO-SE con immersione a SO, appartenenti alla master fault del bacino, la cui attività nel tempo ha regolato la deposizione dei sedimenti lacustri e fluviali della piana. Nell'area di studio queste faglie risultano sepolte sotto i sedimenti (Capecchi *et alii*, 1975) e la loro attività è stata verificata ed analizzata in lavori recenti (Boccaletti *et alii*, 1999).

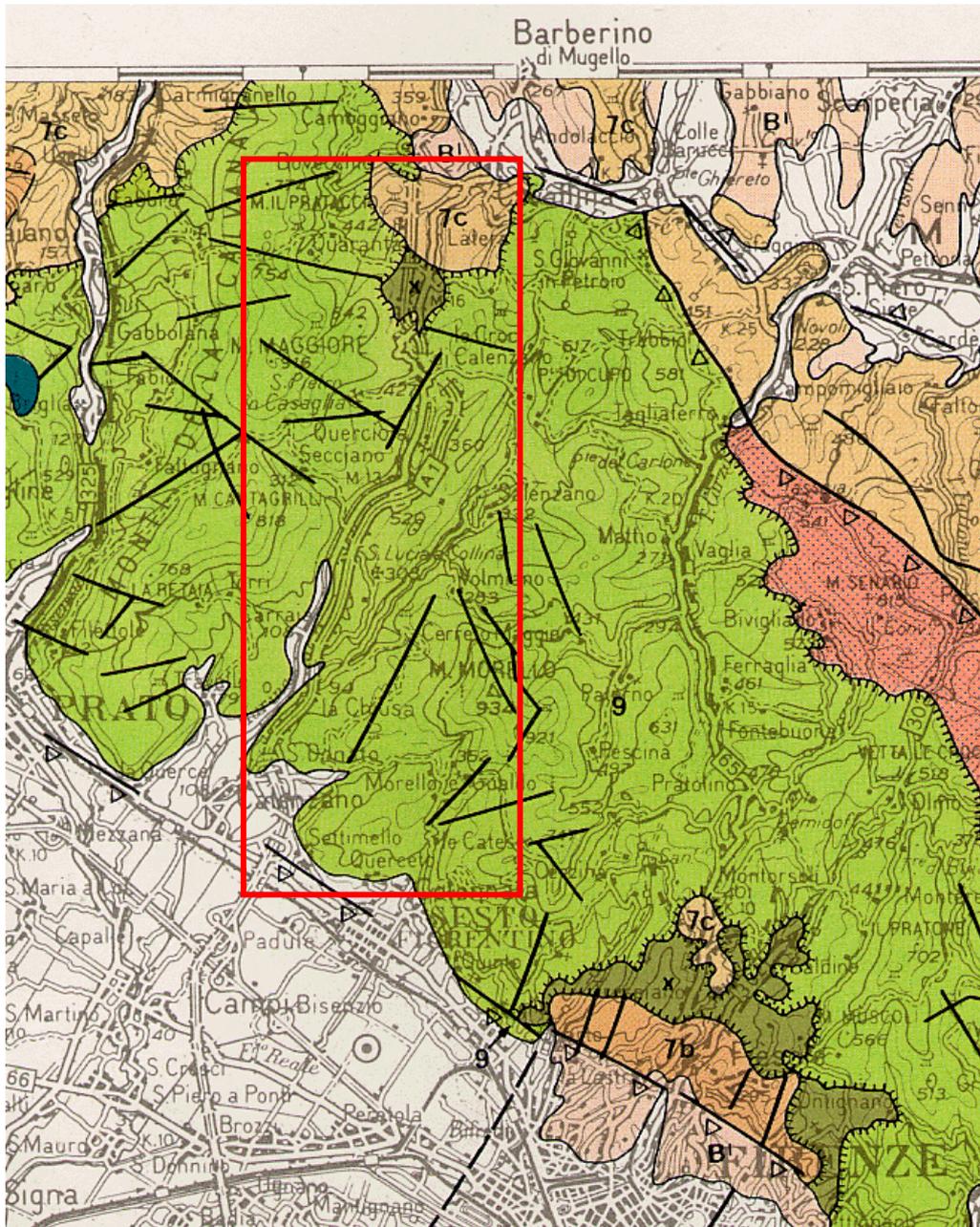


Fig. 2 – Schema tettonico dell'area (tratto da: Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale - C.N.R. 1982).

## LEGENDA

### CARTA STRUTTURALE DELL' APPENNINO SETTENTRIONALE

#### Ciclo sedimentario Neoautoctono Ligure-Tosco Umbro



**B' Sedimenti lacustri**

#### Unità Liguri (alloctone)



**9 Unità Monte Morello** (Eocene superiore-medio/Cretacico superiore)

(Pescina, Monte Morello, Sillano, Pietraforte, Villa a Radda)



**x Complesso Caotico** (Argille Scagliose AUCTT.) (messa in posto in varie fasi a partire dal Terziario comprendente clasti eterogenei appartenenti a varie unità).

#### Unità Toscane



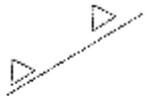
**7c Unità dei Flysch terziari** (Miocene medio/inferiore)



CONTATTO TRA UNITA' TETTONICHE



FAGLIE PRINCIPALI



PRINCIPALI FAGLIE NORMALI  
(triangoli dalla parte ribassata)

## 4 ASSETTO TETTONICO DELL'AREA

Le unità tettoniche sono definite come ammassi rocciosi delimitati da contatti meccanici che isolano corpi con diversa successione stratigrafica. In fig. 2 è riportato uno stralcio della Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale (C.N.R., 1982) che rappresenta un inquadramento generale del settore indagato: sono riconoscibili le Unità Liguri (Unità Monte Morello e Complesso Caotico) sovrascorse sulle Unità Toscane (Unità dei Flysch Terziari). In discordanza su queste unità si sovrappongono i sedimenti appartenenti al Ciclo Sedimentario Neoautoctono presenti in pianura.

Studi recenti, in corso di completamento nell'ambito del progetto di cartografia geologica regionale della Regione Toscana, hanno revisionato questo settore dell'Appennino, modificando parzialmente alcune attribuzioni all'interno delle due unità tettoniche principali: nella presente relazione si farà riferimento alla nomenclatura proposta per le sezioni 263030, 263070, 263110, nella versione consultata presso il sito internet della Regione Toscana ed a quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia – Foglio 264 “Borgo San Lorenzo” (in lavorazione) e dalla Carta Geologica d'Italia – Foglio 252 “Barberino di Mugello” (2002).

Procedendo secondo un ordine geometrico, dall'alto verso il basso della catena, si parlerà pertanto di :

- Unità Tettoniche Liguri : Unità Tettonica Monte Morello.
- Unità Tettoniche Toscane: Unità Tettonica Falterona.

### 4.1 UNITA' TETTONICHE LIGURI

#### Unità Tettonica Monte Morello

L'Unità Tettonica Monte Morello, costituita dai terreni della successione della Calvana (Supergruppo della Calvana *Auctt.*), caratterizza, con la sua complessa strutturazione, gran parte del tracciato, in particolare il settore centro-meridionale; l'Unità di Monte Morello poggia tettonicamente sul Complesso di Canetolo (Unità Tettonica Subligure non affiorante nella zona studiata) che è presente regionalmente

in modo discontinuo e quindi a luoghi sovrasta tettonicamente le Unità Toscane rappresentate in zona dal Macigno (Falda Toscana; zona di Serpiolle – Fiesole) e dalla Formazione delle Arenarie del Monte Falterona (Unità del Cervarola - Falterona; ad Ovest dei Monti della Calvana e a Sud-Ovest del Bacino del Mugello) (COLI & FAZZUOLI, 1983).

I contatti fra i vari termini dell'Unità di Monte Morello spesso presentano laminazioni e/o contatti di tipo anomalo; questo è da attribuirsi agli eventi tettonici che l'Unità ha subito in fase Ligure e durante e dopo la sua messa in posto (COLI & FAZZUOLI, 1983).

La placca dell'Unità di Monte Morello nella zona dei Monti della Calvana - Monte Morello, pur rappresentando un insieme tettonico unico e continuo, può esser divisa, da un punto di vista strutturale, in tre blocchi distinti, con caratteristiche interne proprie (MERLA *et al.*, 1967; COLI & FAZZUOLI, 1983; CICALI & PRANZINI, 1984):

(1) Monti della Calvana: questa è la zona più ad Ovest della placca dell'Unità di Monte Morello, è formata da una dorsale che si sviluppa in senso NE-SW e dislocata da faglie con direzione NW-SE che dividono la dorsale in tre blocchi principali, di cui quello centrale è fortemente ribassato rispetto agli altri due. Il blocco più a Nord è caratterizzato da una struttura a pieghe rovesciate verso Est che presentano al nucleo locali affioramenti della Formazione di Pescina. Simile a questo blocco è la struttura del blocco centrale. Il blocco più a Sud, invece è caratterizzato prevalentemente da strutture di taglio con direzione sia appenninica che antiappenninica. Le strutture plicative presenti suggeriscono un originario sovrascorrimento di questa porzione della placca dell'Unità di Monte Morello su quella dell'adiacente dorsale di Poggio Bucine-Montroti-Montemignano (COLI & FAZZUOLI, 1983) da cui però attualmente risulta separata dalla serie di faglie normali del Torrente Marina, che ribassano il blocco ad est.

(2) Dorsale Poggio Bucine-Montroti-Montemignano: questa dorsale presenta una struttura complessa costituita da una struttura anticlinale da stretta a chiusa est vergente che a nord, almeno in affioramento, chiude la Formazione di Monte Morello su se stessa, mentre a sud si apre con al nucleo la Formazione di Sillano. Questa struttura risulta complicata sul versante del Torrente Marina dall'insieme delle faglie

normali che ribassano questo blocco rispetto ai Monti della Calvana. L'andamento e l'intersezione di queste faglie, che segmentano in vario modo i rapporti sedimentari originali e tettonici tra la Formazione di Monte Morello e la Formazione di Sillano, danno luogo a complessi rapporti tra queste due formazioni. Sul versante del Torrente Marinella di Legri è presente una struttura sinclinalica chiusa, che a sud comprende i soli termini della Formazione di Monte Morello, mentre verso nord, nella zona di Poggio Fontanelle ha al nucleo una probabile presenza della Formazione di Pescina. Circa lungo la linea di fondovalle del Torrente Marinella di Legri è presente un contatto dritto, ma thrustato, della Formazione di Monte Morello sulla Formazione di Sillano; più a sud questo contatto sale verso Volmiano (Fig.3) nel blocco di Monte Morello.

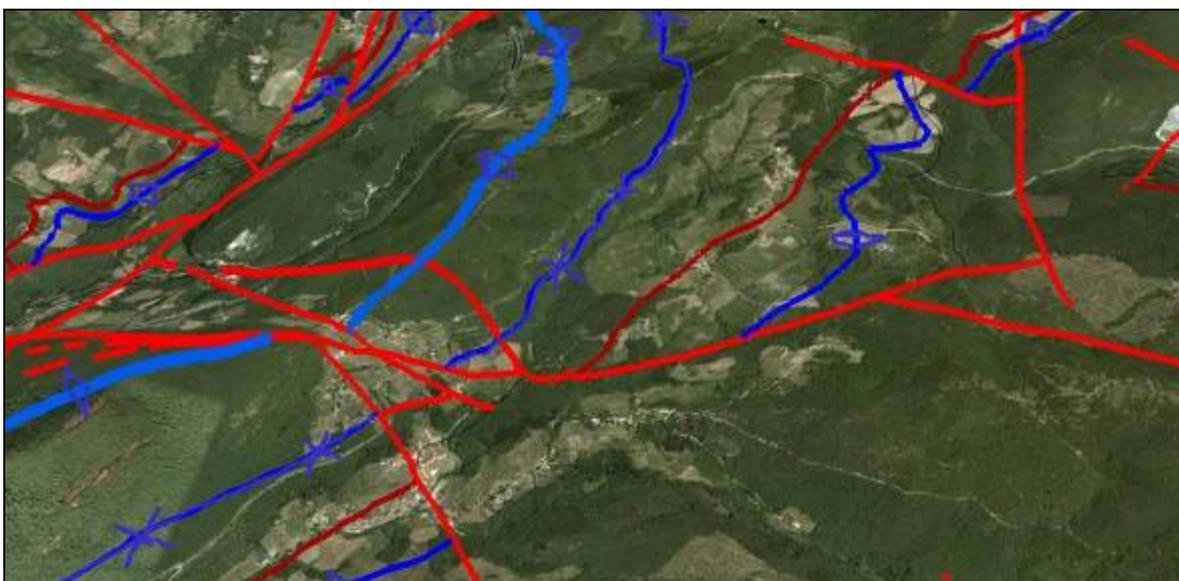


Fig. 3 - Panoramica della dorsale di Poggio Bucine-Montroti-Montenignano con evidenziate le principali strutture tettoniche; in rosso faglie normali e sovrascorrimenti, in blu tracce di piani assiali di sinclinali ed anticlinali, per dettaglio vedi Cartografia geologica.

(3) Monte Morello: la struttura della dorsale di Monte Morello, è costituita da una grande sinclinale rovesciata verso Est, frammentata da strutture di taglio sia a direzione appenninica che antiappenninica. La grande sinclinale, rovesciata verso Est, si sviluppa dal versante orientale di Monte Morello, con al nucleo la Formazione di Pescina, e si chiude al nucleo verso ovest, dove al nucleo possono essere presenti sporadici lembi fortemente boudinatis della Formazione di Pescina. Ad Est, lungo la valle del Torrente Carza si ha un contatto dritto ma tettonizzato con la sottostante Formazione di Sillano; il nucleo principale della sinclinale, con estesi affioramenti

della Formazione di Pescina, è presente nella zona di Cerreto Maggiore-Paterno-Pescina-Ceppeto. Ad ovest affiora estesamente il fianco rovesciato (Fig. 4) fino alla valle del Torrente Marinella di Legri ove si ha la presenza di una struttura anticlinale thrustata sul fianco normale con al nucleo la Formazione di Sillano.



Fig. 4 - Panoramica del versante sud di Poggio all'Aia con ben evidente la traccia di piano assiale della grande sinclinale di Monte Morello poi ribassata verso est da una grande faglia normale circa appenninica.

Il fianco rovescio è interessato da pieghe minori e localmente (versante orientale di Poggio all'Aia) anche da pieghe coricate a raggio molto stretto ad andamento appenninico. In tutta l'area sono diffusamente presenti elementi strutturali della tettonica distensiva plio-quadernaria, con faglie variamente orientate, che mettono in contatto blocchi dritti con blocchi rovesci.

Lo studio cronologico delle varie fasi deformative (COLI & FAZZUOLI, 1983), ha evidenziato che tutte le strutture plicative sono da riferirsi ad una stessa fase. Di questa fase il limite temporale inferiore è correlabile con la fine della deposizione della Formazione di Pescina (Eocene). Per quanto riguarda il limite superiore si ritiene che la formazione delle strutture plicative sia precedente alla sua messa in posto (MERLA *et al.*, 1967).

Grosse discordanze quali la direzione degli assi delle pieghe delle Unità (Unità di Monte Morello NNE-SSW e nelle Unità Toscane sottostanti NW-SE), hanno permesso di collocare l'età dell'evento plicativo all'Oligocene e correlarla allo sradicamento dell'Unità di Monte Morello dal suo substrato (Fase Ligure) (COLI & FAZZUOLI, 1983).

Secondo BORTOLOTTI (1964) il movimento per mezzo del quale l'Unità di Monte Morello si è messa in posto, è stato da Ovest verso Est, ed è caratterizzato dal "galleggiamento" dei termini più rigidi e coerenti (Formazione di Monte Morello) su quelli inferiori più plastici (Formazione di Sillano). Questo movimento di messa in posto, ha come limite temporale inferiore il Tortoniano, periodo nel quale si hanno le deformazioni plicative delle sottostanti Unità Toscane e come limite superiore l'instaurarsi della tettonica distensiva. L'età della fase tettonica distensiva (Tortoniano), che risulta essere posteriore a quella plicativa, è da correlarsi all'età delle faglie che interessano e delimitano i bacini plio - quaternari fluvio - lacustri di Firenze-Prato-Pistoia e del Mugello (CAPECCHI et al., 1975; BARTOLINI & PRANZINI, 1979; BENVENUTI, 1997; BRIGANTI et al., 2003).

Durante questa complessa storia tettonica le strutture plicative primarie sono state variamente sezionate da faglie normali con rigetti da decametrici a ettometrici ma anche da strutture disgiuntive compressive appenniniche che, con rigetti al massimo delle decine di metri.

## **4.2 UNITA' TETTONICHE TOSCANE**

### **Unità Tettonica Falterona**

A nord dell'area di studio (nei pressi di Barberino di Mugello) sono presenti anche i terreni appartenenti all'Unità Tettonica Falterona. L'assetto della formazione delle Arenarie del Monte Falterona nell'area è generalmente monoclinale, immergente verso SE. Gli strati sono interessati da blande ondulazioni le cui superfici assiali intersecano la topografia con andamento N-S e NE-SO. Le faglie cartografate in questa unità hanno direzioni prevalenti N-S e subordinatamente NE-SO. Il sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Monte Morello ha determinato una accentuata

fratturazione degli ammassi coinvolti, registrata soprattutto nella porzione pelitica degli strati torbiditici, come è risultato evidente dall'analisi dei sondaggi geognostici. Appena più a sud il contatto tra la formazione delle Arenarie del Monte Falterona e le Marne di Galiga si esplica mediante una faglia immergente verso sud, con ribassamento della porzione meridionale. Ancora poco più a sud l'Unità Tettonica Monte Morello sovrascorre sull'Unità Tettonica Falterona: il piano di sovrascorrimento, immergente verso sud, risulta frequentemente verticalizzato probabilmente a causa di movimenti impostatisi successivamente nella zona di contatto.

#### **4.3 DEPOSITI CONTINENTALI: SUCCESSIONE DEL MUGELLO E DEPOSITI ALLUVIONALI DEL BACINO DI FIRENZE – PRATO – PISTOIA**

L'area di studio è compresa tra i due bacini tettonici del Mugello a nord, e di Firenze – Prato - Pistoia a sud, sull'origine di queste depressioni esistono varie ipotesi, come accennato nel capitolo precedente. I sedimenti pleistocenici riconosciuti nel tratto studiato non presentano dislocazioni evidenti ma molte delle faglie sepolte sotto questi depositi sono considerate attive, come illustrato in figura 5.

