

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

Adeguamento a 4 Corsie nel Tratto Grosseto - Siena
(S.S. 223 "DI PAGANICO") dal Km 27+200 al Km 30+038 - Lotto 4

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI13**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri
Dott. Arch. N. Kamenicky
Dott. Ing. V. Truffini
Dott. Arch. A. Bracchini
Dott. Ing. F. Durastanti
Dott. Geol. G. Cerquiglini
Geom. S. Scopetta
Dott. Ing. L. Sbrenna
Dott. Ing. E. Sellari
Dott. Ing. L. Stoppini
Dott. Ing. L. Dinelli
Dott. Ing. L. Nani
Dott. Ing. F. Pambianco
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carlaccini
Dott. Ing. S. Sacconi
Dott. Ing. G. Cordua
Dott. Ing. V. De Gori

Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. M. Sorbelli
Dott. Ing. V. Pinno
Dott. Ing. G. Pulli

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

Il R.U.P.:

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373



PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA E IDROLOGIA

Relazione geologica ed idrogeologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.
L0702B E 1701

NOME FILE

T00-GE00-GEO-RE00-A

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB.

T00GE00GEORE00

A

-

A

Emissione

16/10/2017

G. Cerquiglini

F. Durastanti

N. Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

PROGETTO ESECUTIVO

**GEOLOGIA E IDROLOGIA
RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. GEOLOGIA DELL'AREA.....	3
3. TETTONICA.....	12
4. GEOMORFOLOGIA	15
5. IDROGEOLOGIA	17
6. CARATTERI SISMICI	19
7. CRITERIO DI VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	24
7.1 CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE.....	24
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	26

1.PREMESSA

La presente Relazione espone i risultati dello studio geologico eseguito nell'area attraversata dall'Itinerario E78 S.G.C. Grosseto-Fano-Tratto Grosseto - Siena Lotto 4 Adeguamento a quattro corsie nel tratto Grosseto - Siena (SS 223 di Paganico) dal km 27+200 al km 30+038, nel Comune di Civitella Paganico (GR).

La presente Relazione riporta i risultati del lavoro svolto, consistito nelle seguenti attività:

- esame della bibliografia esistente riguardante le aree in oggetto;
- analisi dei risultati degli studi compiuti nelle precedenti fasi di progettazione;
- rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologico, in scala 1:2.000 di una fascia di ampiezza adeguata ai lati del tracciato stradale;
- analisi aerofotogrammetrica finalizzata alla individuazione di fenomeni di dissesto e morfologici rilevanti;
- analisi dei risultati delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche eseguite nel tratto in oggetto finalizzata alla classificazione dei terreni di fondazione;
- caratteri sismici dell'area.

2.GEOLOGIA DELL'AREA

L'area oggetto dell'intervento si situa all'interno del territorio comunale di Civitella Paganico e precisamente a partire dallo svincolo del centro abitato di Civitella Marittima per un tratto pari a 8 km in direzione nord (Siena). Morfologicamente il territorio rilevato mostra caratteri di media ed alta collina comprendono i rilievi della Montagnola Senese a NW e della Dorsale Monticiano – Roccastrada a SW con quote spesso superiori ai 400 metri, raggiungendo la vetta massima con Poggio ai Legni (666 m s.l.m.).

Ovviamente la morfologia del territorio è in diretta relazione con i litotipi affioranti, con prevalente presenza di termini litoidi della Serie Toscana o di rocce del gruppo metamorfico nel settore occidentale.

Il quadro strutturale è caratterizzato da una discreta omogeneità sia per quanto riguarda l'evoluzione strutturale – metamorfica, sia per i caratteri della deformazione finita e della morfologia delle pieghe.

Si possono ricostruire tre eventi deformativi distinti dei quali, solo i primi due sono sin-metamorfici. Le vergenze delle pieghe associate al secondo evento deformativo sono "tirreniche", ma localmente possono coesistere con vergenze appenniniche (vergenze tipiche delle pieghe associate al primo evento deformativo).