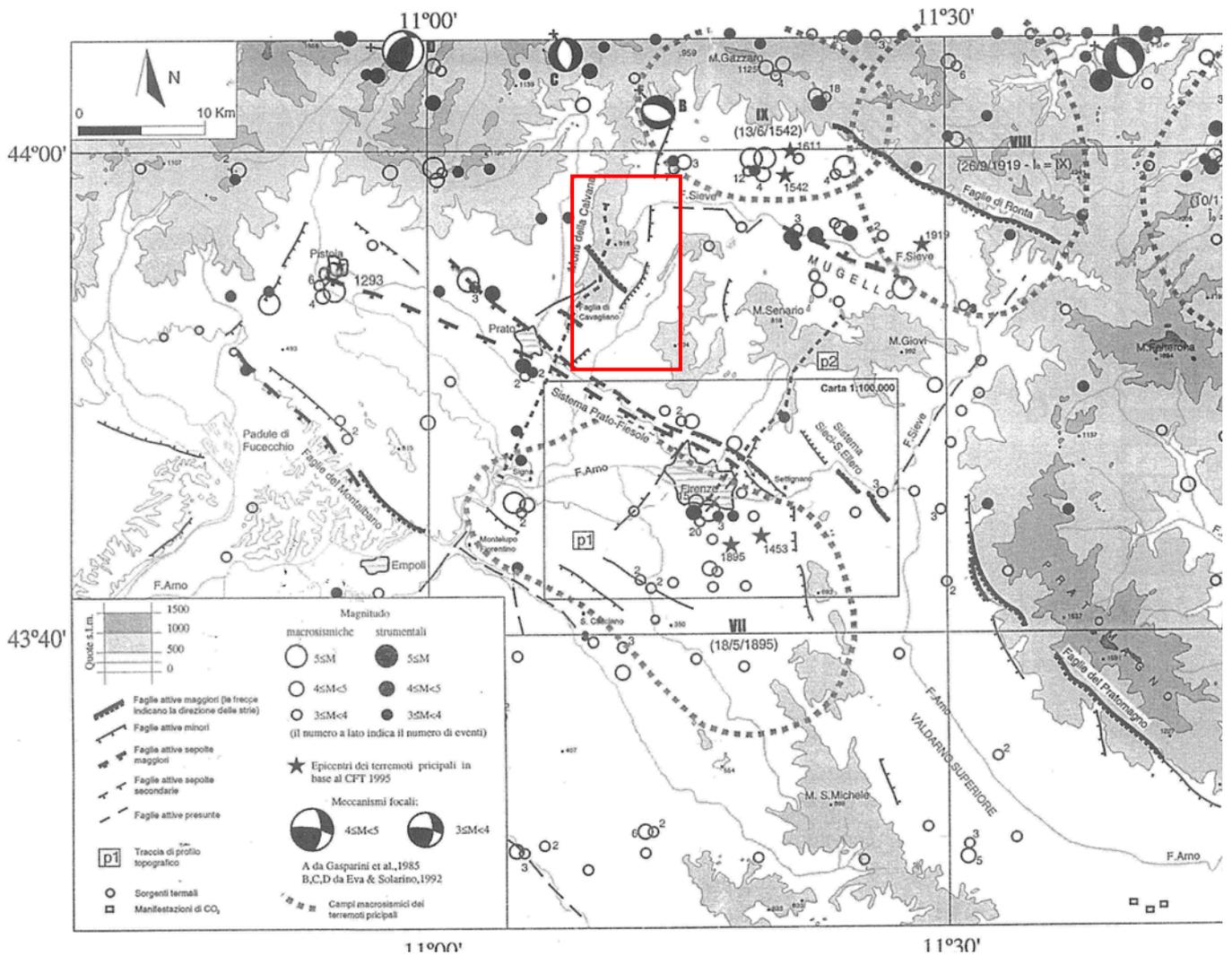


Fig.5 – Carta sismotettonica del Bacino di Firenze – Prato - Pistoia ed aree limitrofe (Boccaletti et alii, 1999)

## 5 STRATIGRAFIA

Nell'ampia zona studiata risultano presenti, in ordine stratigrafico dall'alto verso il basso (Fig.6), i seguenti termini: Argilliti di Pescina, Formazione di Monte Morello, Formazione di Sillano (BORTOLOTTI, 1962).

Si tratta di una successione depositasi tra il Cretaceo Superiore e l'Eocene Inferiore-Medio. Nelle aree tipo essa è caratterizzata (Fig.7) da una porzione inferiore a dominante argillitica (Formazione di Sillano) nella quale si intercala un potente e articolato corpo di torbiditi arenacee quarzoso-calcaree (Pietraforte, non affiorante nella zona di interesse) e da una parte superiore costituita da torbiditi prevalentemente carbonatiche (Formazione di Monte Morello) che passano verso l'alto a livelli argillitici ed argillitico - marnosi (Argilliti di Pescina).

Nella zona dei Monti della Calvana-Monte Morello, a nord di Prato-Firenze (Fig.8), le suddette Formazioni si presentano con le seguenti caratteristiche litostratigrafiche.

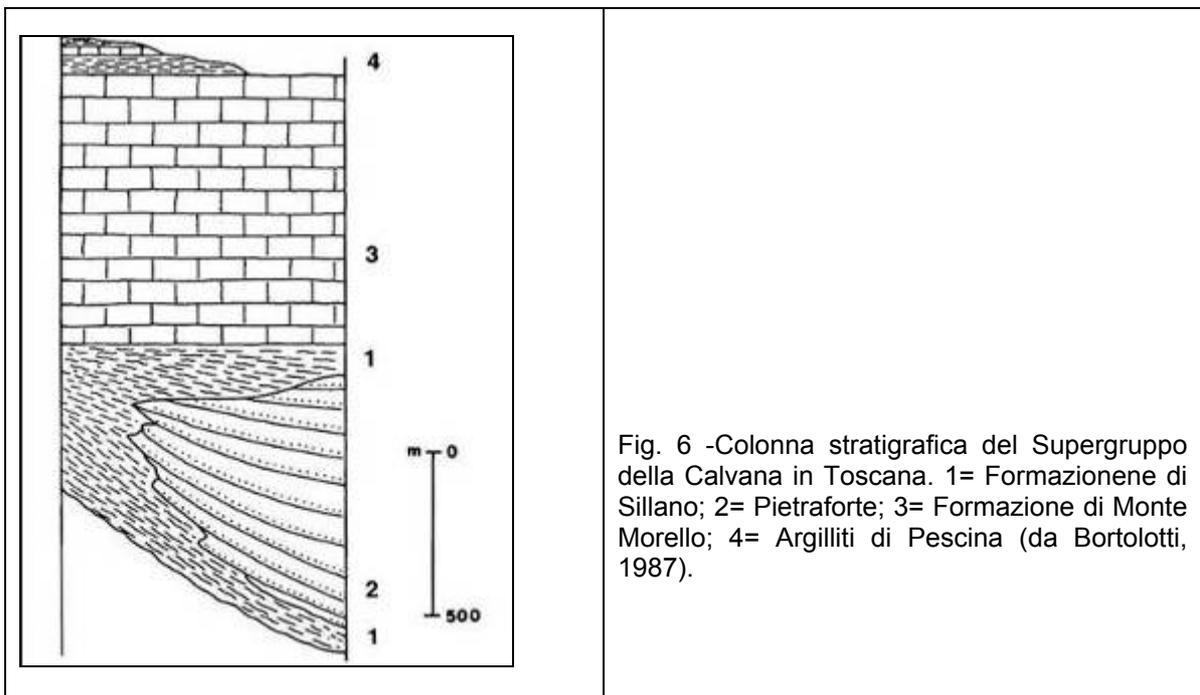


Fig. 6 -Colonna stratigrafica del Supergruppo della Calvana in Toscana. 1= Formazionene di Sillano; 2= Pietraforte; 3= Formazione di Monte Morello; 4= Argilliti di Pescina (da Bortolotti, 1987).

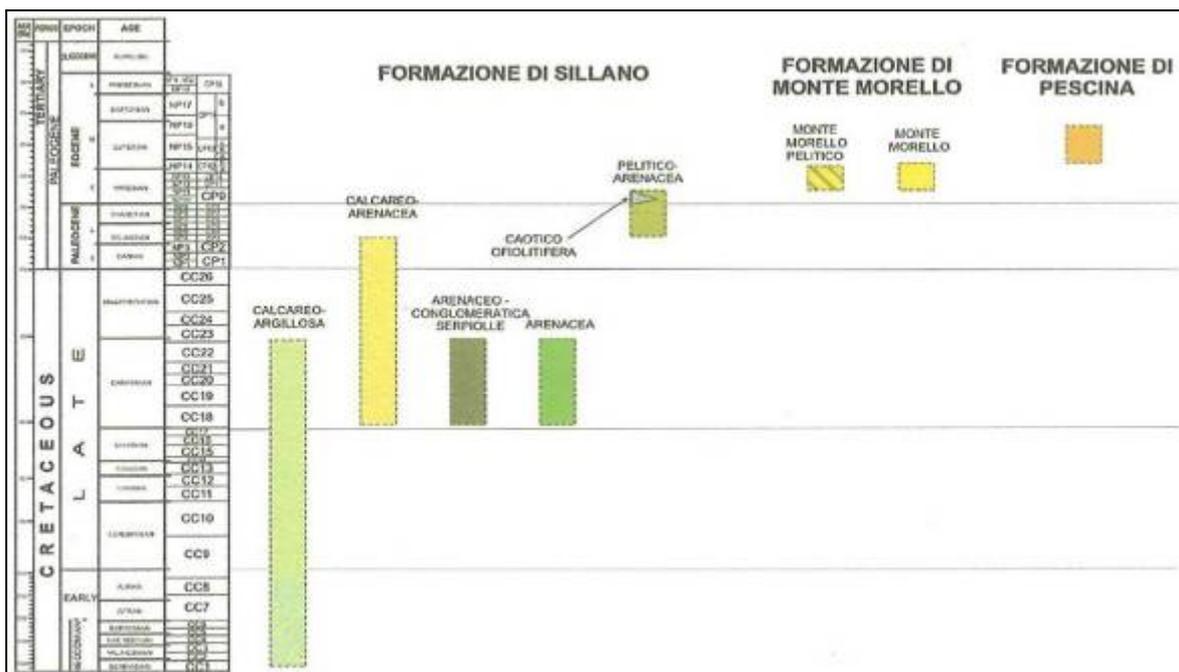


Fig. 7 - Schema dei rapporti cronostatigrafici delle varie Formazioni e litofacies del Supergruppo della Calvana nella zona di Monte Morello-Monti della Calvana (da Nirta, 2006).

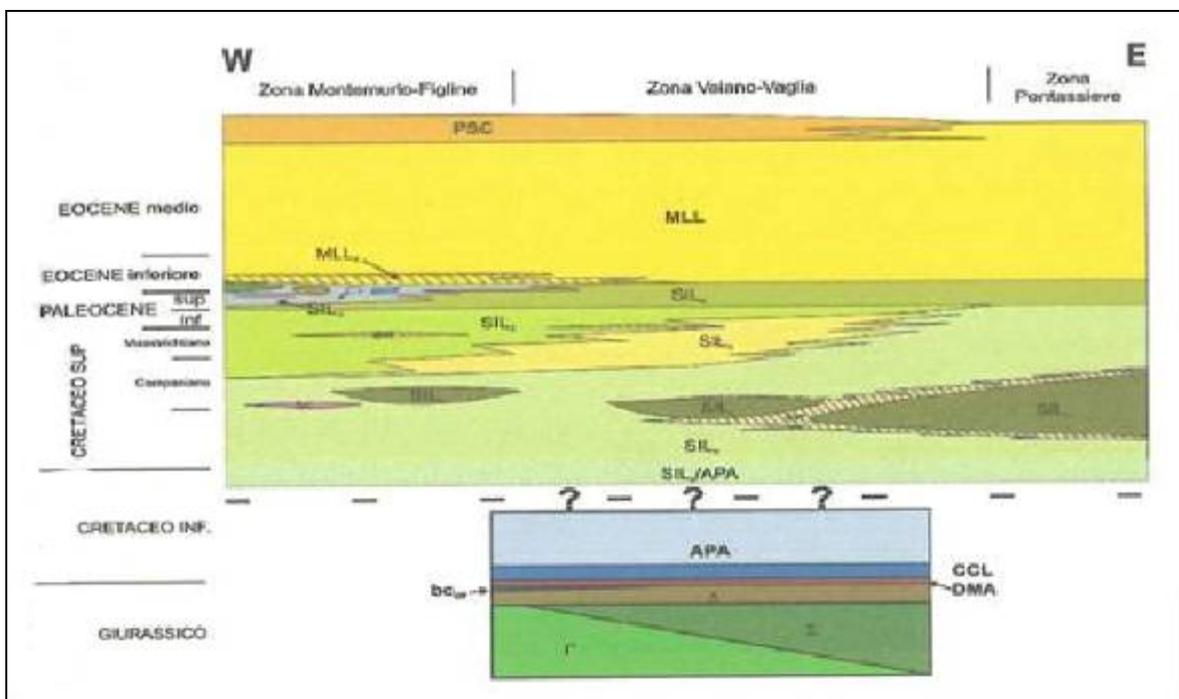


Fig. 8 - Schema delle unità litostatigrafiche riconosciute nell'Unità di Monte Morello nei monti a Nord di Prato-Firenze. PSC) Formazione di Pescina; MLL) Formazione di Monte Morello; MLLp) Formazione di Monte Morello: litofacies calcareo-pelitico-marnosa; SILa) Formazione di Sillano: litofacies argilloso-calcarea; SILb) Formazione di Sillano: litofacies calcareo-arenacea; SILc) Formazione di Sillano: litofacies arenaceo-conglomeratica; SILd) Formazione di Sillano: litofacies

arenacea; SIlE) Formazione di Sillano: litofacies pelitico-arenacea; SIlOl) Formazione di Sillano: litofacies caotico-ofiolitifera; SIl/APA) zona di transizione ???; APA) Argille a Palombini; CCL) Calcari a Calpionelle; DMA) Diaspri di Monte Alpi; bcof) brecce ofiolitiche; Δ) Basalti; Σ) Serpentiniti (Lherzoliti); Γ) Gabbri (da: Nirta, 2006).

### **Formazione di Pescina (PSC)**

Tale formazione non affiora nei pressi del Lotto in oggetto ma affiora estesamente nella zona di Pescina – Paterno - Cerreto Maggio al nucleo della grande struttura sinclinalica della Formazione di Monte Morello a Monte Morello, ma anche sporadicamente come lenti boudinate mal cartografabili lungo il piano assiale della grande sinclinale di Monte Morello o di altre sinclinali minori nel gruppo dei Monti della Calvana.

La Formazione di Pescina è costituita da argilliti-siltoso-marnose brune e nocciola in livelli fino a 3m di spessore alternate a calcari nocciola in strati da fini a spessi e livelli di circa 20cm di calcareniti fini grigio-blu, calcari marnosi e calcari silicei verdi in strati di 10÷15cm; nei livelli argilliti sono presenti concrezioni nodulari di barite.

Lo spessore massimo stimato è di circa 100m, l'età è riferita all'Eocene Medio-Superiore (MERLA *et al.*, 1967).

### **Formazione di Monte Morello (MML)**

Alternanza di calcari e calcari marnosi nocciola e grigio chiari da compatti a granulosi, talora con base calcarenitica, marne da avana a grigie e siltiti grigie talvolta scure. Localmente sono presenti calcilutiti e livelli di calcareniti, a grana fine o media, da sottili a medi, più frequenti verso la base della formazione, con impronte di fondo dovute a bioturbazione o ad impatto. I calcari e le marne mostrano un caratteristico colore biancastro all'alterazione. Talora sono presenti liste e livelli di selce scura. Tale formazione affiora diffusamente nell'ambito dell'area di progetto.

Passaggio stratigrafico alla sottostante litofacies arenacea della Formazione di Sillano (loc. S.Lucia di Sopra, secondo polarità rovescia). Il contatto con la Formazione di Sillano si presenta comunque prevalentemente tettonizzato.

Talora all'interno della formazione sono segnalati, in varie zone esterne al tracciato (area di Monte Morello), spessori fino a decametrici di argilliti prevalenti, con calcareniti sottili e calcari subordinati, la cui posizione stratigrafica e significato sono in corso di definizione.

Lungo i versanti con strati a franapoggio, i sondaggi geognostici hanno evidenziato, con frequenza variabile, la presenza di livelli limoso argillosi, di colore marrone oca in spessori da pluricentimetrici a metrici. Tali livelli risultano intercalati agli strati calcarei, calcareo marnosi e calcarenitici e si ritiene che derivino dalle porzioni marnose e pelitiche degli strati (argillificazione indotta dalla tettonica come gli assi delle strutture plicative o dai movimenti gravitativi associati alla circolazione d'acqua). I livelli argillificati sono stati interpretati come superfici di scorrimento dei corpi di frana e di paleofrana riconosciuti dall'analisi geomorfologica e dalle risultanze di alcuni sondaggi geognostici (es. sondaggio FR4). In ogni caso i livelli argilloso - limosi rappresentano superfici di debolezza anche quando non sono associati a forme gravitative, ma risultano semplicemente legati a deformazioni tettoniche plicative o fragili. Età: Eocene inf. - medio

Analisi petrografiche pregresse (PONZANA, 1993) mostrano per gli strati arenitici della Formazione di Monte Morello valori della componente quarzosa elevati (media attorno al 40%), che possono arrivare fino a valori di circa il 55% (Fig.9, 10). SESTINI (1970) indica contenuti in quarzo ancora superiori, variabili tra 24% e 80% con valori medi di 64%.

	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8	CM9	CM10	CM11	CM12
Quarzo mono.	16,6	14,8	27,8	31,6	30,4	25,4	27,2	32,6	30	21,6	22,4	35,6
Quarzo poli.	7	9,6	14,4	17,2	21,8	11,2	14,2	20,2	9,2	9,2	12,4	6,6
Plagioclasio	1,4	0,2	2	2,6	3,4	2	1,6	2,6	2	2,6	3,2	0,8
K-feldspato	4,8	4	5,4	12	8,4	8,6	10,8	5,8	12,6	8,8	7,4	7,8
Metam. basse	2	2	3,2	3,8	6,2	2,8	4,6	6,2	3,8	7	4,4	2,8
Metam. medie	0,6	0,2	2,8	1,4	0,8	2	1	2,8	1	0,4	0,4	1,4
Quartziti	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Porfiridi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siltiti	0,2	-	0,2	0,8	-	0,2	-	0,6	-	-	0,4	-
Arenarie	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Selci	0,8	1	2,6	0,8	2,6	0,4	1,4	1	0,4	0,2	0,4	0,2
Argilliti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vulcaniti	0,2	0,2	0,2	-	0,2	0,2	0,2	1	-	-	0,2	-
Serpentiniti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rocce ofiolitiche s.l.	-	-	1,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Miche+cloriti	5	5	4,6	3,4	5,2	7	2,6	4,8	6	6,6	5,2	8,4
Altri minerali	0,8	-	-	0,2	0,6	0,2	0,2	0,4	-	-	-	-
Framm. micritici	1	0,8	1,8	4	2,8	-	0,6	2	-	-	-	-
Framm. dolomitici	-	-	9,8	2,4	4,4	-	-	4,2	-	-	-	-
Framm. calcarenitici	-	-	-	0,8	0,2	-	0,2	-	-	-	-	-
Fossili rimaneggiati	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rip up argillosi	0,2	-	-	-	-	1	-	-	1	0,8	1,6	0,6
Glauconite	-	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-
Ossidi & solfuri	1,4	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	1	0,4	1
Fossili	20,6	28,4	4,2	1,8	1,6	4,4	4,4	0,8	4,6	5,2	11,8	12
Intraclasti	3,2	4,4	0,8	0,2	0,4	1,8	0,6	0,8	0,4	0,6	0,2	-
Limeclasti	2,6	2	0,6	-	0,4	1,2	0,2	-	1,2	1,4	0,2	0,2
Materie org.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q. micro. 2°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. su l.	8,4	9,4	5,6	7,3	7,6	7,2	9,6	6,4	6,8	7,2	11	11
n.d.	0,6	0,4	0,6	0,8	-	0,8	0,2	0,2	0,4	1	0,8	1,2
Cemento carbonatico	2,8	1	8,2	4,8	2,6	8,2	6,4	5,2	10	9	3	2,6
Cemento siliceo	-	-	0,4	-	-	0,2	-	0,4	-	-	-	-
Matrice micritica	14,6	9,8	1,8	0,6	-	11	9	1,2	8,4	12,6	11,8	4,8
Altre matrici	5,2	5,4	0,8	1,7	-	3,8	4,4	0,4	2	4,8	2,8	3
<b>TOTALE</b>	<b>100</b>											

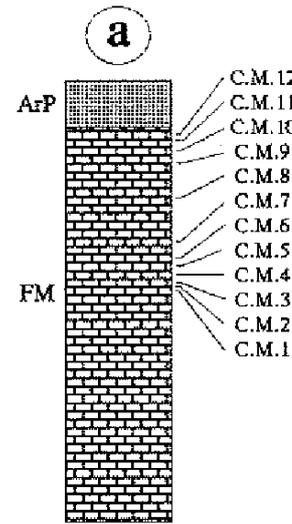


Fig. 9 - Risultati delle analisi modali in sezione sottile condotte su campioni di areniti prelevati da una porzione di serie stratigrafica (a) rilevata lungo il Rio Scalai (Comune Vaiano) (Ponzana, 1993).

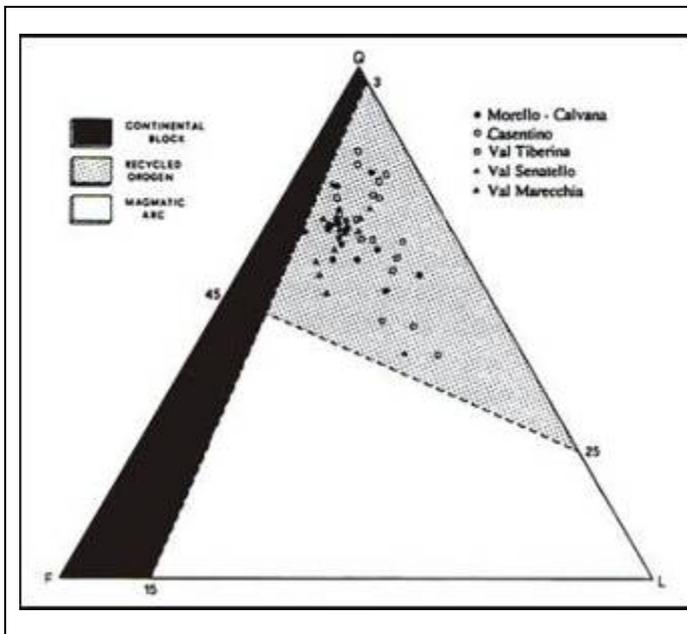


Fig. 10 - Diagramma triangolare Q: quarzo; F: feldspati; L: litici, di Dickinson (1985) per i livelli arenitici della Formazione di Monte Morello (Ponzana, 1993); le analisi individuano quattro diverse petrofacies: scheletro di elementi silicoclastici extrabacinali e scarsi elementi carbonatici (prevalente); elementi carbonatici extrabacinali con elementi silicoclastici extrabacinali; elementi silicoclastici extrabacinali, prevalentemente ofiolitici (localizzata, porzione basale successione); elementi bioclastici intrabacinali (porzione medio-basale successione).

Si segnala che le litofacies si alternano in modo più o meno regolare a vari livelli anche all'interno della formazione (Fig.11), con i primi termini calcarei e marnosi che, accorpati in proporzione circa reciproca in livelli delle decine di metri, costituiscono il

70%-90% della serie; tali livelli sono intercalati da livelli argillitici e arenaceo - calcarenitici.

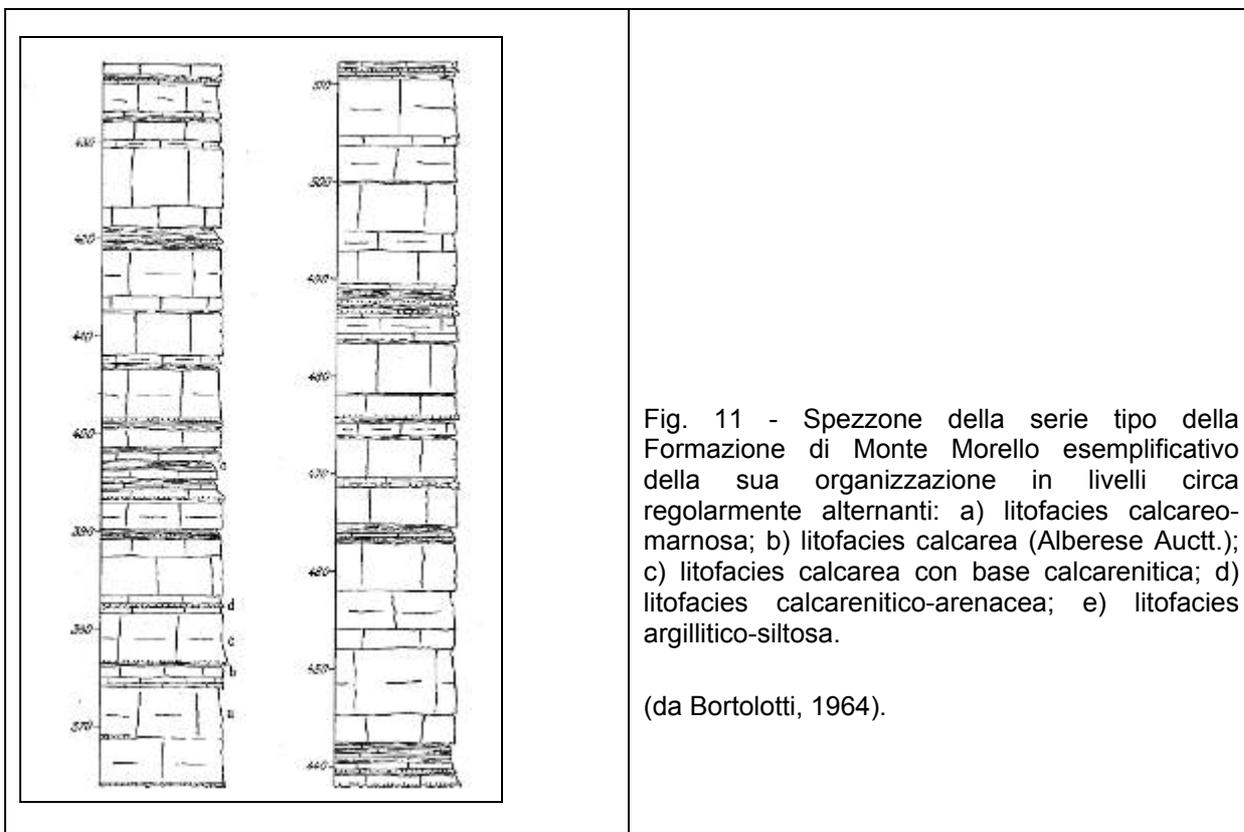


Fig. 11 - Spezzone della serie tipo della Formazione di Monte Morello esemplificativo della sua organizzazione in livelli circa regolarmente alternanti: a) litofacies calcareo-marnosa; b) litofacies calcarea (Alberese Aucct.); c) litofacies calcarea con base calcarenitica; d) litofacies calcarenitico-arenacea; e) litofacies argillitico-siltosa.

(da Bortolotti, 1964).

### *Litofacies pelitica (MMLp)*

Si tratta di alternanze di marne grigie, talora scure, siltiti grigie, calcari grigio-nocciola ed argilliti scure. Le marne e le siltiti si presentano molto foliate e tenere. La sua posizione stratigrafica può collocarsi nella parte basale della serie nei pressi del passaggio con SIL (si veda ad esempio la stratigrafia dei sondaggi S58bis e VBF26), ma anche all'interno della formazione di MML stessa. Questa componente pelitico-marnosa può pertanto essere variamente presente nella formazione di Monte Morello s.l. Si è ritenuto opportuno ridefinire il significato di alcuni ambiti in cui compaiono rocce prevalentemente marnose, ascrivendo alla litofacies marnoso-calcarea della Formazione di Sillano i terreni attraversati dagli ultimi metri di FR19 e FR20, ed alla litofacies arenacea, sempre della medesima Formazione, i terreni attraversati dal carotaggio FR18. I sopradetti sondaggi siglati FR sono stati realizzati appena più a nord dell'inizio Lotto di progetto.

## **Formazione di Sillano (SIL)**

Alternanza di argilliti prevalenti, marne grigie e nerastre, siltiti grigio scure con calcari e calcari marnosi grigi, calcareniti prevalentemente sottili, fini di colore grigio, grigio-verdastro, calcari silicei verdastri. Il colore di alterazione dei calcari e delle calcareniti è frequentemente bruno e/o verdastro con patine scure. Le argilliti presentano una struttura scagliosa. Talora in sondaggio vengono riconosciuti livelli di breccie argillitiche. Frequentemente gli strati dei litotipi più competenti, a causa della tettonizzazione, non mostrano continuità laterale tale da permettere di tracciarne con certezza i limiti. In sondaggio le porzioni marnoso siltose sono frequentemente molto foliate con diffusissime patine lucide e con fessilità simile a quella delle argilliti. Nell'area studiata sono state distinte due litofacies, descritte successivamente.

In questa formazione sono confluiti i terreni attribuiti al Complesso Caotico dalla letteratura precedente (Carta Geologica d'Italia - Foglio 106 - Firenze (1965) e Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale, C.N.R.), facendo riferimento ai nuovi rilevamenti nell'ambito del progetto di cartografia geologica della Regione Toscana (sito internet della Regione Toscana, aggiornati al luglio 2005). Età: Cretaceo sup.-Eocene inf.

Nella sua articolazione più completa, nella Formazione di Sillano sono riconoscibili (NIRTA 2006) ma cartografabili solo localmente senza grande continuità laterale data anche la presenza di ampie coperture detritiche e vegetali, le seguenti litofacies:

### *Litofacies arenacea (SILar)*

Alternanza pelitico arenacea di calcareniti ed arenarie in strati da sottili a spessi, marne argillose e siltose da compatte a foliate ed argilliti di color grigio e grigio scuro - nerastro. Subordinati calcari grigio chiari al taglio fresco e marrone giallastro con patine scure all'alterazione. Le calcareniti sono prevalentemente fini e subordinatamente medio - grossolane, di color grigio al taglio e marrone all'alterazione. Arenarie gradate da medio - fini a finissime, con impronte di fondo ben marcate ed abbastanza frequenti; in alcuni sondaggi (FR13 ed FR13bis) il rapporto tra i vari termini arenitici e pelitici risulta a favore delle argilliti/argilliti siltose.

Lo spessore della litofacies arenacea può arrivare a diverse decine di metri. Nel settore meridionale della carta essa rappresenta il passaggio stratigrafico alla sovrastante Formazione di Monte Morello.

Le arenarie presenti nella Formazione di Sillano costituiscono frange distali di piana bacinale di un corpo torbidityco che nel suo pieno sviluppo è rappresentato dalla Pietraforte, una conoide di torbidityco quarzoso-calcaree intercalata stratigraficamente nella Formazione di Sillano; analisi petrografiche pregresse condotte sui litotipi arenacei della formazione prelevati da vari livelli della serie stratigrafica, e quindi dalle varie litofacies (MALESANI, 1966; SESTINI, 1970), mostrano valori medi della componente quarzosa pari a circa il 35%, che possono fino arrivare a valori del 45-50%.

Nel settore a nord del tracciato (nei pressi della località il Cornocchio) sono stati attribuiti a questa litofacies gli affioramenti e le successioni riconosciute in sondaggio al contatto con la Formazione di Monte Morello, pur in mancanza di datazioni e di una posizione stratigrafica certa. In prossimità di questo imbocco i sondaggi mostrano una successione composta da alternanze di arenarie, calcareniti, marne foliate ed argilliti caratterizzate da una scarsa regolarità nei rapporti tra i termini arenitici e pelitici: questo determina la prevalenza per diversi metri di uno dei termini litologici. Il contatto con la Formazione di Sillano è considerata tettonizzata nell'accezione indicata in precedenza. Età: Cretaceo sup.- Eocene inf.

#### *Litofacies marnoso - calcarea (SILmc)*

Alternanza di marne grigie, grigio scure, calcari grigi ed argilliti. Questa litofacies non è stata cartografata nei pressi del Lotto di progetto. La continuità di questi corpi non è verificata ed i contatti con la Formazione di Sillano sono ritenuti tettonizzati. Età: Cretaceo sup.- Eocene inf.

#### **Formazione di Villa a Radda (VLR)**

Questa formazione affiora molto più a nord dell'ambito di progetto e compare unicamente nella cartografia alla scala 1:10.000. Si tratta di argilliti marnose rosso scuro e verdi o rosso mattone e grigio chiaro con subordinati strati marnosi

parzialmente calcarei biancastri o marroni. Gli strati sono da molto sottili a sottili o medi. Sono presenti marne siltose compatte colore grigio o biancastro. In letteratura è segnalata a vari livelli nei depositi della Successione della Calvana sottostanti la Formazione di Monte Morello. Il contatto con la formazione di Sillano è stato considerato stratigrafico, anche se non direttamente visibile, in analogia alla sua posizione stratigrafica regionale. Spessore molto modesto, dell'ordine di 20 m. Età: Cretaceo sup.- Eocene.

### Unità Tettoniche Toscane

#### Unità Tettonica Falterona:

#### **Marne di Galiga (GAL)**

Questa formazione affiora molto più a nord dell'ambito di progetto e compare unicamente nella cartografia alla scala 1:10.000. Si tratta di marne siltose, argillose e marne calcaree in strati da sottili a medi, di colore grigio, grigio verdino, talora ad aspetto massivo. Sono presenti sottili livelli di siltite e sono frequenti le vene di calcite.

Lo spessore della formazione è compresa tra 200 e 300 m; il contatto inferiore è sulle arenarie di Falterona, con le quali si trova in rapporto di eteropia (v. Carta Geologica d'Italia - Foglio 264 "Borgo S. Lorenzo). Il contatto con le Arenarie del Monte Falterona è tettonizzato. Età: Chattiano.

#### **Arenarie del Monte Falterona (FAL)**

Questa formazione affiora molto più a nord dell'ambito di progetto e compare unicamente nella cartografia alla scala 1:10.000. Si tratta di arenarie e peliti (siltiti e marne) con  $1/4 < A/P < 1$ . Stratificazione da molto sottile a spessa. Si alternano pacchi decametrici di strati sottili con peliti prevalenti a strati spessi e molto spessi con aumento locale del rapporto  $A/P$  (= 1 circa). Presenti sottili slump intraformazionali (località Ponte di Molino Sasso a Barberino di Mugello). Nel settore adiacente all'autostrada attuale, ad ovest di Montebuiano, i sondaggi hanno evidenziato, intercalato ai livelli arenacei, un corpo di argilliti scure, con aspetto

brecciato e caotico, spesso alterate, di spessore  $\geq$  a 15 m (fig. 12) interpretato come olistostroma (frana sottomarina) staccatosi dal fronte del *thrust* in avanzamento durante l'Oligocene terminale - Miocene basale. Il contatto basale dell'olistostroma sulle arenarie è di tipo erosivo. Depositi analoghi, con spessori anche nettamente superiori, sono segnalati piuttosto frequentemente in questa formazione soprattutto verso il Valdarno Superiore ed in particolare il Casentino (cfr. olistostromi nella C.T.R. 277140 della cartografia della Regione Toscana in allestimento e Complesso di Vetrice in Carta Geologica d'Italia Foglio 265 "Bagno di Romagna"). Un piccolo affioramento di argilliti e calcari presente nel settore orientale della carta al di fuori del tracciato (zona Azienda Agricola C. del Bosco), al contatto tra le Arenarie del Monte Falterona e le Marne di Galiga è stato anch'esso interpretato come olistostroma. Lo spessore della formazione è superiore ai 450 metri. Età: Chattiano - Aquitaniano (MNN1a-MNN1d).



Fig. 12 – Aspetto dell' olistostroma nel sondaggio IS2.

### Successione del Mugello

Questi depositi sono stati oggetto in anni recenti di revisione interpretativa, condotta secondo approccio stratigrafico – deposizionale ed utilizzando il criterio delle unità litostratigrafiche a limiti "inconformi" (Benvenuti, 1996 e 1997) utilizzata anche dalla

Carta Geologica d'Italia - Foglio 252 "Barberino del Mugello" (2002) alla cui stratigrafia si fa riferimento. Tali depositi affiorano molto più a nord dell'ambito di progetto.

### ***Depositi terrazzati fluviali - Sintema del Fiume Sieve (SIV)***

Si tratta di depositi terrazzi fluviali, discordanti fra loro e sovrapposti ad un substrato pre-lacustre, oppure a terreni alluvionali e lacustri del Bacino del Mugello.

#### *subsintema di Sagginale*

Nell'ambito di questo subsintema è stata effettuata una partizione tra alluvioni in evoluzione (SIV<sub>3b</sub>) e alluvioni recenti terrazzate (SIV<sub>3a</sub>).

(SIV<sub>3b</sub>): ghiaie e sabbie prevalenti deposte negli alvei attuali dei vari corsi d'acqua presenti nell'area; costituiscono in genere accumuli di barre sia longitudinali che trasversali, talora laterali nei casi di corsi ad andamento sinuoso. Età: Olocene

(SIV<sub>3a</sub>): limi ed argille prevalenti passanti a sabbie più o meno limose inglobanti ghiaie depositatisi nel corso di eventi di piena eccezionale; nelle argille e nei limi si ritrovano clasti di varia natura di dimensione da centimetrica a decimetrica e di forma da sub-angolare a sub-arrotondata, isolati oppure organizzati in lenti. Le varie granulometrie si alternano irregolarmente secondo rapporti laterali eteropici. Questi depositi fluviali terrazzati si presentano in genere pedogenizzati e possono raggiungere anche spessori dell'ordine dei 5m; talora le ghiaie presentano indicatori di paleocorrente (embriciamenti, laminazioni) che evidenziano alimentazioni clastiche sia da NE che da NW. Età: Olocene

#### *subsintema di Luco di Mugello*

(SIV<sub>2</sub>): depositi fluviali terrazzati costituiti da ghiaie (localmente embricate) e sabbie silteose con limi e argille di colore marrone - ocra (Pleistocene medio - sup.)

#### *subsintema di Scarperia*

(SIV<sub>1</sub>): depositi fluviali terrazzati costituiti da ghiaie (talora embricate) e sabbie (spesso di colore rossastro) con limi e argille (Pleistocene inf?- medio)

## **Depositi alluvionali e lacustri - Sintema del Mugello (MGO)**

### *subsintema di Ronta*

Questa formazione affiora limitatamente alle aree circostanti all'ambito di progetto e pertanto compare unicamente nella cartografia alla scala 1:10.000. Si tratta di depositi di origine alluvionale o lacustre in discordanza angolare con il substrato pre-lacustre. E' costituito da varie litofacies tra loro in rapporti eteropici con frequenti passaggi latero - verticali (Pliocene sup.? - Pleistocene inf.):

litofacies sabbiosa con ciottoli (MGO2): sabbie, sabbie limose ed argillose con intercalati lenti di ciottoli.

litofacies argillosa (MGO1): argille, argille siltose a laminazione piano-parallela o massive, con lenti di sabbia e presenza di torbe.

### *Depositi e coperture quaternarie continentali*

Sono stati raggruppati in questa categoria depositi di varia origine e litologia, che si sono messi in posto in ambiente continentale in discordanza sulle unità stratigrafiche descritte in precedenza. In particolare si fa riferimento alle coperture del substrato roccioso (frane, detriti di versante, detriti in blocchi e detriti eluvio-colluviali), ai depositi di riempimento del Valdarno medio (Bacino di Firenze - Pistoia) ed alle alluvioni terrazzate delle valli del Torrente Marina e dei suoi affluenti.