Le dorsali presenti sono interessate da sistemi di fratture di carattere distensivo ai quali è riconducibile il forte dislivello tettonico di questa zona rispetto alle aree adiacenti. Questo sistema è rappresentato da alcune faglie importanti, concentrate nel settore SE, aventi una direzione antiappenninica, alle quali si associa una fitta rete di piccole fratture locali.

Il tratto stradale in oggetto si inserisce nella propaggine meridionale della dorsale Metamorfica Toscana di Monticiano-Roccastrada costituita prevalentemente da terreni appartenenti alla cosiddetta Serie Toscana Ridotta. "I lembi della Serie Toscana e di Austroalpino esterno risultano discontinui e mostrano l'aspetto di un "Megaboudinage" (Giannini &Lazarotto, 1975). Ne deriva un' elevata complessità dal punto di vista strutturale complicata dalla molteplicità delle formazioni geologiche presenti.

I terreni presenti nell'area appartengono alla Serie Toscana Ridotta rappresentata dai seguenti gruppi di formazioni.

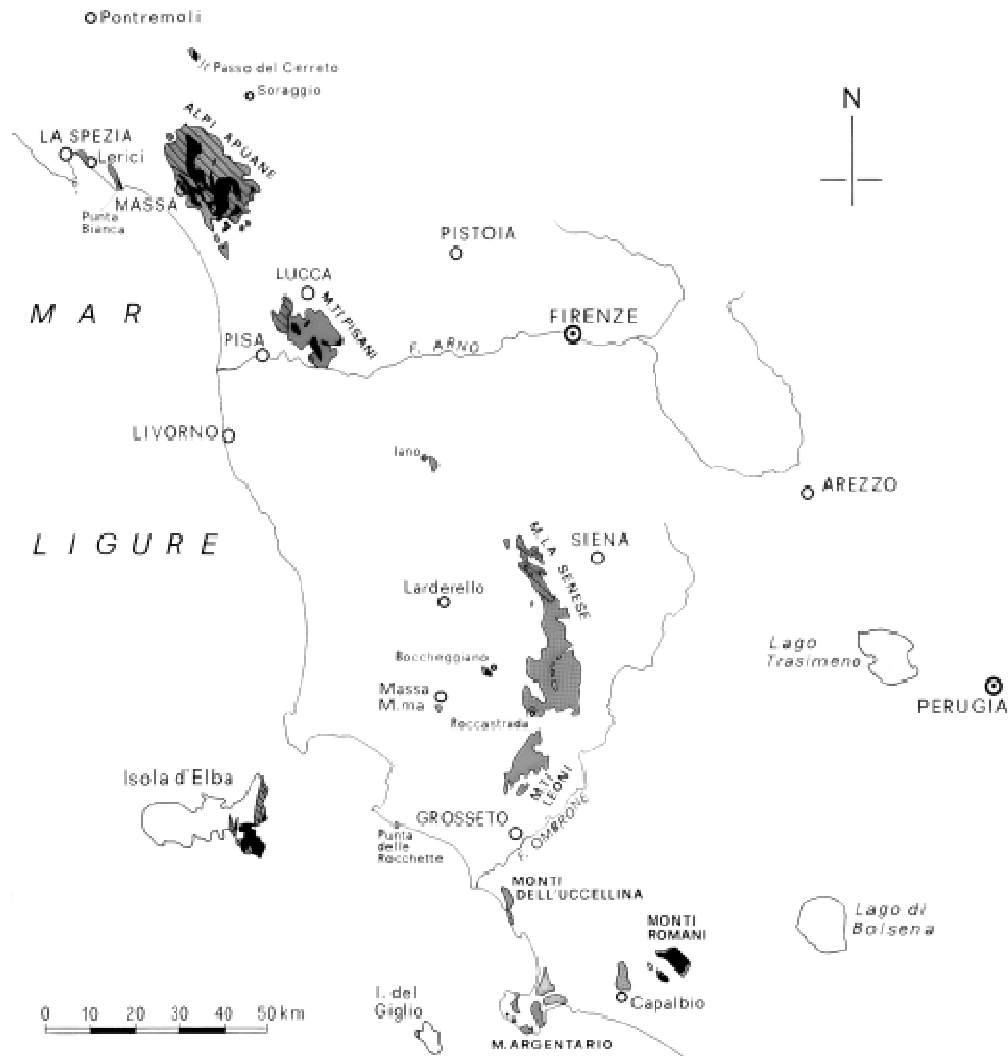


Figura 1 – Distribuzione dei principali nuclei metamorfici della Serie Toscana nell'Appennino Settentrionale. Nero: basamento metamorfico ercinico (l'esistenza di un basamento ercinico nei Monti Romani è ancora un problema aperto); grigio: Verrucano s.l. (Carbonifero - Trias superiore); grigio con rigato obliquo: copertura metamorfica alpina post - Verrucano dell'Autoctono e dell'Unità di Massa s.l. (Trias superiore - Oligocene).

Il Dominio toscano è costituito da una basamento sialico metamorfico, di età paleozoica (pre-Viseano superiore o pre-fase sudetica dell'Orogenesi ercinica) e da una copertura mesozoica-terziaria.

Nel Dominio toscano sono state distinte tre zone (Decandia et al., 1981; Boccaletti et al., 1981): una Zona toscana interna (da cui proviene l'Unità metamorfica di Massa), una Zona toscana intermedia (corrispondente all'Unità metamorfica apuana o dell'Elba orientale), una Zona toscana esterna (corrispondente alla Faida toscana non metamorfica).

Il Basamento delle Unità toscane porta le tracce di deformazioni conseguite in almeno due orogenesi: **Orogenesi ercinica** e **Orogenesi alpina**.

Le coperture, viceversa, sono state interessate solo dalle deformazioni dell'orogenesi alpina.