Per quanto concerne i depositi fluviali intramontani e quelli del Bacino di Firenze – Prato - Pistoia sono in corso revisioni interpretative, condotte con approccio stratigrafico – deposizionale (criterio delle unità litostratigrafiche a limiti “inconformi”). Per gli areali di interesse non sono però possibili correlazioni a livello di bacino, anche se si sta delineando la definizione di un Sintema del Fiume Arno, articolato in varie sottunità (Agili *et al.* 2003); pertanto si è deciso di mantenere la “classica” attribuzione dei terreni a depositi alluvionali senza ipotizzare nuove nomenclature e gerarchizzazioni stratigrafiche.

### **Accumuli di frana (a1, a2)**

I depositi di frana non sono stati distinti geneticamente, ma in base al loro grado di attività; tale attribuzione è stata fatta su base prevalentemente geomorfologica e cioè sulla base di caratteri direttamente visibili sul terreno o derivanti dalla fotointerpretazione. Sono state distinte le frane attive (a1) dalle frane quiescenti (a2).

Si tratta di accumuli eterogenei ed eterometrici di materiali non elaborati e non classati, messi in posto ad opera di scorrimenti, ribaltamenti o colamenti in massa; dal punto di vista granulometrico si tratta di elementi lapidei di varie dimensioni immersi in matrice argilloso - limosa o limoso - sabbiosa. I depositi di frana sono stati attraversati da vari sondaggi, tra cui ad esempio S51 ed IS35BIS. Le maggiori dimensioni dei clasti riguardano lo scivolamento di blocchi in condizioni di assetto strutturale a franapoggio (paleofrane) descritte nel capitolo inerente alla geomorfologia. Questi ultimi depositi sono stati attraversati dal sondaggio IS38.

### **Detriti di versante (a3)**

Si tratta di accumuli eterogenei ed eterometrici costituiti da frammenti lapidei derivanti dalla disgregazione meccanica degli ammassi rocciosi. La granulometria dei depositi è funzione della litologia del substrato, delle modalità di messa in posto e dell'intensità dell'alterazione. Pertanto i depositi di versante presenti al di sopra del substrato prevalentemente arenaceo e/o calcareo sono costituiti da limi sabbiosi, sabbie con limo e ghiaie con limo (si veda ad esempio la stratigrafia dei sondaggi IS38BIS ed IS39, mentre i depositi di versante presenti al di sopra del substrato prevalentemente siltitico o argillitico sono costituiti da limi sabbioso - argillosi (si veda ad esempio la stratigrafia dei sondaggi IS29, IS33bis ed IS34).

Si ricorda che per consentire la leggibilità della planimetria geologica e di quella geomorfologica i depositi di versante e gli accumuli di frana sono stati distinti in planimetria quando il loro spessore è stato ritenuto > 5 metri.

### **Detrito eluvio-colluviale (a4)**

Deposito costituito da materiali incoerenti, quali sabbie, limi ed argille, talora pedogenizzati, che rappresentano il mantello detritico derivante dall'alterazione della roccia del substrato, accumulato in posto o dopo un breve trasporto per ruscellamento superficiale. Sono terreni presenti sui ripiani o sui versanti con debole pendenza e nelle zone di raccordo con il fondovalle (cartografate in modo diffuso a sud della carta, ai margini della piana di Calenzano); tali depositi sono stati attraversati dai sondaggi VBF26, VBF27 e VBF28.

### **Detrito in blocchi (a6)**

Depositi di materiale clastico caratterizzato dalla diffusa presenza di blocchi in matrice limoso argillosa o sabbiosa, sono presenti alla base delle scarpate più acclivi (detrito di falda) e lungo versanti a franapoggio. Questi accumuli prevalentemente clastici sono stati individuati più a nord del Lotto in progetto.

### **Depositi alluvionali in evoluzione (b1)**

I depositi alluvionali sono stati siglati con numerazione progressiva dal più giovane al più vecchio; si tratta di ghiaie, sabbie e subordinati limi argillosi distribuiti sia in alveo, che sulle sponde dei corsi d'acqua, nel qual caso sono frequentemente coperti da vegetazione arbustiva.

### **Depositi alluvionali terrazzati, depositi alluvionali e lacustri del Bacino Firenze - Prato - Pistoia (b2)**

Questi depositi sono costituiti da ghiaie, sabbie ed argille limose in rapporti variabili, talora con presenza di resti vegetali. Come accennato in precedenza per queste aree di pianura sono in corso revisioni stratigrafiche condotte con il criterio delle unità litostratigrafiche a limiti "inconformi", ma non sono ancora state ipotizzate correlazioni certe. Per questo motivo anche nel profilo longitudinale si è scelto di mantenere indifferenziati questi depositi le cui variazioni litologiche, indagate con i sondaggi geognostici come ad esempio S49, S50, S59, S60, VBF28BIS, IS40 e IS41, sono evidenziate negli elaborati a tema geotecnico.

### **Conoidi e paleo-conoidi**

Depositi costituiti da ghiaie, clasti e blocchi con scarsa classazione granulometrica e locale grossolana stratificazione; si rileva la presenza di matrice per lo più sabbiosa o sabbioso-limosa, talora ossidata per alterazione. Nel caso delle paleo-conoidi (Torrente Legri) lo spessore dei depositi può raggiungere spessori di decine di metri, poiché si tratta di materiali che hanno colmato antiche vallecole molto incise.

## **6 GEOMORFOLOGIA**

L'area in esame è stata analizzata sotto il profilo geomorfologico mediante fotointerpretazione condotta in stereoscopia e mediante verifiche sul terreno, 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 dettagliato quadro geomorfologico dell'area, rappresentato nell'ambito della cartografia geomorfologica di sintesi allegata al presente progetto.

### **6.1 FOTINTERPRETAZIONE**

L'analisi stereoscopica delle fotografie aeree è stata eseguita utilizzando il volo C.G.R - Compagnia Generale Riprese Aeree Parma, del 3/4/2005 (strisciate dalla n°1 alla n° 9 , fotogrammi dal n° 9648 al n° 9777 del 3/4/2005). Per la verifica della presenza di depositi antropici nelle aree di pianura del Bacino del Valdarno, sono state integrate le osservazioni pregresse utilizzando tutti i voli disponibili presso l'Istituto Geografico Militare di Firenze (anni 1948, 1952, 1954, 1965, 1970, 1972, 1973, 1976, 1982, 1986, 1991, 1995, 1997 e 2003). Nella fase progettuale precedente erano stati utilizzati quattro voli aero fotografici: due eseguiti appositamente per il progetto all'inizio del mese di giugno del 1996 dalla CGR di Parma, rispettivamente in scala approssimativa 1:4.600 e 1:10.700, e due voli eseguiti per GAI e per la Provincia di Firenze, rispettivamente eseguiti negli anni '50 e '60, in scala circa 1:33.000 e 1:20.000. Le loro risultanze sono state verificate ed integrate alla luce dei nuovi dati disponibili.

### **6.2 FORME E PROCESSI GEOMORFOLOGICI**

Si descrivono di seguito le forme ed i processi geomorfologici riconosciuti nell'area, mentre la puntuale descrizione dell'interazione tra questi fenomeni e le opere in

progetto viene affrontata nell'ambito di un successivo capitolo "Descrizione del tracciato".

### ***Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio***

L'area studiata presenta una notevole copertura detritica e franosa, che in qualche caso si estende dal crinale al fondovalle. Talora la presenza di attività agricola in corrispondenza dei versanti, con la sua azione modellatrice, rende più difficile la lettura dei fenomeni.

Per quanto concerne il grado di attività delle frane queste sono state distinte in: frane attive, per le quali è possibile riconoscere un'evoluzione stagionale e frane quiescenti ovvero attualmente senza indizi di attività. Facendo riferimento alle frane quiescenti non è comunque possibile escludere una loro riattivazione quantomeno parziale, ciò in relazione al fatto che tali fenomeni non hanno necessariamente esaurito la loro potenzialità evolutiva; infatti la concomitanza di elementi quali piogge di intensità eccezionale, eventi sismici dotati di elevata energia, oppure eventuali maldestri interventi antropici (es. indiscriminati scavi al piede e/o sovraccarichi in testa) è possibile che i dissesti si riattivino.

L'analisi aerofotogrammetrica ha permesso di individuare le forme di alcune *paleofrane*; con questo termine si indicano quei fenomeni di dissesto che interessano ampie porzioni di versante ed al cui interno sono talora preservati degli assetti stratigrafici riconoscibili. La loro genesi viene generalmente attribuita ad epoche molto remote, in condizioni climatiche e paleogeografiche diverse dalle attuali: alcuni di essi si sono probabilmente verificati a seguito dello svuotamento dei bacini lacustri villafranchiani del Mugello e della Piana Firenze - Pistoia. Nel loro complesso si ritiene che queste frane abbiano raggiunto uno stato di equilibrio, che potrebbe però alterarsi a seguito di particolari eventi naturali o di interventi antropici. All'interno del corpo delle paleofrane maggiori si sono instaurati fenomeni di dissesto successivi generando frane complesse. In particolare i dati di rilevamento in campagna e le indagini geognostiche (sondaggio IS38) suggeriscono la presenza di una paleofrana nei pressi della Galleria Boscaccio, tale fenomeno sembra avere origine dalla concomitanza tra assetto a franapoggio del versante e presenza di un asse di struttura plicativa, che ha generato estrema fratturazione dell'ammasso roccioso ed il

conseguente scivolamento di estese porzioni costituite dagli strati calcareo marnosi della Formazione di Monte Morello; probabilmente si tratta di fenomeni innescati o favoriti da attività sismica e controllati tettonicamente. Una paleofrana analoga si ritiene abbia interessato anche la Formazione di Sillano nella porzione di versante a inizio lotto.

La distinzione dei fenomeni attivi da quelli quiescenti è parzialmente correlabile a spostamenti misurati e pertanto ad oggi non è possibile formulare ipotesi circa l'estensione esatta nel sottosuolo di tutti i dissesti attivi cartografati; le indicazioni in questo senso vengono fornite dall'analisi delle misurazioni effettuate nel tempo relativamente alle tubazioni inclinometriche installate nei sondaggi eseguiti per la progettazione definitiva ed esecutiva.

In relazione al quadro evolutivo delineato, si ritiene che attualmente la metodologia di studio più efficace, per definire gli scenari di rischio ed il grado di attività dei dissesti in relazione alle opere di progetto, sia la modellazione numerica e/o le analisi di stabilità.

Dal punto di vista delle diverse tipologie di dissesto, legate alla natura geologica dei terreni, si riconoscono:

aree con terreni calcareo - marnosi (Formazione di Monte Morello): anche in questo caso la presenza dei livelli marnosi (e subordinatamente argillitici) negli strati torbiditici, associata a fratturazione ha generato fenomeni gravitativi di tipo scorrimento e talora scorrimento-colata. Dove l'assetto del versante è risultato sfavorevole (franapoggio) si sono verificati fenomeni di scivolamento di blocchi. Localmente ove il versante si presenta estremamente acclive o nei pressi dei fronti delle numerose cave inattive si possono manifestare fenomeni di crollo. Inoltre si segnala il rischio di assistere a fenomeni di ribaltamento (toppling) in presenza di zone in cui l'assetto giaciturale degli strati sia sub-verticale oppure a forte inclinazione.

aree con unità litostratigrafiche a prevalente composizione argillosa (Formazione di Villa a Radda, Formazione di Sillano): in questi terreni la presenza di minerali argillosi, che tendono a trattenere grandi quantità di acqua, possono determinare caratteristiche geotecniche piuttosto scadenti e portare a deformazioni gravitative con

caratteristiche prevalenti di colata e subordinatamente di scorrimento. Si sottolinea come in questi terreni la predisposizione al dissesto sia comunque elevata anche nei settori dove non si riconoscano forme e morfologie di frana: in particolare risultano a rischio molto elevato le zone dove siano presenti coltri di detrito derivate da queste formazioni. Questa predisposizione è segnalata anche dalla cartografia “Zonazione del rischio idrogeologico - rischio frane” tratta dal Piano Stralcio di Bacino del Fiume Arno – PAI che individua complessivamente gli areali dove è presente la Formazione di Sillano come “Aree a pericolosità elevata”. Si segnalano infine le aree costituite da materiale di riporto antropico a prevalente composizione argillosa che risultano estremamente vulnerabili all’instaurarsi di dissesti attivi.

Localmente sono presenti fenomeni di franosità diffusa: si tratta di forme gravitative attive di piccole dimensioni, molto dense ed anastomizzate, che si impostano lungo i fianchi dei fossi che incidono i depositi antropici, prevalentemente argillosi di materiale di risulta, stoccati in questo areale.

Sono risultati frequenti i fenomeni di soliflusso sia su terreni argillosi che sulle coltri di disfacimento dei depositi arenaceo - marnosi e calcareo – marnosi, sui depositi di frana quiescente, nonché sulle aree con riporto antropico. 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. Particolare attenzione deve essere rivolta alle aree con soliflussi impostati su frana quiescente, in quanto è possibile si inneschino fenomeni più estesi sia in condizioni di piovosità elevata, che nel caso in cui vengano realizzati scavi o sbancamenti non adeguatamente concepiti.

Sono state mappate con apposito simbolo le frane di dimensioni non cartografabili: esse indicano piccoli dissesti, che però evidenziano una predisposizione al dissesto dell’areale interessato. Durante le verifiche sul terreno, talora, sono state annotate anche lesioni locali riscontrate sul manto stradale: naturalmente questi fenomeni sono soggetti a rapide modifiche a causa dei frequenti interventi manutentivi per cui vanno intesi solo come indicazioni non sistematiche di zone a potenziale instabilità.

Sono state inoltre distinte le seguenti forme:

- orlo di scarpata di frana. Rappresenta la linea di rottura lungo la quale è avvenuto un distacco di materiale talora anche di notevoli dimensioni: evidenzia la parte superiore (testata) del movimento franoso.

- orlo di scarpata o rottura di pendio. Sono state evidenziate scarpate naturali, connesse alla litologia e/o ad elementi tettonici disgiuntivi, oppure a forme di deposito o erosive nell'ambito di accumuli di detrito e di frane quiescenti. Si tratta di forme presenti in tutte le litologie rilevate.

- area potenzialmente instabile (pi). La classe mette in evidenza quelle aree ove sono stati rilevati solo modesti sintomi gravitativi. Talora esse sono situate al contorno di situazioni evidentemente già compromesse, ed è quindi prevedibile che la progressiva evoluzione delle predette possa coinvolgerle innescando nuovi fenomeni di instabilità.

- area depressa. Questo tipo di forma indica zone morfologicamente depresse rispetto ai terreni circostanti, in corrispondenza delle quali esiste una più o meno marcata difficoltà di deflusso delle acque meteoriche. In genere sono localizzate all'interno di accumuli di frana dove rappresentano fenomeni di collasso avvenuti durante l'evento principale o successivamente ad esso per assestamento della massa mobilitata (settore occidentale della estesa coltre di frana ad ovest delle Croci di Calenzano). Sono state inoltre riconosciute tre aree depresse nella coltre detritica della Formazione di Monte Morello, ad ovest della località Case Forno, che potrebbero invece rappresentare forme residue di fenomeni carsici.

### ***Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque***

- Area con erosione diffusa ("ed"). 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. Quando il fenomeno si accentua si formano sottili linee di scorrimento idrico che finiscono per concentrarsi e canalizzarsi entro incisioni già esistenti o

approfondite dalla stessa corrente in forma di rigagnoli, molto spesso mettendo a nudo il substrato.

- Area in erosione accelerata per interventi antropici ("ea"). Sono state inserite in questa classe quelle aree dove l'azione antropica ha causato o sta favorendo un degrado ambientale. Esse evidenziano le zone dove l'erosione è stata agevolata dall'attività estrattiva, da erronea impostazione di impianti agrari o da opere di urbanizzazione e viarie. In alcuni casi questo tipo di erosione si attenua con il passare del tempo per successivi interventi mitigatori o per effetto dell'insediamento di una copertura vegetale artificiale o spontanea.

- Erosione incanalata. Forma di erosione determinata dalle acque correnti lungo gli alvei fluviali minori, che producendo un approfondimento verticale del corso d'acqua e talora lo scalzamento laterale, favoriscono l'instaurarsi di fenomeni di creep e piccole frane sui versanti a monte.

- Conoide di deiezione. Si tratta di accumuli detritici caratterizzati dalla tipica forma a ventaglio posizionati allo sbocco di vallecole secondarie. Nessuna delle forme rilevate ha evidenziato sintomi di attività, tuttavia sono da considerarsi zone ove è possibile il verificarsi di esondazioni in caso di apporti idrici eccezionali.

### ***Forme di dissoluzione chimica***

- Dolina. Si individuano due doline nei pressi di Poggio delle Valli (quota circa 500 m s.l.m., a nord del lotto in oggetto), un'ulteriore dolina nei pressi di Poggio Fontanelle, con diametro 5.5m e profonda 1.5m, mentre si ritrovano esternamente all'area di diretto interesse, anche una dolina di dimensioni simili alla precedente presso Poggio Pianeti, vicino a Cerreto Maggio, due doline sulla dorsale Poggio Conca-Poggio Tentinosi e altre forme relitte, come ad esempio quella di Case Starniano (Berni & Rubellini, 1986).

- Grotta o cavità naturale. Nell'ambito della formazione di Monte Morello è probabile che fenomeni carsici ipogei siano più frequenti di quanto espresso dalle forme superficiali rilevate nell'ambito della presente analisi. Testimonianze raccolte

nell'area indicano interessante per l'esplorazione speleologica il versante occidentale del crinale Monte della Valle – Collina; in planimetria geologica sono riportate in colore magenta e con numero identificativo catastale le grotte censite nei comuni di Barberino di Mugello e Calenzano (da Catasto delle grotte e delle aree carsiche della Toscana – aggiornamento 2006, Federazione Speleologica Toscana).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva (fig. 13) del censimento grotte relativo ai comuni di Barberino di Mugello e Calenzano:

PROV	COMUNE	ID	NOME	AREACARSICA	LOCALITA'
FI	BARBERINO DI M.LLO	734	BUCA DEI MASSI NERI	zona carsica locale	Montecarelli
FI	BARBERINO DI M.LLO	735	BUCA DELLE FATE DI PRUNECCHIO	zona carsica locale	Montecarelli
FI	BARBERINO DI M.LLO	747	GROTTA DEL PRUGNOLO	MONTI DELLA CALVANA	P.gio Castellaro
FI	BARBERINO DI M.LLO	811	GROTTA DEL CANAPAIO	MONTI DELLA CALVANA	Pratali
FI	BARBERINO DI M.LLO	1430	BUCA DELL'AVIATORE	MONTI DELLA CALVANA	Pimonte
FI	CALENZANO	15	GROTTA LA SPILUNCHINA	MONTI DELLA CALVANA	C.ne di Savignano
FI	CALENZANO	339	BUCA DI MONTE MORELLO	MONTE MORELLO	La Rocca
FI	CALENZANO	521	GROTTA DI SANT'ANNA VECCHIA	MONTI DELLA CALVANA	Pod.S.Anna
FI	CALENZANO	523	GROTTA DELLA CIVETTA	MONTI DELLA CALVANA	Case Sottolano
FI	CALENZANO	602	GROTTA DEL CASTAGNO	MONTI DELLA CALVANA	M. Maggiore
FI	CALENZANO	720	BUCA DI CASE CANTAGRILLI	MONTI DELLA CALVANA	Case Cantagrilli
FI	CALENZANO	722	GROTTA DI TORRI	MONTI DELLA CALVANA	Rio della Ripa
FI	CALENZANO	736	BUCA DELLA GHIANDAIA	MONTE MORELLO	P.gio Leccio
FI	CALENZANO	738	GROTTA DELLA GINESTRA	MONTI DELLA CALVANA	Case Donatino
FI	CALENZANO	739	GROTTA DEL BIANCO	MONTI DELLA CALVANA	Case Donatino
FI	CALENZANO	740	GROTTA DEL FICO	MONTI DELLA CALVANA	Rio Torri
FI	CALENZANO	753	GROTTA DEI GHIRI	MONTE MORELLO	Volmiano
FI	CALENZANO	810	GROTTA DEL FORNACCIO	MONTE MORELLO	F.so di Rimaggio
FI	CALENZANO	815	BUCA DEL BUCCIA	MONTI DELLA CALVANA	La Retaia
FI	CALENZANO	817	GROTTA DEI MURI	MONTI DELLA CALVANA	Torri
FI	CALENZANO	819	GROTTA DELL'ULIVELLO	MONTI DELLA CALVANA	F.so Ulivello
FI	CALENZANO	821	BUCACCIA DI TRAVALLE	MONTI DELLA CALVANA	M. Penna
FI	CALENZANO	852	GROTTA DI CALENZANO	MONTI DELLA CALVANA	Carraia
FI	CALENZANO	1121	GROTTA DEL PINETO	MONTE MORELLO	Ponte Torto
FI	CALENZANO	1480	GROTTA ORECCHI MOLLI	MONTI DELLA CALVANA	P.re Castellaccio

fig. 13 - Tabella identificativa delle grotte censite nei comuni di Barberino di Mugello e Calenzano (da Catasto delle grotte e delle aree carsiche della Toscana – aggiornamento 2006, Federazione Speleologica Toscana).

***Forme e depositi antropici***

- Deposito antropico. Sono state incluse in questa classe le forme di origine antropica ancora riconoscibili, dovute ad accumulo e riporto di materiali per varie esigenze. Esse comprendono: rilevati stradali, argini fluviali, dighe in terra e accumuli di materiali di risulta. Sono state cartografate nei casi in cui rappresentino significative alterazioni della originaria morfologia.

- Cave. Sono state rappresentate le cave e le aree di loro pertinenza presenti nella zona, distinguendole tra attive e inattive o dismesse. Sono stati inoltre distinti gli impianti di trattamento di inerti, che spesso sono inseriti all'interno delle stesse aree. Le cave individuate sono tutte impostate nella Formazione di Monte Morello. I fronti di cava degli impianti inattivi presentano talora fenomeni di crollo.

- Scarpata di origine antropica. 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 al tracciato autostradale esistente, i coronamenti e le aree in fossa delle cave, i salti morfologici determinati da movimenti di terra per opere di urbanizzazione, i margini degli accumuli di terreno di riporto.

## 7 IL MODELLO GEOLOGICO GENERALE

Il modello generale dell'area interessata è stato sintetizzato nella Planimetria geologico-strutturale di inquadramento generale allegata al presente studio (scala 1:10.000), che è stata realizzata come sintesi originale che tiene conto anche di dati cartografici pregressi, pubblicati e non (S.G.I., 1967; CICALI & PRANZINI, 1984; RUBELLINI, 1987; SDRAFFA, 1999; TAV, 2002; REGIONE TOSCANA, 2004, CARG, 2006; NIRTA, 2006; SPEA, 2007). L'areale considerato è limitato ad est dalla grande struttura normale del Torrente Marina, verso ovest il modello si estende fino alla dorsale principale di Monte Morello in modo da comprendere le principali strutture che interessano la placca di Monte Morello. Il Modello si basa sulla conoscenza diretta dei luoghi, nonché su nuovi e mirati rilievi geologici in sito, su analisi di foto aeree e di immagini da satellite (AUTORITÀ BACINO FIUME ARNO, 1:2.000; GOOGLE EARTH) ed anche sui dati provenienti dalle indagini geognostiche di progetto.

In sintesi il modello geologico di riferimento prevede una struttura compressiva est - vergente costituita dalla grande sinclinale della Formazione di Monte Morello a Monte Morello, con al nucleo la Formazione di Pescina, che verso Ovest passa ad una sovrastante struttura antiforme che si esplica attraverso le strutture plicative anticlinaliche e sinclinaliche plurime presenti nella zona di Legri-Volmiano e lungo la dorsale di Poggio Bucine-Montroti-Montemignano.

Sul versante occidentale di questa dorsale la struttura antiforme è variamente dislocata e segmentata dal fascio delle faglie normali del Torrente Marina che la ribassano rispetto al blocco dei Monti della Calvana. La presenza di questa struttura disgiuntiva normale ha guidato nell'interpretazione dei complessi rapporti tra i vari affioramenti di Formazione di Sillano e di Formazione di Monte Morello, presenti sul versante occidentale della dorsale di Poggio Bucine-Montroti-Montemignano, e qui interpretati, secondo i classici modelli di GIBBS (1987), come elementi di scaglie tettoniche pizzicati in un fascio deformativo di faglie normali variamente vicarianti.

Nella realizzazione della Carta Geologica sono state tenute in debita considerazione le caratteristiche litostratigrafiche di dettaglio e generali delle varie unità presenti, nonché il loro assetto strutturale interno e la struttura geologica regionale generale,

così come la storia geotettonica regionale. L'interpretazione geologica (e quindi il tracciamento dei limiti geologici in superficie e nel sottosuolo: stratigrafici, tettonizzati, tettonici primari, di sovrascorrimento/thrust, etc. così come le varie faglie presenti), è stata fatta secondo un quadro di coerenza geometrica, cinematica e dinamica, sia locale che generale e di continuità litostratigrafica e tettonica.

Relativamente alla Formazione di Sillano, data la sua complessa articolazione, nell'ambito del modello geologico generale sono state effettuate tre distinzioni litostratigrafiche: Formazione di Sillano genericamente argillitica e/o inglobante altri vari elementi litoidi (SIL), litofacies prevalentemente arenacea (SILar) e litofacies marnoso-calcareo (SILmc), che è stata interpretata in base anche alle risultanze di alcuni sondaggi geognostici di recente esecuzione (FR8 e FR8bis).

La Formazione di Monte Morello è stata considerata nella sua accezione generale (MLL).

Riferendosi ad opere in sotterraneo che si sviluppano anche a profondità significative, nella planimetria generale in scala 1:10000 non sono state riportate le coperture, ma una interpretazione continua del substrato litoide, a parte per i fondovalle dove sono stati riportati i depositi alluviali e fluvio-lacustri in genere.

## 8 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE IDROGEOLOGICO GENERALE

Nell'ambito del presente paragrafo si riportano considerazioni di carattere generale e qualitativo, strettamente connesse alle osservazioni condotte durante il rilevamento geologico: per quanto attiene alla caratterizzazione idrogeologica di dettaglio dell'area e la valutazione delle influenze delle opere sul deflusso è necessario fare riferimento allo specifico studio di progetto.

Dal punto di vista idrogeologico nell'area indagata si distinguono:

- ammassi rocciosi (formazioni appartenenti alle Unità Tettoniche Falterona e Monte Morello) che sono prevalentemente caratterizzati da permeabilità secondaria per fratturazione (fessurazione);
- depositi appartenenti alle coperture quaternarie e continentali ed alla Successione del Mugello che presentano una permeabilità primaria per porosità.

All'interno degli ammassi rocciosi sono presenti variazioni di permeabilità piuttosto nette, che si registrano al passaggio da formazioni con permeabilità variabili da medio alte a medio basse (Monte Morello, Arenarie del Monte Falterona), a quelle con permeabilità da basse a scarse (Marne di Galiga, Formazione di Villa a Radda e Formazione di Sillano). All'interno della Formazione di Sillano sono inoltre possibili delle locali variazioni di permeabilità dovute alla prevalenza relativa di porzioni argillitiche o di porzioni calcareo marnose e calcarenitiche.

Appare necessario tenere in considerazione il tema idrogeologico anche per gli ammassi rocciosi ai quali vengono attribuite permeabilità medio basse; infatti il grado di fratturazione può consentire percolazioni e stillicidi che, in corrispondenza delle porzioni d'ammasso particolarmente fratturate e delle zone di faglia, hanno modo di innescare venute idriche. Questi fenomeni assumono particolare importanza soprattutto se si fa riferimento alla stabilità del cavo, infatti in questi termini non risulta significativa solamente la portata delle venute idriche, ma soprattutto la pressione dell'acqua.

In corrispondenza delle coltri detritiche di frana o di versante, ed al contatto tra litotipi a permeabilità diversa, è lecito attendersi condizioni favorevoli all'accumulo delle acque ipogee ed al relativo drenaggio operato da parte della galleria.

Nella Formazione di Monte Morello è ipotizzabile localmente una circolazione idrica legata alla presenza di cavità carsiche che, anche se poco sviluppate rispetto all'adiacente dorsale della Calvana (Cicali & Pranzini, 1984), sono presenti soprattutto nella zona di Poggio delle Valli.

## 9 SISMICITA' DELL'AREA

L'area in esame è situata in una porzione di catena appenninica interessata da attività geodinamica recente o attuale e risulta caratterizzata da notevole attività sismica: al suo interno infatti sono state riconosciute numerose strutture sismogenetiche attive, come ricordato in precedenza (Fig. 5).

Questa zona appartiene alla fascia appenninica ad alta sismicità comprendente i graben e le depressioni tettoniche plio - quaternarie, quali i bacini del Mugello e di Firenze Prato - Pistoia. In generale sono stati registrati terremoti (fig. 14) con profondità ipocentrale dell'ordine di 20-25 Km, caratterizzati da meccanismi focali legati a movimenti distensivi, associati a componenti trascorrenti in senso appenninico (NO-SE) ed antiappenninico (NE-SO).

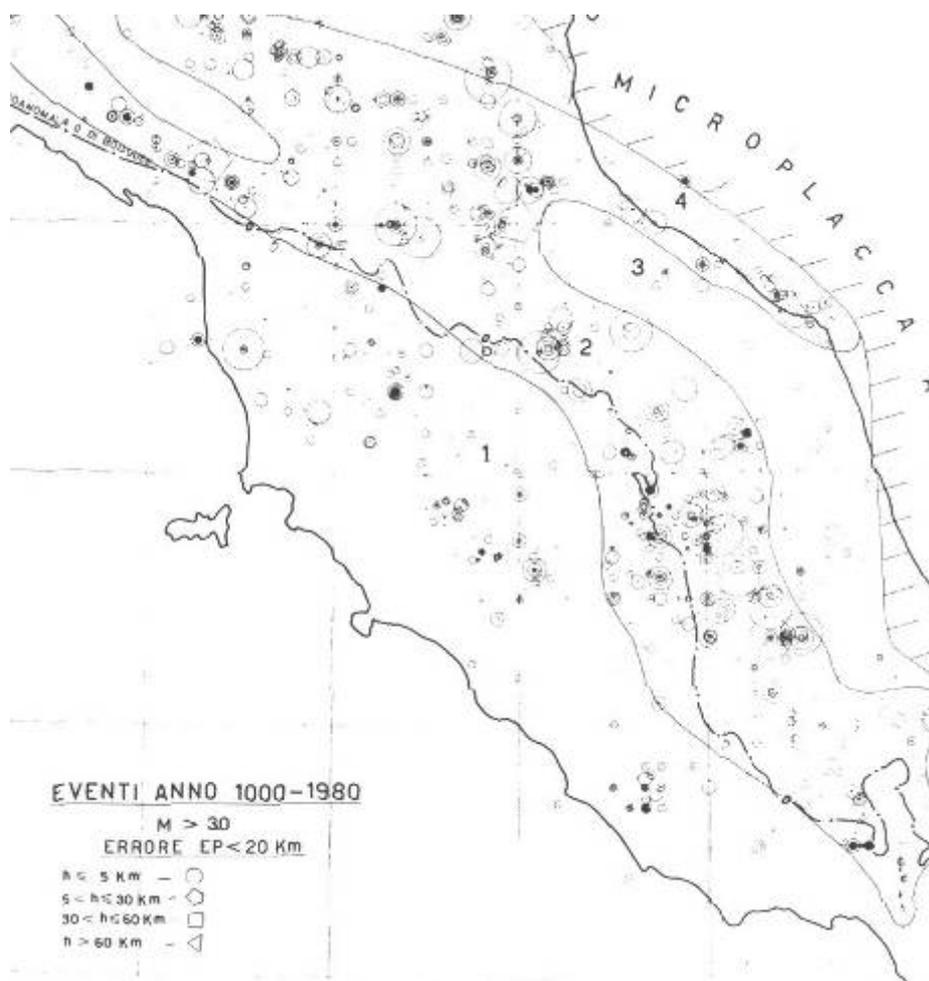


fig. 14 - Zone a particolare sismicità dell'Italia centro settentrionale (Estratto da Gasparini C. e Praturlon A., 1981)

In particolare la zona del Mugello è stata interessata da terremoti importanti con epicentri varianti tra Firenzuola, Barberino, Scarperia e Vicchio) e con intensità massima dell'ordine del IX-X MCS (Magnitudo 6-6,3) (fig. 15); infatti considerando i soli terremoti al di sopra della soglia del danno, si ricordano gli eventi storici del 1762 (I max MCS VII) a Borgo S. Lorenzo, del 1890 (I max MCS V-VI) a S. Piero a Sieve e più recentemente del 1956 al Passo della Futa (I max MCS VI) e del 1969 (I max MCS VI) a Barberino di Mugello.

### Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Firenze

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
BAGNO A RIPOLI	9	48	1	43.75181	11.31842	8
BARBERINO DI MUGELLO	9	48	2	44.00226	11.23832	9
BARBERINO VAL D'ELSA	9	48	3	43.54209	11.17195	7
BORGO SAN LORENZO	9	48	4	43.95325	11.38849	9
CALENZANO	9	48	5	43.85898	11.16421	8
CAMPI BISENZIO	9	48	6	43.82023	11.13833	8
CAPRAIA E LIMITE	9	48	8	43.74340	10.97879	7
CASTELFIORENTINO	9	48	10	43.60495	10.96975	7
CERRETO GUIDI	9	48	11	43.75880	10.87886	7
CERTALDO	9	48	12	43.54716	11.04093	7
DICOMANO	9	48	13	43.89078	11.52319	9
EMPOLI	9	48	14	43.71899	10.94673	7
FIESOLE	9	48	15	43.80571	11.29408	8
FIGLINE VALDARNO	9	48	16	43.61766	11.47259	7
FIRENZE	9	48	17	43.77723	11.24888	8
FIRENZUOLA	9	48	18	44.11868	11.37898	8
FUCECCHIO	9	48	19	43.72756	10.80918	7
GAMBASSI TERME	9	48	20	43.53838	10.95554	7
GREVE IN CHIANTI	9	48	21	43.58191	11.31693	7
IMPRUNETA	9	48	22	43.68514	11.25471	9
INCISA IN VAL D'ARNO	9	48	23	43.65622	11.44949	7
LASTRA A SIGNA	9	48	24	43.76845	11.11115	7
LONDA	9	48	25	43.86023	11.56721	8
MARRADI	9	48	26	44.07562	11.61268	9
MONTAIONE	9	48	27	43.55257	10.91299	7
MONTELUPO FIORENTINO	9	48	28	43.73238	11.02209	7
MONTESPERTOLI	9	48	30	43.64331	11.07654	8
PALAZZUOLO SUL SENIO	9	48	31	44.11283	11.54754	8
PELAGO	9	48	32	43.77217	11.50399	8
PONTASSIEVE	9	48	33	43.77465	11.44065	8
REGGELLO	9	48	35	43.68244	11.53634	7
RIGNANO SULL'ARNO	9	48	36	43.72090	11.45137	7
RUFINA	9	48	37	43.82200	11.48518	8
SAN CASCIANO IN VAL DI PESA	9	48	38	43.65671	11.18512	8
SAN GODENZO	9	48	39	43.92603	11.61780	8
SAN PIERO A SIEVE	9	48	40	43.96336	11.32487	9
SCANDICCI	9	48	41	43.75833	11.18038	7
SCARPERIA	9	48	42	43.99499	11.35530	9
SESTO FIORENTINO	9	48	43	43.83373	11.20161	8
SIGNA	9	48	44	43.78084	11.09703	8
TAVARNELLE VAL DI PESA	9	48	45	43.56156	11.17443	7
VAGLIA	9	48	46	43.90579	11.28144	8
VICCHIO	9	48	49	43.93289	11.46478	9
VINCI	9	48	50	43.78433	10.92514	7

fig. 15 -Tabella delle massime intensità macrosismiche della Provincia di Firenze.

I Comuni di Barberino di Mugello e Calenzano, ai sensi del Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n°3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Allegato 1), venivano classificati sismici in zona 2; successivamente, la pericolosità sismica veniva rappresentata dalle "Hazard Maps" dell'istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (aggiornate ad aprile 2004) da cui è derivato il documento edito dalla Regione Toscana riportato in fig. 16.

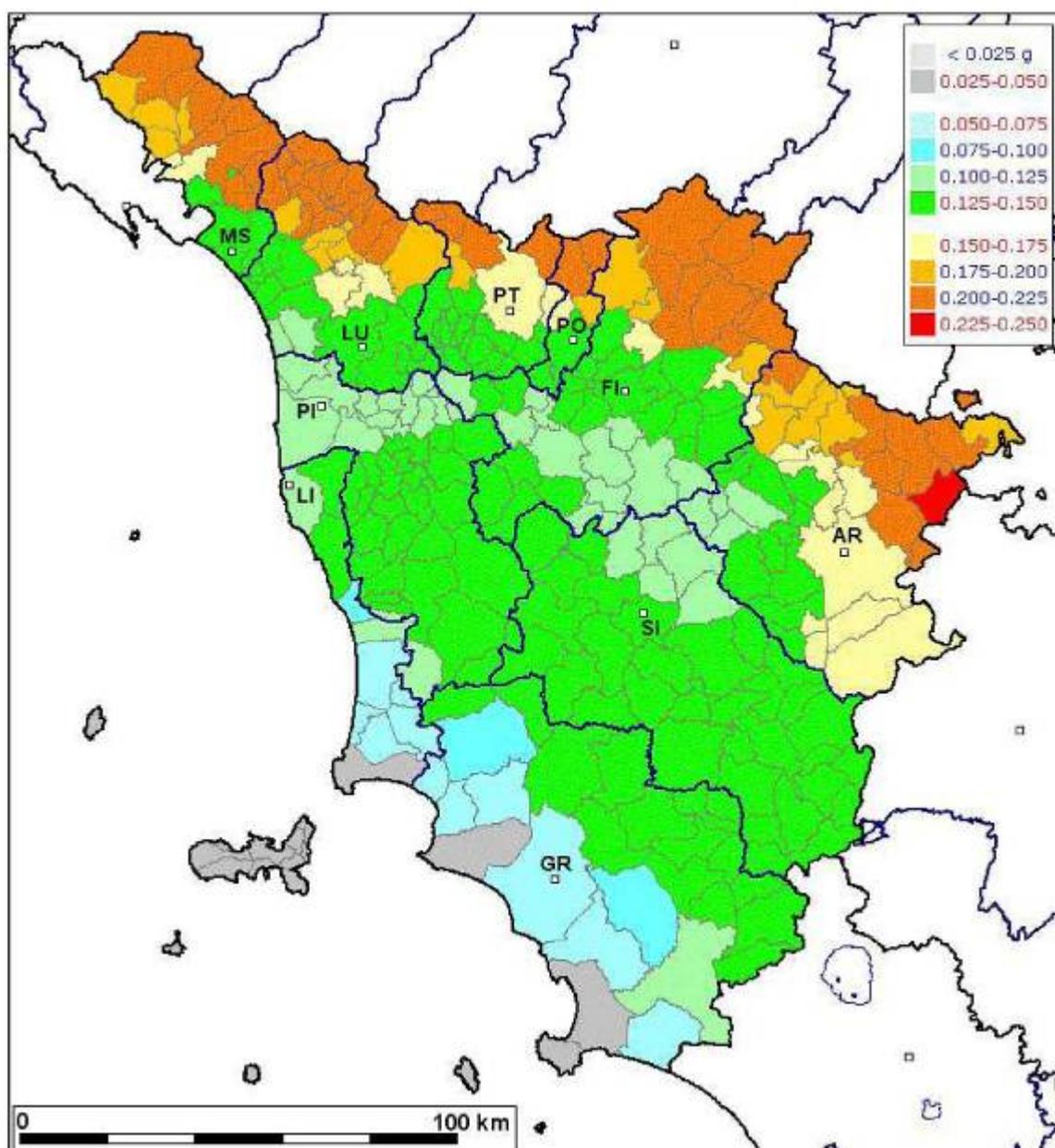


fig. 16 - Sismicità comuni della Toscana (da documentazione Regione Toscana, 2006).