In generale, l'ordine di sovrapposizione di tali unità, dall'alto al basso, è nella Toscana meridionale, il seguente: Unità liguri, Unità austroalpine, Unità toscane.

A tutte queste unità si sovrappongono, trasgressivi e discordanti, i sedimenti lacustri e marini di età mio-pliocenica e pleistocenica che, non avendo subito movimenti di traslazione orizzontali, come le unità sopraindicate, vengono raggruppati sotto il termine comprensivo di Neoautoctono.

Le unità tettoniche, affioranti nell'area in esame, saranno illustrate seguendo l'ordine geometrico di sovrapposizione, da quella più profonda a quella più superficiale; le formazioni all'interno delle singole unità saranno, invece, descritte secondo la successione stratigrafica da quella più antica a quella più recente." (da "Elementi di geologia" - A.Lazzarotto . 1993, in "La storia naturale della Toscana meridionale". Monte dei Paschi di Siena, Ed. Pizzi-Milano).

A) UNITÀ TOSCANE

I terreni di tale complesso affiorano in nuclei separati, di limitata estensione e raramente comprendono l'intera successione delle formazioni.

A1) Unità di Monticiano-Roccastrada

Questa unità è costituita da formazioni paleozoiche, mesozoiche e terziarie interessate da un metamorfismo che va dal basso grado, in facies di scisti verdi, al medio grado, in facies di micascisti.

L'unità Monticiano-Roccastrada comprende in ordine cronologico le seguenti formazioni:

a) Formazioni paleozoiche (di facies marina): costituiscono affioramenti discontinui e di piccola estensione; le informazioni più indicative provengono dai sondaggi effettuati nell'area delle Colline Metallifere e del M.Amiata. Tali formazioni vengono suddivise in due grandi gruppi: Gruppo delle formazioni permo-carbonifere (Carbonifero inferiore- Permico medio) i cui eventi deformativi sono esclusivamente riferibili all'orogenesi alpina e Gruppo delle formazioni di età pre-Viseano superiore i cui eventi metamorfico-deformativi alpini sono sovrainposti a quelli ercinici.

b) Formazioni mesozoiche (di facies continentale e marina): sono suddivise in più gruppi

- **Gruppo del Verrucano**: tale termine fu introdotto per indicare terreni a componente prevalentemente quarzosa affioranti presso il M.Verruca sui Monti Pisani. Nella nostra zona questo litotipo affiora quasi esclusivamente lungo la Dorsale Monticiano-Roccastrada e comprende le seguenti formazioni a partire da quella più antica:

- **Formazione di Civitella M.ma**: è costituita da arenarie verdi con intercalazioni lenticolari di conglomerati a ciottoli di quarzo bianco e di siltiti quarzose nere, tormalinifere e raramente clasti di quarzo rosa (Trias medio-inferiore). Anageniti – facies conglomeratica, a ciottolati bene arrotondate di quarzo, a volte chiaro, a

volte rosso – grigiastro, a volte roseo, in genere delle dimensioni di alcuni mm o alcuni cm, ma spesso anche più grossi. I vari ciottolini appaiono frequentemente associati a lamine micacee, si da poter classificare la roccia come anagenite grossolana costituita da un conglomerato poligenico con prevalenza di quarzo e quarziti; facies arenacea, dove la stratificazione o scistosità è più evidente che nel caso precedente; Facies filladica, che manifesta in massimo grado il metamorfismo cui, come detto, tutta la formazione ha soggiaciuto. Tutta la formazione ha subito una intensa attività tettonica testimoniata dalla presenza di faglie, lineazioni tettoniche associate ad intensa fratturazione

- Formazione di M.Quoio: tale formazione è costituita da scisti, microquarziti scistose e quarziti di colore viola, con intercalazioni lentiformi di grossi banchi di un conglomerato grossolano, con ciottoli e quarziti immersi in una abbondante matrice quarzifica viola (Trias inferiore e medio)
- Formazione delle Anageniti minute: è rappresentata da strati di un conglomerato quarzoso fine che si alternano a strati di quarziti di colore giallo-arancione e ad argilloscisti violetti (Trias medio-Ladinico)
- Formazione di Tocchi: costituita da una breccia ad elementi di argilloscisti grigio-verdi e violetti in matrice carbonatica gialla ("Breccia di Tocchi") che sormonta e si intercala a strati carbonatici gialli, microquarziti e argilloscisti sericitico-cloritici prevalentemente di colore grigio-verde (Trias superiore-Carnico)

- **Gruppo delle formazioni carbonatico-siliceo-argillose della Montagnola Senese:** tale gruppo è rappresentato dalle seguenti formazioni a partire da quella più antica:

- Dolomie grigie cariate (F.ne dei Grezzoni) attribuite al Norico-Retico;
- Marmi bianchi e grigi massicci; a tetto di questa formazione esiste un livello di marmo giallo o rosato noto come "marmo giallo di Siena" (Lias inferiore).

Sui marmi della Montagnola Senese poggiano discordanti tre formazioni che sulla base di informazioni di carattere paleontologico sono state attribuite al Cretaceo superiore:

- Marmi stratificati con liste di quarzo (Formazione di Gallena);
- Metapeliti silicee e radiolariti (Formazione di Poggio all'Aquila);
- Marne e scisti sericitici varicolori (Formazione di Pietralata).

- **Formazione dei Galestri e Palombini** (Flysch calcareo-marnosi-argillosi-arenacei alloctoni).

E' costituita nella parte basale da alternanze di argilliti (galestri) verdi, siltiti, arenarie e calcari di colore palombino; nella porzione posta stratigraficamente in alto sono rinvenibili arenarie grossolane grigie, verdastre o gialle in grosse bancate.

Si tratta di una formazione flyschoidale i cui litotipi mostrano caratteri stratigrafici e sedimentari tipici delle torbiditi sottomarine. La natura dei litotipi è molto variabile da luogo a

luogo anche se nella parte basale della formazione sono prevalenti le argilliti grigio-verdi che costituiscono da sole anche il 50% dell'intera formazione.

Altri litotipi presenti in buona percentuale sono le arenarie, siltiti e calcari palombini mentre solo a luoghi sono rilevabili calcari, marne e argilliti marnose di colore rosso vinato.

La formazione nel suo complesso presenta una permeabilità molto bassa onullamente nei termini calcarei e arenacei, per fratturazione, , la permeabilità può raggiungere anche valori discreti.