Il 1 luglio 2009 sono entrate in vigore 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.

Di seguito (da fig. 17 a fig.19) si riportano le risultanze derivate dal programma sperimentale Spettri-NTC ver.1.0.3.xls, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, con particolare riferimento ai valori massimi (o picco) di accelerazione del suolo attesi forniti dal Ministero delle Infrastrutture e relativi al comune di Calenzano, territorio comunale entro cui ricade l'opera in progetto.



fig. 17 – Programma sperimentale " Spettri di risposta " (Spettri-NTC vers. 1.0.3) - Comune di Calenzano.

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c'$ [s]
30	0,049	2,533	0,251
50	0,059	2,569	0,268
72	0,068	2,553	0,275
101	0,077	2,565	0,281
140	0,086	2,555	0,286
201	0,099	2,526	0,292
475	0,136	2,449	0,303
975	0,176	2,398	0,312
2475	0,233	2,408	0,322

fig. 18 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_c$ ,  $T_c$  per il periodo di ritorno  $T_R$  di riferimento - Comune di Calenzano.

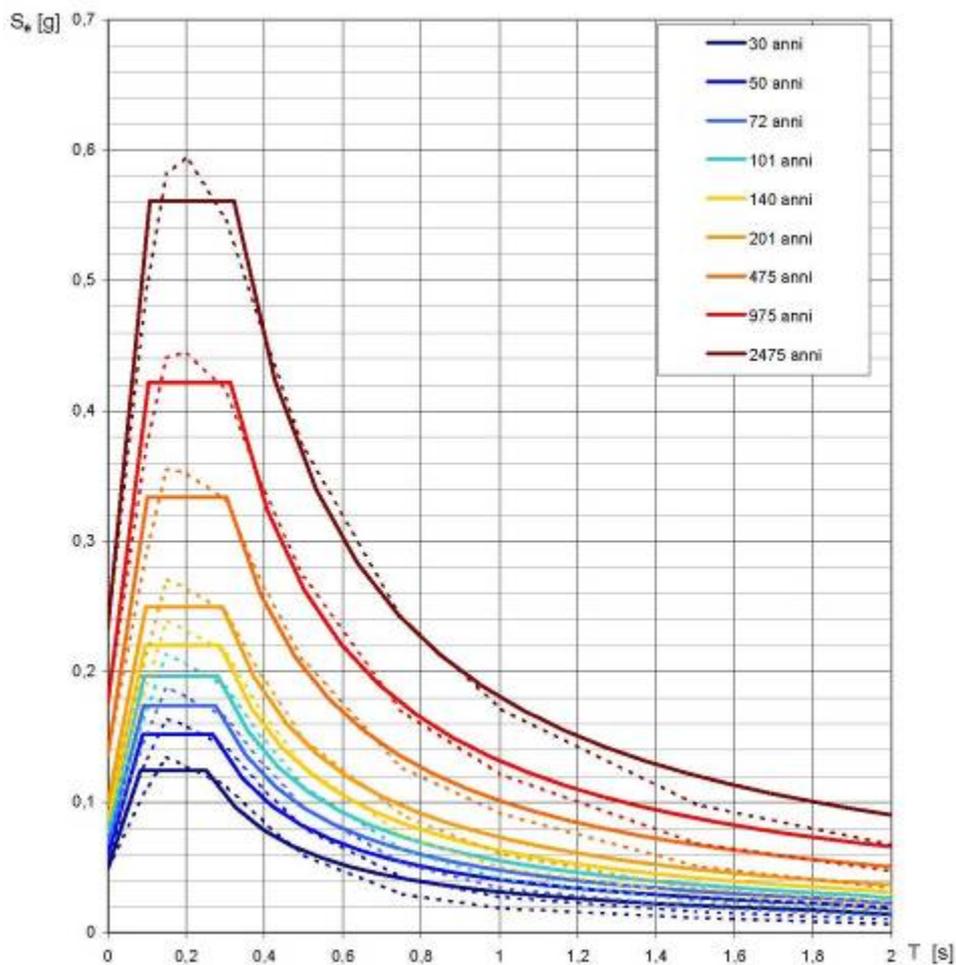


fig. 19 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento (con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati) – Comune di Calenzano.

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

## 10 APPROFONDIMENTI STRUTTURALI

### 10.1 FORMAZIONE DI SILLANO

In ampie porzioni della zona di studio la Formazione di Sillano si presenta nella sua litofacies arenacea con alternanza di straterelli di torbiditi calcarenitiche e arenaceo - calcaree e argilliti più o meno siltose in assetto stratigrafico in genere ordinato. In zone di thrust e forte tettonizzazione, o in fasce di deformazione concentrata, anche interstratale, la formazione però si presenta anche come una massa argillitica scompaginata e fortemente deformata inglobante blocchi, anche isolati e boudinati, oppure spezzoni di strato, il tutto con aspetto molto tettonizzato e con assetto stratigrafico difficilmente inquadrabile; nella zona di Poggio delle Croci è segnalata la presenza anche di olistoliti e livelli di brecciole ofiolitiche, in genere basaltiche.

Le argilliti scagliose mostrano la tipica struttura a scaly-fabric caratterizzata da superfici di clivaggio sigmoidali spaziate di circa 0,5 cm (superfici S) intersecate con un secondo sistema coniugato di superfici di taglio (superfici C) (Fig.20 A), lungo i due sistemi possono essere presenti vene di calcite, a loro volta a luoghi deformate dalla progressione della deformazione.

Le superfici dei microliti sono in genere striate meccanicamente e si presentano lucide (“polished”) con i minerali argillosi fortemente compressi ed iso-orientati secondo le superfici stesse. Tale strutturazione deriva da una intensa deformazione progressiva non coassiale di originarie strutture di taglio di tipo “Tettoniti S-C” (Fig. 21). In fasce di più intensa deformazione la Formazione di Sillano presenta la classica struttura a scaly-fabric con elementi litoidi “residui” in strutture  $\sigma$  (Fig.11B).

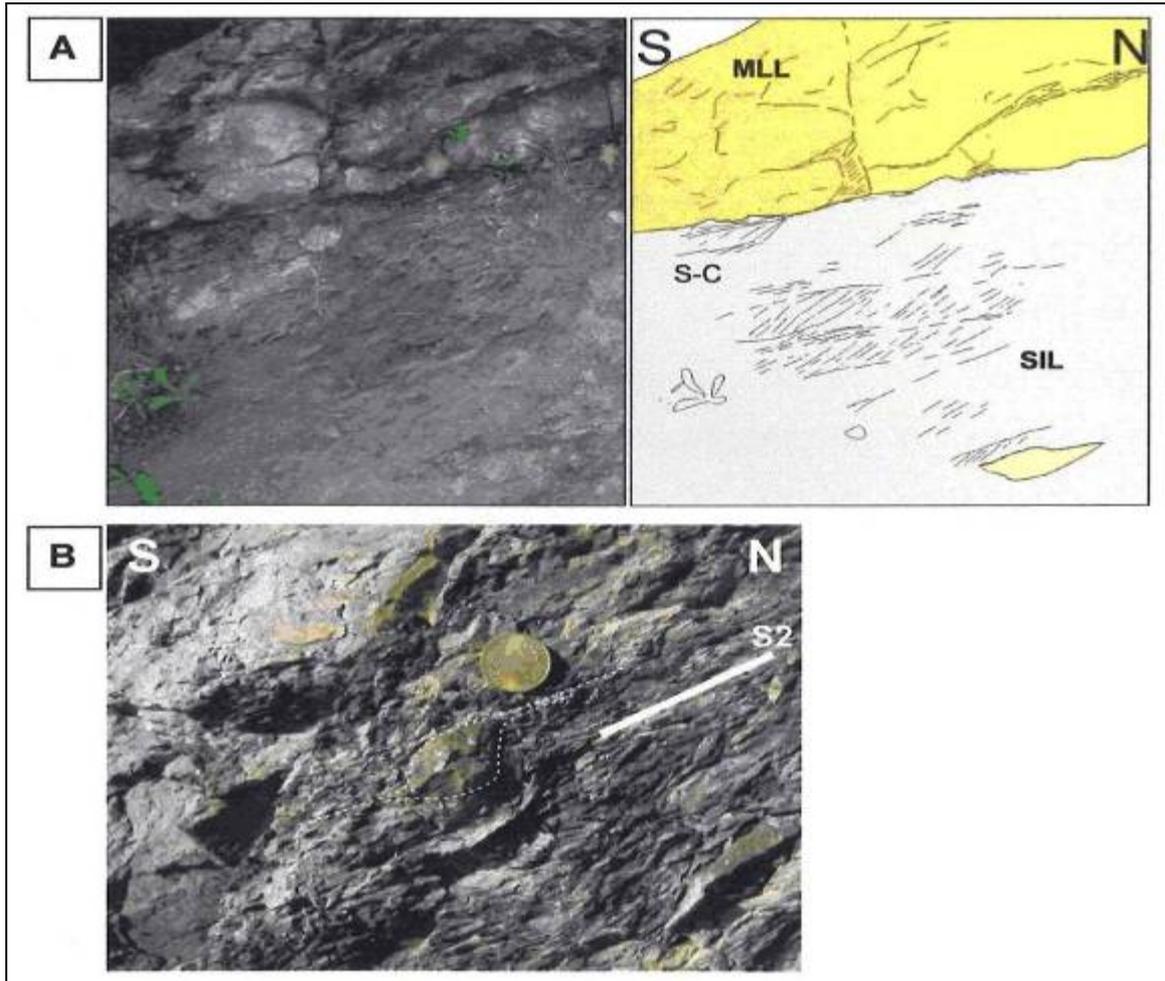


Fig.20 - A) Struttura a Tettonite S-C nella Formazione di Sillano in prossimità ed in coerenza con un contatto per sovrascorrimento con la sovrastante Formazione di Monte Morello; B) Strutture  $\sigma$  in zona di intensa deformazione a scaly-fabric nella Formazione di Sillano (da NIRTA, 2006).

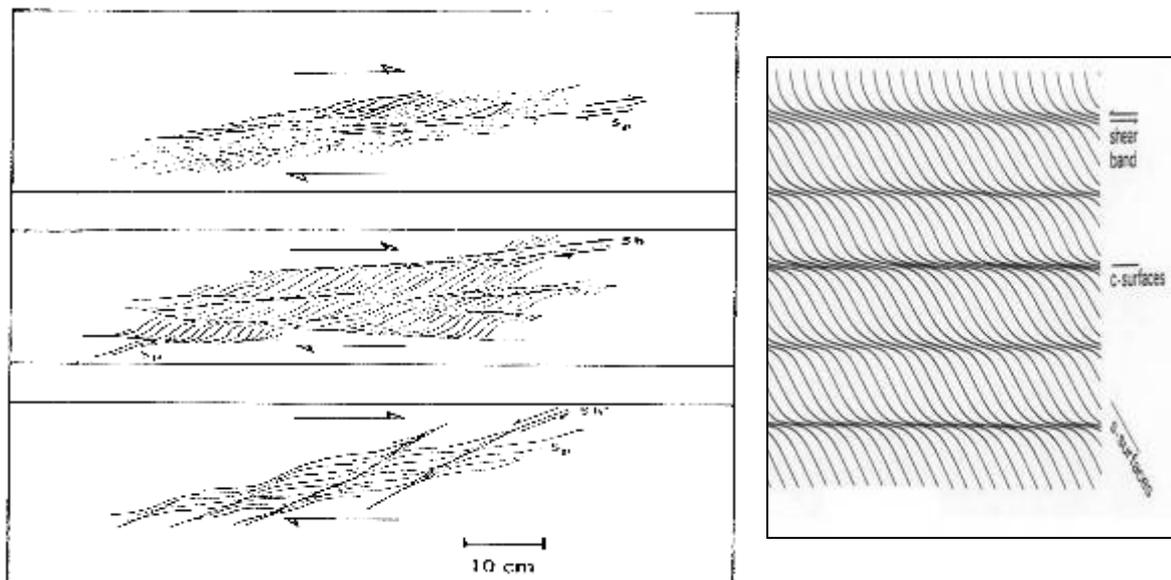


Fig. 21 - Andamento del clivaggio -Sp, delle superfici di taglio a basso angolo -Sh e delle superfici ad alto angolo -Sh' (da Koopman, 1983) derivanti da deformazione spinta di Tettoniti S-C.

### POTENZIALITÀ ESPANSIVA DEI TERMINI ARGILLOSI

La potenzialità espansiva (swelling) dei minerali argillosi del gruppo delle Smectiti è ben nota in quanto tali minerali risultano fortemente adsorbenti dell'acqua, anche di quella presente nella sola umidità atmosferica; in particolare le Smectiti possono essere presenti nei termini argillitici delle Unità Liguri e pertanto la Formazione di Sillano deve essere ritenuta potenzialmente rigonfiante, in ogni caso le valutazioni di merito dovranno tenere conto sia dei risultati delle prove geotecniche di laboratorio, sia della profondità in cui si sviluppano i diversi tratti di galleria interessati dalle argilliti.

Analisi pregresse sulle argilliti della Formazione di Sillano in corrispondenza della galleria Le Croci e dati bibliografici riferibili alla zona fiorentina (BARLA *et al.*, 1980; COLI & BRUNI, 1989) forniscono una composizione indicativa di Quarzo 15%, Feldspati 5% e Minerali Argillosi 75%; per questi ultimi esistono valori di riferimento con i minerali del gruppo delle Smectiti che rappresentano fino a circa il 50% della frazione argillosi con valori indice  $I_1 = (I+IS)/(S+IS+CIV+V)$  pari a circa 0,60 e  $I_2 = (S+IS+CIV+V)$ , in terreni ricchi in fillosilicati argillosi, pari a circa il 70% (limite base = 10%). Questi dati generali portano a classificare le argilliti della Formazione di Sillano come potenzialmente rigonfianti.

## **10.2 FORMAZIONE DI MONTE MORELLO**

Le caratteristiche deformative della Formazione di Monte Morello sono omogenee su tutta l'area studiata. Le strutture plicative, anche quelle di maggiori dimensioni, si presentano in genere con i fianchi diritti e la zona di cerniera ristretta, ma mai brusca (Fig. 22d, h) e talvolta senza una vera linea di cerniera; le pieghe sono strizzate, a fianchi paralleli ed a cerniere multiple (Fig. 22p). Il tipo di piegamento dei litotipi più coerenti, in particolare del calcare "Alberese", è riconducibile alla classe IB (parallelo) della classificazione geometrica di RAMSAY (1967); l'orientazione generale di tali pieghe è ad assi circa NNE, SSW.

I livelli argillitici intercalati mostrano solo occasionalmente rifluimenti plastici in cerniera (Fig.22q), più spesso accompagnano in concordanza il piegamento

maggiore (Fig.22b), oppure mostrano disarmonia interna, specie nei livelli più potenti. I livelli incoerenti poco spessi, intercalati in livelli più potenti, mostrano micro pieghe di trascinamento con simmetria ad S o Z (Fig.22g), coerenti col fianco della struttura mesoscopica rilevata, alla quale appartengono (RAMBERG 1963). Localmente tali micro pieghe evolvono in micro faglie inverse che interessano solo la porzione maggiormente competente e si disperdono poi nelle argilliti (Fig.22a, f); a luoghi i livelli competenti sono anche boudinati (Fig.22n).

Le pieghe maggiori nei litotipi calcarei sono accompagnate da sistemi di joint, essenzialmente di tipo ac e bc (Fig.23), questi ultimi risultano spesso beanti verso l'esterno (Fig.22d, b, g, h, p). Si riscontra anche la presenza di micro faglie parallele agli strati e con strie tipiche di decrochement legato al piegamento, che dislocano e segmentano gli assi di cerniera (Fig.22d, h, q).

Le strutture disgiuntive sono rappresentate da faglie normali a direzione NW-SE e NE-SW ed anche da faglie di taglio a direzione prevalente NE-SW; le dimensioni di queste faglie variano molto e vanno da quelle interessanti l'intera placca alloctona a quelle centimetriche.

La presenza di strutture distensive è manifestata anche da altre strutture minori, tipo micrograben (Fig.22t) e gradinate di faglie (Fig.22e, r).

Le striature e le vene presenti sui piani di strato sono sub-perpendicolari all'asse del piegamento (lineazioni a) al quale sono associate (Fig.22s) e sono coerenti con piegamenti di tipo parallelo. Più rari sono i clivaggi legati ai piegamenti, presenti essenzialmente in zone di cerniera che negli strati calcareo - marnosi si manifestano come clivaggio disgiuntivo a spaziatura da centimetrica a decimetrica (Fig.23); i livelli più marnosi danno luogo in zona di cerniera anche a strutture tipo pencil. In particolare, faglie normali che dislocano livelli competenti compresi tra più potenti livelli argillitici, si ammortizzano e si annullano nelle argilliti (Fig.22s); oppure micrograben, presenti nei livelletti coerenti, si annullano ad Y in livelli argillitici sottostanti, occasionalmente anche con la formazione locale di strutture plicative di rifluimento nelle argilliti, con asse parallelo all'allungamento del micrograben (Fig.22t).

Sono presenti anche strutture disgiuntive locali di tipo trascorrente (Fig.22c, t, u), o più sistemi di striature su uno stesso piano di faglia (Fig.22d, i). Tali strutture multiple sono in alcuni casi rappresentate da un unico livello di calcite a fibre di tipo sintassiale (Durney & Ramsay, 1973) con continuità della striatura (fibra di calcite), a variazione delle direzioni principali della strain incrementale durante il movimento della faglia (Durney & Ramsay, 1973).

L'intensità di fratturazione dei litotipi calcarei è più o meno costante su tutta l'area; i microliti sono in genere dell'ordine di 150-200 dm<sup>3</sup>, e questa indipendentemente dal fatto che i singoli livelli siano costituiti da alternanze di calcari e argilliti, oppure da soli strati calcarei. Solo in prossimità di alcune delle faglie principali essa tende a livelli cataclastici a partire da una distanza di circa 1-2m dal piano di faglia, per raggiungere una cataclasi completa sul piano di faglia stesso (Fig.24).