A2) Unità della Falda Toscana

Le formazioni della successione toscana costituiscono un' unità tettonica indicata come "Falda Toscana" la cui base è rappresentata dalla Formazione anidritica di Burano in corrispondenza della quale si è verificato lo scollamento ed il conseguente scorrimento dell'unità stessa.

Le formazioni della Falda Toscana affiorano generalmente in aree di limitata estensione ed appaiono di solito frammentate in tante zolle di forma lenticolare, isolate una dall'altra e disperse in un'ampia area caratterizzata dal fenomeno della "serie ridotta".

La successione toscana comprende dal basso all'alto le seguenti formazioni:

a) Formazione anidritica di Burano

La Formazione anidritica di Burano è rappresentata da tipiche sequenze evaporitiche, carbonatico-solfatiche, costituita da potenti banchi di anidrite ai quali si intercalano strati di dolomia grigio scura e sottili livelli di una breccia a piccoli frammenti di dolomia in cemento anidritico-gessoso.

Raramente mostra in affioramento le sue caratteristiche principali, poiché il sedimento in superficie è incementato da processi di idratazione, dissoluzione ed asporto del solfato ad opera delle acque meteoriche subaeree e sotterranee. Tale trasformazione da origine al Calcere cavernoso che è un calcare grigio scuro brecciforme con superficie tipicamente spugnosa (Trias superiore).

b) Calcari e marne a Rhaetavicula contorta

Al tetto della successione evaporitica compaiono dei calcari neri stratificati ai quali si intercalano livelli argilloso- marnosi grigio scuri e neri. La formazione è generalmente molto ricca di fossili; la presenza di Rhaetavicula contorta assicura il riferimento al Retico.

c) Calcere massiccio

La formazione è costituita da calcari ceroidi o subsaccaroidi grigio chiari e bianchi; e presenta il caratteristico aspetto massiccio per tutta la sua potenza che mediamente è di circa 200-300 m. Gli studi sedimentologici hanno dimostrato che si è depositato in un ambiente di piattaforma intraoceanica. Questa formazione è generalmente ricca di fossili (Trias superiore).

d) Calcare rosso ammonitico

È costituito da calcari stratificati, di colore rosso o rosato, spesso nodulari, che contengono Ammoniti, Crinoidi ed altri fossili. Si ritiene in linea di massima che la formazione si sia deposta in un ambiente di mare basso, su un fondale tettonicamente instabile e soggetto a temporanee emersioni (Giurassico inferiore).

e) Calcare selcifero

Tale formazione è costituita da calcari grigi a grana molto fine, ben stratificati, con liste e noduli di selce grigio-chiara. L'ambiente di deposizione è di mare relativamente più profondo e a bassa energia; la formazione è stata riferita al Giurassico inferiore.

f) Marna a Posidonomya

È costituita da marne, calcari marnosi e calcari silicei che si alternano in strati sottili; è caratterizzata solitamente da un calcare grigio-verdolino, ma può assumere anche altri colori quali rosso fegato o rosato. Sono talvolta osservabili sequenze metriche e decametriche con evidente gradazione degli elementi clastici (Giurassico medio).

g) Radiolariti e Calcari ad Aptici

Questa formazione poggia solitamente sulle Marne a Posidonia ma talvolta può essere a diretto contatto con il Calcare rosso ammonitico. La parte prevalente è costituita dalle Radiolariti che superiormente possono essere localmente sostituite da Calcari ad Aptici (marne e calcari silicei, con Aptici) Le due litofacies sono legate da passaggi laterali (Giurassico superiore).

h) Formazione della Maiolica

È costituita da calcari bianchi a grana molto fine, ben stratificati, con noduli e liste di selce. La formazione è caratterizzata da discontinuità laterali e mostra spessori generalmente deboli. Solo nella zona di Rapolano raggiunge la potenza di un centinaio di metri. La Maiolica non contiene macrofossili; i microfossili sono rappresentati da Radiolari e Calpionelle (Giurassico superiore-Cretaceo inferiore).

i) Formazione della Scaglia Toscana

È costituita in prevalenza da argiloscisti silicei rossi e verdi, con intercalazioni di radiolari, e da calcareniti gradate e calcilutiti grigie; subordinatamente i calcari marnosi e le marne (Cretaceo-Oligocene).