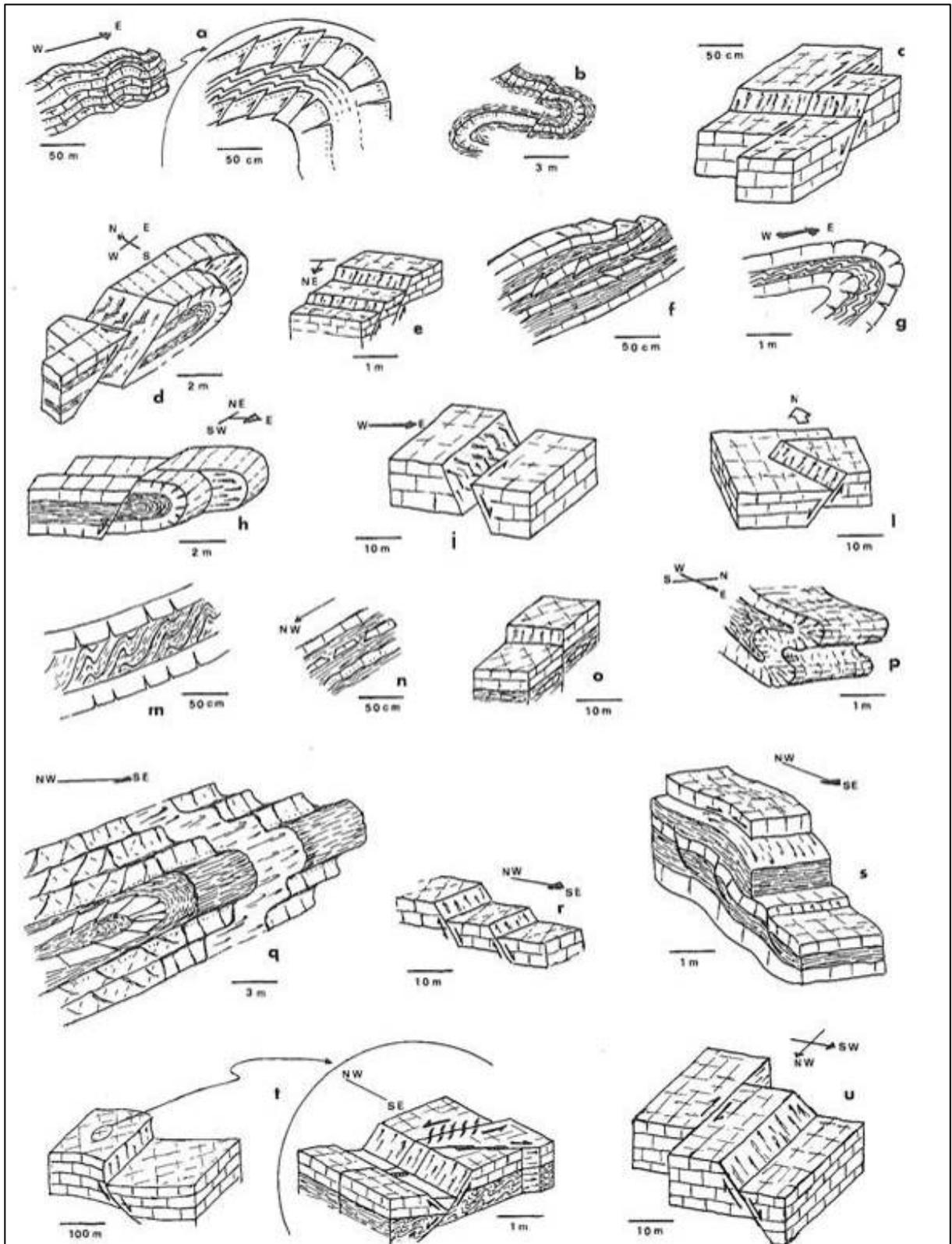


Fig. 22 - Sinossi delle tipologie e caratteristiche deformative riscontrabile all'interno della Formazione di Monte Morello; per dettagli vedi testo (da Coli & Fazzuoli, 1983).

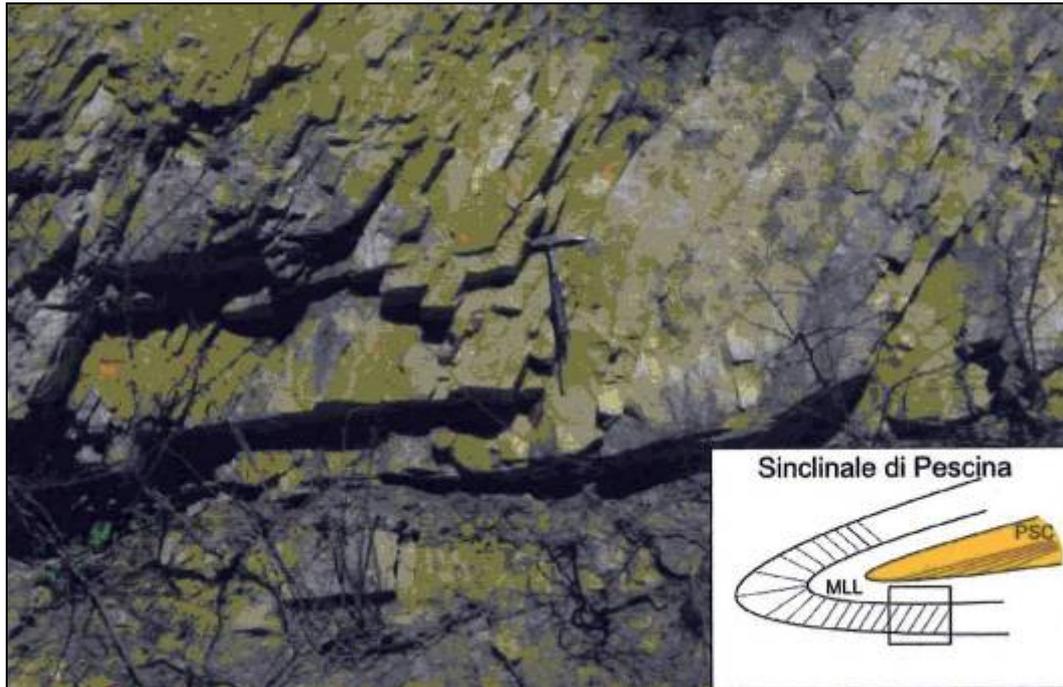


Fig. 23 - Clivaggi disgiuntivi nei livelli calcareo-marnosi della Formazione di Monte Morello in zone di cerniera (da Nirta 2006).

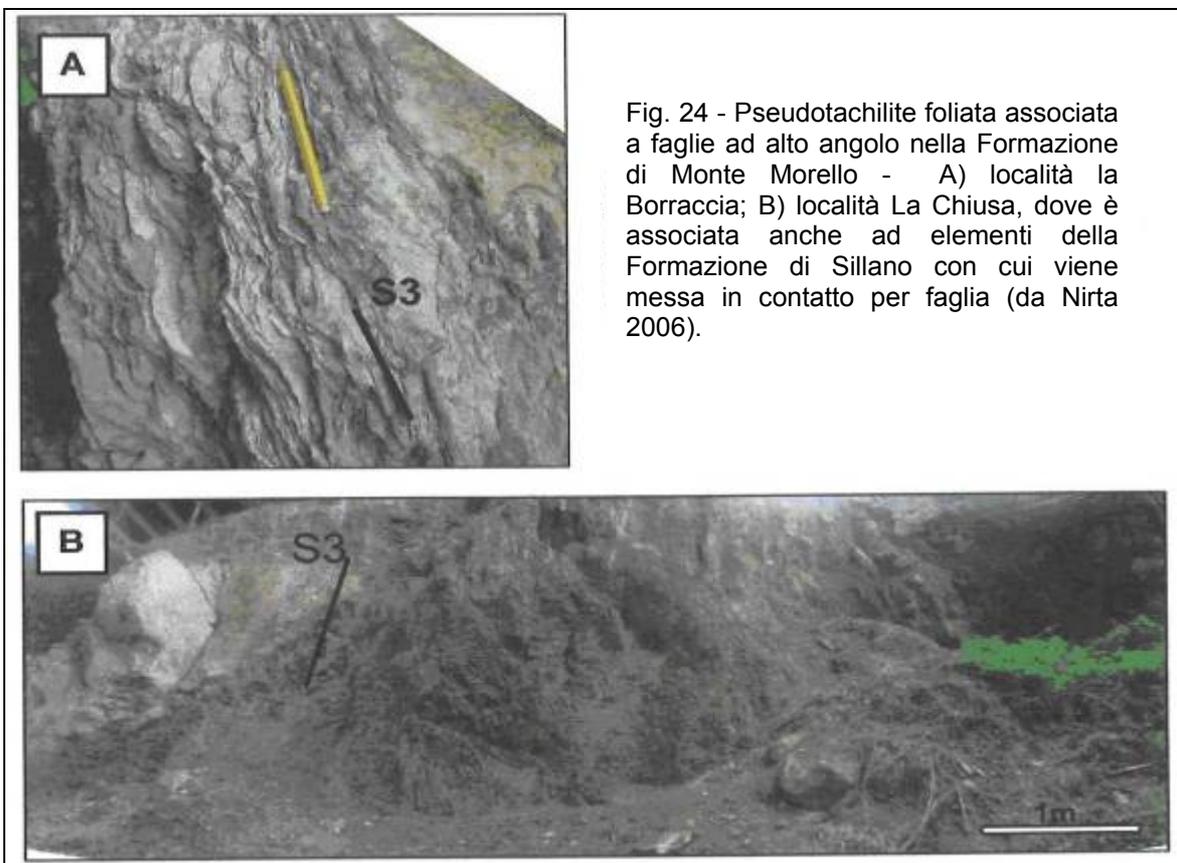


Fig. 24 - Pseudotachilite foliata associata a faglie ad alto angolo nella Formazione di Monte Morello - A) località la Borraccia; B) località La Chiusa, dove è associata anche ad elementi della Formazione di Sillano con cui viene messa in contatto per faglia (da Nirta 2006).

## 11 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

A partire dal Modello Geologico è stato possibile eseguire la ricostruzione geologica in asse al tracciato (profilo geologico longitudinale) e lungo sezioni trasversali; pertanto di seguito si descrivono gli elementi principali riscontrabili lungo il tracciato in progetto, procedendo da nord verso sud.

L'elaborazione del profilo geologico longitudinale ha messo in luce rare e modeste discrepanze tra il profilo topografico, derivato da apposita cartografia in scala 1:1000, e la cartografia CTR 1:5000, utilizzata per il riporto delle informazioni geologico – strutturali, relativamente alle distanze misurate dalle progressive di elementi quali incisioni torrentizie e displuvi. Queste differenze solo localmente hanno raggiunto entità di ordine metrico in planimetria. In ragione di quanto sopra durante la stesura del profilo geologico è stata privilegiata la congruenza con il profilo topografico, operando locali aggiustamenti. Sono state ammesse alcune piccole tolleranze relativamente alle quote del piano campagna dei sondaggi, come si evince dalla carta 1:5.000, rispetto a quelle del profilo ricavato dalla cartografia in scala 1:1000 ed in particolare per i sondaggi in asse si è utilizzata la quota del profilo.

Per quanto attiene agli elementi strutturali, si ricorda come la loro ubicazione in planimetria ed in sezione talora presenti un certo grado di indeterminatezza in ragione della scarsa esposizione rocciosa e della presenza di estese coltri di detrito, di frana o di alluvioni. Si sottolinea inoltre come attorno alle zone di faglia ed alle strutture principali sia probabile la presenza di una zona cataclastica (con fratture più o meno cementate da calcite) di cui tener conto anche se non espressamente indicata da sovrassegni (utilizzati solo in presenza di osservazioni specifiche). Resta infine inteso che faglie e fasce intensamente tettonizzate possano essere presenti in numero maggiore rispetto a quanto rappresentato lungo il tracciato ma non essere note, in quanto non intercettate dai sondaggi e non osservabili mediante le prospezioni geofisiche oppure in affioramento. In particolare le zone di fratturazione o alterazione segnalate dalle prospezioni geofisiche e non altrimenti riconosciute, sono indicate sul profilo longitudinale con apposito simbolo: anche in questo caso la loro posizione è da intendersi con approssimazione decametrica. Non sono riportate informazioni dettagliate sulle condizioni idrogeologiche, per le quali si rimanda alla

relazione idrogeologica di progetto; comunque, in generale, si sottolinea come le zone di faglia o tettonizzate rappresentino gli elementi che maggiormente regolano la circolazione idrica sotterranea.

Relativamente all'eventuale presenza di gas negli ammassi rocciosi attraversati dal tracciato, si rimanda alle risultanze delle indagini geognostiche (analisi dei gas disciolti nei fluidi di perforazione ed analisi dell'atmosfera a bocca foro) ed allo specifico elaborato di "classificazione tecnica basata sulla previsione degli afflussi di metano durante la fase realizzativa", allegati al progetto.

### **11.1 TRATTO PROGR. 11+314 (INIZIO LOTTO) – PROGR. 12+309: TRINCEE**

Da inizio lotto fino alla progr. 12+219 del tracciato il progetto prevede la realizzazione di rilevati e trincee scavate nella coltre di detrito che ricopre la Formazione di Sillano lungo tutto il pendio.

Come accennato in precedenza questo settore fino alla progr. 11+950 circa è interessato da una paleofrana originatasi probabilmente in condizioni paleogeografiche diverse dalle attuali e mobilizzatasi grazie all'assetto a franapoggio degli strati lungo versante. I sondaggi S43, S44, S45, S46 indicano che al di sotto della coltre detritica riconoscibile dai colori di alterazione è presente materiale scadente ascrivibile alla Formazione di Sillano, ciò a testimonianza dell'antico fenomeno di scivolamento caratterizzato da spessori massimi dell'ordine dei 25m. Si sottolinea come questo tratto di versante presenti nel complesso caratteristiche tali da determinarne la potenziale instabilità, soprattutto nel caso in cui si procedesse con scavi non adeguatamente concepiti. In particolare alla progr. 11+925 c.a. è prevista la realizzazione di un rilevato di altezza > 10m: la presenza di una paleofrana e di terreni di copertura (a3) con scadenti caratteristiche meccaniche impongono particolare attenzione per la progettazione e realizzazione di questo intervento.

Nel tratto compreso fra la progr. 11+950 e la progr. 12+219 circa la Formazione di Sillano, su cui si imposta la coltre detritica, appare molto tettonizzata, probabilmente anche per la presenza di un asse di piega anticlinale.

Dalla progr. 12+219 alla progr. 12+300 circa il tracciato si imposta nella Formazione di Sillano con argilliti, marne e calcareniti piuttosto tettonizzate per la presenza di una faglia inversa alla progr. 12+300 c.a.: il sondaggio S48 individua, nella sua parte finale, il passaggio alla sottostante Formazione di Monte Morello. La faglia sollevando il blocco meridionale accavalla la Formazione di Monte Morello sulla Formazione di Sillano, con assetto degli strati lievemente immergente verso nord ovest.

## **11.2 VIADOTTO MARINELLA E TRATTO FINO A PROGR. 12+908**

Dalla progr. 12+303 è prevista la realizzazione di un viadotto per l'attraversamento del Torrente Marinella di Legri, che affluisce nel Torrente Marinella poche centinaia di metri ad ovest del tracciato. La spalla nord si imposta nella Formazione di Monte Morello (si veda il sondaggio IS34BIS) come la prima parte del viadotto fino alla progr. 12+408, proseguendo poi fino alla progr. 12+619 circa nei depositi alluvionali di fondovalle poggianti sulla Formazione di Monte Morello (si veda la stratigrafia del sondaggio S50). In questo tratto si è individuata una faglia sepolta con giacitura sub verticale e direzione nord-sud, tale struttura viene intercettata dapprima alla progr. 12+451 circa (sondaggio S49) e successivamente nei pressi della progr. 12+730 circa. Dalla progr. 12+670 alla progr. 12+769 circa il viadotto attraversa una frana quiescente spessa una decina di metri, adagiata sulla Formazione di Monte Morello (si veda la stratigrafia del sondaggio S51). Dalla progr. 12+769 fino alla spalla sud, il viadotto si imposta sulla formazione di Monte Morello (si veda la stratigrafia del sondaggio IS35), con strati diretti parallelamente al tracciato ed immersi verso ovest con pendenze variabili da 50 a 70 gradi (adiacenze faglia). All'altezza della progr. 12+852 il tracciato intercetta una coltre di detrito (che interessa tutto il versante fino alla progr. 13+110 circa). Attorno alla progr. 12+887 c.a. il tracciato intercetta una faglia che pone in contatto la Formazione di Monte Morello con quella di Sillano, all'interno della quale si imposta l'imbocco della galleria Boscaccio.

### 11.3 GALLERIA BOSCACCIO

L'imbocco nord della Galleria Boscaccio intercetta inizialmente una coltre di detrito (si veda la stratigrafia dei sondaggi IS36 e S53) che permane in prossimità della calotta nei primi 100m c.a. di scavo: questo tratto di galleria caratterizzato da modeste coperture si imposta per lo più nella Formazione di Sillano (sondaggio IS36). La zona di imbocco pertanto appare delicata dal punto di vista della stabilità allo scavo.

Alla progr. 13+038 c.a. attraversa una nuova zona di faglia, oltre la quale lo scavo penetra nella Formazione di Monte Morello, solo marginalmente ed in calotta si riscontra la presenza della sua facies pelitica MMLp (si veda la stratigrafia del sondaggio IS37). Il tracciato prosegue nella Formazione di Monte Morello (che presenta a quote superiori un'asse di piega sinclinalica) fino alla progr. 13+704 c.a. dove la galleria intercetta, in calotta, la base di una paleofrana probabilmente di scivolamento (si veda la stratigrafia del sondaggio IS38); al di sopra della paleofrana, è presente un deposito di frana quiescente, che però non interessa la quota di scavo. In corrispondenza della progr. 13+806 circa l'intera sezione di scavo dovrebbe rientrare nelle rocce di substrato ascrivibile alla Formazione di Monte Morello.

Il versante attraversato dalla galleria presenta un prevalente assetto a franapoggio degli strati, anche se sono possibili locali complicazioni plicative con verticalizzazioni e rovesciamenti della serie, come si intuisce attorno alla progr. 13+400, ad est del tracciato. Si segnala ancora una volta come gli strati a franapoggio possano concorrere allo sviluppo di fenomeni di dissesto: a tale proposito nel sondaggio S55 (progr. 14+128 circa) si segnalano livelli di limo, dovuti probabilmente all'alterazione della parte pelitica tettonizzata dello strato calcareo - marnoso, che possono costituire elementi di debolezza (inoltre la geofisica a rifrazione eseguita in asse presenta alcune fasce a minore velocità legate evidentemente ad una maggiore fratturazione).

Dalla progr. 14+407 circa fino alla progr. 14+606 circa, la galleria prevede il sottoattraversamento dell'autostrada esistente, con bassissime coperture: lo scavo intercetterà in calotta un deposito detritico in parte di versante (si veda la stratigrafia del sondaggio IS38BIS e del pozzetto IPZ2-L4), ed in parte antropico (si veda il

sondaggio IS39BIS); dalla progr. 14+420 alla progr. 14+470 i depositi antropici poggiano su di una sottile coltre di frana quiescente. A questa altezza nel muro di sottoscarpa in carreggiata sud dell'autostrada attuale sono visibili modeste fessurazioni, monitorate con fessurimetri. Appare evidente che tale tratta a bassissima copertura risulti molto delicata per l'avanzamento dello scavo e la stabilità delle opere esistenti, pertanto dovranno essere adottate particolari cautele progettuali e realizzative.

Si segnala inoltre come, all'esterno del tracciato di progetto, all'altezza del sondaggio S56, siano presenti notevoli spessori di detrito antropico e di versante.

In corrispondenza del sondaggio S57 la Formazione di Monte Morello registra una notevole presenza di calcite, sia in vene diffuse negli strati, sia come cemento in porzioni brecciate, il che può testimoniare una maggiore tettonizzazione del substrato roccioso.

Dalla progr. 14+797 alla progr. 14+832 la galleria intercetta alternanze di marne scure molto foliate ed argilliti con calcari, attribuite alla litofacies pelitica della Formazione di Monte Morello (riconoscibile in affioramento lungo la carreggiata sud dell'autostrada A1 ed in sondaggio nella parte finale di S58bis), per poi passare nuovamente alla Formazione di Monte Morello.

Dalla progr. 14+832 circa la galleria presenta bassissime coperture ed intercetta, a varie altezze, detrito antropico e di versante (si veda la stratigrafia del sondaggio S58) fino all'imbocco meridionale posto alla progr. 14+886,30. Anche l'imbocco sud appare delicato dal punto di vista della stabilità allo scavo.

Di seguito si riportano ulteriori considerazioni circa i principali aspetti di interesse ingegneristico:

#### **ZONE DI INTENSA FRATTURAZIONE E/O FAGLIA**

Il tracciato in galleria è caratterizzato dall'attraversamento di alcune strutture tettoniche disgiuntive e lambita da assi plicativi. Tali strutture si esplicano attraverso fasce, di spessore variabile, caratterizzate da disturbo tettonico di entità crescente

all'approssimarsi della struttura principale; le caratteristiche geostrutturali e deformative delle zone di disturbo tettonico risultano diverse nelle Formazioni ed in particolare:

- La Formazione di Sillano presenta zone di disturbo sempre molto tettonizzate e disarticolate, si tratta di masse argillitiche scagliose inglobanti blocchi litoidi eterometrici contraddistinte da caratteristiche geotecniche - geomeccaniche scadenti; il decadimento delle caratteristiche fisiche può arrivare fino a condizioni di un terreno coesivo;
- La Formazione di Monte Morello normalmente presenta un'intensità di fratturazione più o meno costante, in corrispondenza delle strutture tettoniche disgiuntive tale fratturazione risulta più intensa fino ad arrivare, per le strutture principali, a livelli cataclastici con spessori anche di diversi metri;
- Le zone intensamente fratturate possono inoltre rappresentare vie preferenziali per la circolazione delle acque, con associati fenomeni erosivi e di dissoluzione/carsismo e di fenomeni di alterazione.

### MINERALI ARGILLOSI

In linea di principio la presenza di minerali argillosi determina, in presenza di acqua o anche solo di umidità atmosferica, un possibile comportamento rigonfiante (swelling) dei terreni. I termini argillitici della Formazione di Sillano, sulla base di quanto descritto precedentemente, possono essere pertanto classificati come potenzialmente rigonfianti. Per una compiuta valutazione del fenomeno di rigonfiamento si rimanda alla specifica relazione geomeccanica.

E' importante tenere presente che il rigonfiamento è un fenomeno con effetti e conseguenze non necessariamente immediati, ma anche a lungo termine.

### PERCENTUALI DI SILICE

Le litologie interessate dallo scavo della galleria Boscaccio (Formazione di Sillano e prevalentemente Formazione di Monte Morello) presentano tenori di quarzo medio -

alti; sulla base di dati derivanti da analisi mineralogico-petrografiche pregresse, riportate nel dettaglio per le diverse litofacies nei precedenti paragrafi, è possibile stimare un range di tenori di quarzo per le diverse litologie oggetto di scavo (Tabella I).

Dal punto di vista progettuale l'attraversamento di rocce con elevati contenuti in quarzo può portare ad una frequente sostituzione degli utensili di scavo per usura, nonché l'adozione di opportuni accorgimenti per evitare/limitare la produzione di polveri.

Tabella I - Presenza di Quarzo nelle unità oggetto di escavazione (range %)		
Formazione	Litofacies	Range contenuto in Quarzo (%)
Formazione di Sillano	argillitici s.l.	30-35%
Formazione di Sillano	arenacea	40-50%
Formazione di Monte Morello	calcarea e calcareo-marnos	40-55%
Formazione di Monte Morello	marnoso-pellica	30-35%

### POSSIBILI VENUTE D'ACQUA

In relazione al battente idraulico ed alle generali condizioni di permeabilità delle formazioni attraversate, è possibile ipotizzare potenziali venute d'acqua in particolare nell'attraversamento delle principali zone di tettonizzazione fragile.

Per una compiuta definizione di tali tematiche si rimanda alla specifica relazione idrogeologica.

### GAS TOSSICI O ESPLOSIVI

- Radon: in area fiorentina analisi specifiche sono state condotte negli anni 1990 (BOCCALETTI *et al.* 1997) ed hanno riscontrato venute di Radon fino a 120 Bq/L lungo le principali faglie normali di bordo del Bacino di Firenze - Prato-Pistoia
- CO<sub>2</sub>: analisi condotte nelle zone del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia attraverso le principali strutture distensive (BOCCALETTI *et. al.* 1997) hanno dato valori di flusso di CO<sub>2</sub> fino a  $\Phi = 7 \text{ cm}^3/\text{s}$ .
- Metano: il monitoraggio effettuato nell'ambito delle campagne geognostiche a oggi eseguite nei pressi della galleria Boscaccio (sondaggi IS37, IS38, IS38BIS, IS39, S55, S57, S58) ha evidenziato gas disciolto nei fanghi di perforazione (in % sempre <10 µg/l); come già accennato, si rimanda ai singoli certificati di analisi dei gas disciolti nei fluidi di perforazione e di analisi dell'atmosfera a bocca foro nonchè allo specifico elaborato di "classificazione tecnica basata sulla previsione degli afflussi di metano durante la fase realizzativa" , allegati al progetto.

#### **11.4 TRATTO 14+881 – 17+543,73: RILEVATI**

Dalla progr. 14+881 alla progr. 14+937 circa il tracciato autostradale si sviluppa a cielo aperto in rilevato (con altezze massime dell'ordine di 5-6 m) ed è affiancato a ovest da una nuova viabilità urbana ("Galleria Urbana del Colle"), che fino alla corrispondente progr. Autostradale 15+279 circa risulterà artificiale; in relazione a questa nuova opera sono stati eseguiti i sondaggi VBF-25 e VBF-26: in particolare il primo ha consentito di individuare, dopo 3-4 m di detrito eluvio-colluviale, un substrato riferibile alla facies pelitica del Monte Morello, sotto il quale si è distinta la Formazione di Sillano. Pertanto dalla progr. 14+881,5 alla progr. 15+425 circa il tracciato si imposta su depositi di alterazione del materiale di substrato accumulatosi in posto o dopo breve trasporto (a4).

Dalla progr. 15+425 circa alla progr. 15+977 circa l'opera in progetto poggia sopra un cospicuo spessore di alluvioni (17,5 m) di origine fluviale (Torrente Chiosina) (si veda la stratigrafia dei sondaggi S59 ed S60); il sondaggio inoltre VBF28BIS ha confermato la presenza, al di sotto, di un substrato ascrivibile al Monte Morello in facies pelitica.

Dalla progr. 15+977 circa alla progr. 16+252 il tracciato prosegue su una coltre di alcuni metri ascrivibile sia alla alterazione in posto della sottostante Formazione di Monte Morello pelitico, che all'alterazione seguita da breve trasporto della Formazione di Monte Morello, affiorante appena più a est (si veda la stratigrafia del sondaggio VBF28).

Tale coltre di alterazione si raccorda alla pianura antistante, dove il tratto finale del tracciato fino al termine dell'intervento poggia sui depositi alluvionali del Bacino di Firenze – Prato – Pistoia (si veda ad esempio la stratigrafia dei sondaggi IS40 e IS41).

## 12 BIBLIOGRAFIA

- ABBATE E. & SAGRI M. (1970) – *The eugeosynclinal sequences*. Sedimentary geology, Vol.4, n°3-4, 251-340.
- ABBATE E., BORTOLOTTI V., PASSERINI P., SAGRI M. (1970) – *Introduction to the geology of the Northern Apennines*. Sedimentary geology, Vol.4, n°3-4, 270-250.
- AGILI F., CECCHI M., COLI M., PINI G. RUBELLINI P. (2003) – *FIRENZE CARTA LITOTECNICA*. SELCA FIRENZE, 2003.
- BARLA G., PAZZAGLI G., TRAVIGLINI S. (1980) – *Fenomeni di “swelling” verificatisi in Argille Scagliose fra la progressiva 3300 e progressiva 3800, galleria San Donato, Linea Direttissima Firenze-Roma*. Nota illustrativa, XIV Conv. Naz. Geotecnica, Firenze, 28 Ottobre 1980.
- BARTOLINI C., PRANZINI G. (1979) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 97 (S. Marcello Pistoiese), 105 (Lucca) e 106 (Firenze)*. C.N.R, Pubbl. 251, pp. 481-523.
- BENVENUTI M. (1996) - *CARTA GEOLOGICA DEL BACINO FLUVIO-LACUSTRE DEL MUGELLO (FIRENZE)* SCALA 1:50.000. ARCA ED.
- BENVENUTI M. (1997) - *Physical stratigraphy of the fluvio-lacustrine Mugello Basin (Pleistocene, Northern Apennines, Italy)*. Giorn. Geol., 59, 91-111, Bologna.
- BERNI C. & RUBELLINI P. (1986) – *Nota su alcune forme di carsismo sul Monte Morello in provincia di Firenze*. Rivista Speleologica Toscana, 2, 21-26.
- BOCCALETTI M., COLI M., DECANDIA F.A., GIANNINI E., LAZZAROTTO A. (1980) – *Evoluzione dell’Appennino Settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 359-373.
- BOCCALETTI M., COLI M., PRINCIPI G., SAGRI M., TORTORICI L. (1984) – *Piedmont Ligurian Ocean: an example of the passive tension fissure within a mega-shear zone*. Ofioliti, 9,353-362.

BOCCALETTI M., CORTI G., GARGINI A., GASPERINI P., PICCARDI L., PRANZINI G., VANNI DESIDERI A., VANNINI G., VANNUCCI G., MORATTI G., MINISSALE A., VASELI O., TASSI F., ABBADO D. (1997) – *Geologia Urbana di Firenze*. In: Atti del Convegno “Geologia delle grandi aree urbane, Bologna, 4-5 Novembre 1997, 49-93.

BOCCALETTI M. - SANI F. (1997) - *COVER THRUST REACTIVATIONS RELATED TO INTERNAL BASEMENT INVOLVEMENT DURING NEOGENE-QUATERNARY EVOLUTION OF THE NORTHERN APENNINES. TECTONICS.*

BORTOLOTTI V. (1962) – *Sulla stratigrafia del passaggio Pietraforte-Alberese nell'Appennino Settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 3, 415-419.

BORTOLOTTI V. (1964) – *Nota illustrativa della Carta della distribuzione geografica della Formazione di Monte Morello (Alberese)*. Boll. Soc. Geol. It., 83 (4), 155-190.

BORTOLOTTI V. (1966) – *La tettonica trasversale dell'Appennino*. Boll. Soc. geol. ital. I- La linea Livorno-Sillaro, 85, 529–540.

BORTOLOTTI V. (1987) – *Le Unità Liguri*. In: Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale. Note Illustrative, a cura di Boccaletti A., Decandia F.A., Gasperi G., Gelmini R., Lazzarotto A., Zanzucchi G.

BRIGANTI R., CIUFEGNI D., COLI M., POLIMENI S., PRANZINI G. (2003) - *Underground Florence: plio-quaternary geological evolution of the florence area*. Boll. Soc. Geol. It., 122, 435-445.

CAPECCHI F., GUAZZONE G., PRANZINI G. (1975) - *Il bacino lacustre di Firenze-Prato-Pistoia, geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 637-660.

CARG (2008) – *Carta geologica, Scala 1:10.000.*  
[http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/sezioni/ambiente\\_territorio/visualizza\\_asset.html\\_2038111171.html](http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/sezioni/ambiente_territorio/visualizza_asset.html_2038111171.html)

Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - *Foglio 252 "Barberino di Mugello"* (2002). Servizio Geologico d'Italia. Ente Realizzatore Regione Emilia-Romagna. S.EL.CA. s.r.l. Firenze.

Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - *Foglio 265 "Bagno di Romagna"* (2002). Servizio Geologico d'Italia. Ente Realizzatore Regione Emilia-Romagna. – S.EL.CA. s.r.l. Firenze.

Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – *F. 264 "Borgo San Lorenzo"* (in elaborazione). APAT - Agenzia per la Protezione dell' Ambiente e per i Servizi Tecnici Nazionali, Roma.

CICALI F.& PRANZINI G. (1984) - *Idrogeologia e carsismo dei Monti della Calvana (Firenze)* - Bollettino della Societa Geologica Italiana, 103(01), pp. 3-50.

CIPRIANI C. & MALESANI; P.G. (1966) – *Ricerche sulle Arenarie, XIII, La Pietraforte*. Boll. Soc. Geol. It., 85, 299-331.

CNR (1982) - PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA - SOTTOPROGETTO 5 - MODELLO STRUTTURALE - GRUPPO APPENNINO SETTENTRIONALE - *Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale - Scala 1:250.000*.

COLI M. & BRUNI P. (1989) - *Studio geologico-strutturale, sedimentologico e geomeccanico della galleria "Bellosguardo" tra Signa e Montelupo (Firenze), cunicolo pilota* - Nota preliminare. Copisteria San Gallo, Firenze, 86 pp..

COLI M. & FAZZUOLI M. (1983) - *Assetto strutturale della deformazione di Monte Morello nei dintorni di Firenze*. Memorie della Societa Geologica Italiana, 26, pp. 543-551

DE FEYTER A.J. (1991) – *Gravity tectonics and sedimentation of the Montefeltro, Italy*. Geologica Ultraiectina, 35, 168 pp.

- DELLE DONNE D. (2000) - *Tettonica recente ed attiva nell'area del Mugello (Prov. Firenze)* - Tesi Inedita Univ. Studi Firenze.
- DURNEY D.W. & RAMSEY J.G. (1973) – *Incremental strains measured by syntectonic crystal growth*. In A. De Yong and R. Sholten Editors, "Gravity and tectonics", John Wiley and sons, New York, 67-96.
- FONTANA D. & MANTOVANI UGUZZONI M.P. (1987) – *La frazione terrigena carbonatica nelle Arenarie della Pietraforte (Cretaceo Superiore, Toscana meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 106, 173-181.
- FORNACIARI E. & RIO D. (1996) – *Latest Oligocene to early Miocene quantitative calcareous Nannofossil biostratigraphy in the Mediterranean Region*. Micropal., 42, 1-36.
- Gargini A. & Vincenzi V. (2009) – *Le acque sotterranee intercettate dalle gallerie TAV. Le gallerie TAV attraverso l'Appennino Toscano: impatto idrogeologico e di opere di mitigazione*, Edifir-Edizioni Firenze, Vol. Spec., 33-43, 207 pp.
- Gasparini C. - Praturlon A. (1981) - *Modelli sismotettonici e geologia classica a confronto nell'Italia centrale*- rendiconti Soc. Geol. It., 4, 557-562.
- GIBBS A. (1987) - *Development of extension and mixed-mode sedimentary basins*. Geological Special publication n° 28, pp. 19-33.
- KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, 30.
- LOSACCO U. (1963) – *Osservazioni geologiche sulla Pietraforte dei dintorni di Firenze*. . Boll.. Soc. Geol. It., 82, 87-128.
- MALESANI P.G. (1966) – *Ricerche sulle Arenarie. XIV: la Formazione di Sillano*. Boll. Soc. Geol. It., 85, 371-402.

- MARTELLI L. (a cura di) (2002) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 265, Bagno di Romagna*. Serv. Geol. It., Regione Emilia-Romagna, 106 pp.
- MERLA G., BORTOLOTTI V., PASSERINI P. (1967) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 106, Firenze*. Nuova Tecnica Grafica, Roma, 61 pp.
- NIRTA G. (2006) – *L'evoluzione tettono-stratigrafica delle Unità Liguri della Toscana in rapporto alle paleo-strutture dell'Oceano Ligure Piemontese e del Margine Adriatico: riflessi sull'evoluzione dell'orogeno appenninico*. Università degli Studi di Firenze, Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, XI X Ciclo, 133 pp.
- PICCARDI L. - SANI F. - BONINI M. - BOCCALETTI M. - MORATTI G., GUALTIEROTTI A., (1997) - *Deformazioni quaternarie nell'Appennino centro-settentrionale: evidenze ed implicazioni*. Il Quaternario, 10(2): 273-280.
- PONZANA L. (1993) - *Caratteri sedimentologici e petrografici della Formazione di Monte Morello (Eocene inferiore-medio, Appennino settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 112, 201-218.
- PRANZINI G. (1983) – *Sull'origine del carsismo nei Monti della Calvana (Firenze)*. Le Grotte d'Italia, XI (4), 395-406.
- PRINCIPI G. & DE LUCA CARDILLO M. (1975) – *Nuovi dati preliminari sulla coltre alloctona a Nord di Prato (Firenze)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 1199-1206.
- PRINCIPI G. & TREVES B. (1984) – *Il sistema corso-appennino come prisma di accrezione, riflessi sul problema generale Alpi-Appennino*. Mem. Soc. Geol. It., 28, 549-576.
- RAMBERG H. (1963) – *Evolution of drag folds*. Geological Magazine, 100(2), 97-106.
- RAMSAY J.G. (1967) - *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill: Book Company, New York, 560p.

REGIONE TOSCANA (2004) – *Carta Geologica della Toscana, Scala 1:250.000*. LAC Srl, Firenze.

RUBELLINI P. (1987) – *Idrogeologia della Formazione di Monte Morello (Firenze)*. Università degli Studi di Firenze, Tesi di laurea inedita.

RUSO G. (1994) – *Some considerations on the applicability of major geomechanical classifications to weak and complex rocks in Tunnelling*. GEAM, Geingegneria ambientale e mineraria, Anno XXXI, n.82, 63-70.

S.G.I. (1967) – *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 106, Firenze*. Servizio Geologico d'Italia.

SAGRI M. & MARRI C. (1980) - *Paleobatimetria e ambienti di deposizione delle unità turbiditiche Cretaceo-superiori dell'Appennino Settentrionale*, Mem. Soc. Geol. It., 21, 231-240.

SDRAFFA S. (1999) – *Geologia e risorse idriche nella zona di Monte Morello*. Università degli Studi di Firenze, Tesi di laurea inedita.

SESTINI G. (1970) - *Flysch facies and turbidite sedimentology*. In: *Sedimentary Geology*, Volume 4, Issues 3-4, 1970, 559-597.

SPEA (2007) – *Studi geologici inerenti la III Corsia autostradale A1 Barberino-Firenze Nord*.

TAV (2002) – *Cartografie geologiche di progetto della tratta ad Alta Velocità Bologna-Firenze*. Consorzio CAVET.

VAI G.B. & CASTELLARIN A. (1992) – *Correlazione sinottica delle unità stratigrafiche dell'Appennino Settentrionale*. Studi geologici Camerti, Vol. Spec n°2, 171-175.