l) Macigno

Rappresenta la formazione con cui termina superiormente la Falda Toscana; il Macigno è costituito da depositi arenacei in facies di flysch. La parte alta, fittamente stratificata, è rappresentata talvolta da litofacies pelitico-siltitica. Sono presenti intercalazioni di corpi lenticolari, con assetto caotico, formati da argilliti, arenarie e calcareniti la cui età è più antica di quella del Macigno che li ingloba. Tali depositi sono stati interpretati come

olistostromiprovenienti dalla Unità delle argille e calcari (Complesso di facies austroalpina) scivolate nel bacino di sedimentazione del Macigno (Oligocene).

B) UNITÀ LIGURI

È costituita da più unità che si sono deposte in un tratto dell'oceano tetidico (Oceano ligure-piemontese) interessato da un elemento paleotettonico, che sollevandosi, ha diviso il Dominio ligure in due zone: interna ed esterna. All'elemento paleotettonico che è stato causa della suddivisione è stato dato il nome di Ruga del Bracco.

B1) Zona ligure esterna

Unità di Monteverdi-Lanciaia. È costituita dalle seguenti formazioni:

- **Flysch di Monteverdi M.mo:** si tratta di sedimenti prevalentemente calcareo-marnosi, in facies di flysch. Essi sono costituiti da depositi torbiditici ai quali sono spesso associati banchi arenaceo-siltitici gradati ed argilliti. Le associazioni faunistiche permettono un riferimento al Cretaceo superiore-Paleocene.
- **Formazione di Lanciaia:** poggia in discontinuità sul Flysch di Monteverdi M.mo sia direttamente sia tramite un complesso ofiolitifero. La Formazione di Lanciaia è costituita da un insieme eterogeneo di sedimenti la cui parte più tipica è rappresentata da un'arenaria gradata disposta in sequenze ritmiche di potenza variabile tra le quali sono intercalati potenti livelli di breccie e di conglomerati ofiolitiferi. Nella parte alta della formazione sono frequenti strati di marne e di calcari marnosi a grana molto fine; talvolta possono comparire anche livelli di argilliti e argilliti siltose varicolori con intercalati lenti e strati di breccie prevalentemente ofiolitici (Paleocene-Eocene medio).

B2) Zona ligure interna

Unità ofiolitifera

È costituita da porzioni di rocce magmatiche (ofioliti) e dalla loro originaria copertura sedimentaria.

a) **Ofioliti:** sono rocce magmatiche, basiche ed ultrabasiche, intrusive ed effusive come Serpentine, Gabbri e Basalti.

b) **Radiolariti:** sono rocce silicee, in strati piuttosto sottili, costituite prevalentemente da Radiolari (Giurassico superiore).

c) **Calcari a Calpionelle:** è una formazione costituita da calcari e calcari marnosi grigio-chiari, a grana molto fine in strati di spessore variabile a cui talvolta sono intercalate marne argillose e argille fissili. La datazione di queste unità è fatta sulla base del loro contenuto in Calpionelle (Cretaceo inferiore).

d) Argille con calcari Palombini: nell'area in esame è la formazione più estesa di tutta l'Unità ofiolitifera. E' rappresentata da argille, argille siltose e marne di colore variabile dal grigio scuro al marrone; vi sono intercalati strati di calcari silicei a grana fine, di colore grigio piombo. Subordinatamente sono presenti anche intercalazioni di arenarie quarzose a cemento in parte calcareo.

C) FORMAZIONI DEL NEOAUTOCTONO

La sedimentazione neogenica nella Provincia di Siena da riferire a depositi lacustri e marino-lagunari del Miocene superiore e a quelli marini del Pliocene. Tali sedimenti poggiano discordanti su un substrato corrugato costituito per la maggior parte dalle unità alloctone liguri ed austroalpine. Con il termine Neoautoctono vengono indicati tutti i sedimenti che non hanno subito traslazioni orizzontali, ma solo dislocazioni a prevalente componente verticale.

C1) I sedimenti del Miocene superiore

La paleogeografia dell'area in esame ha subito notevoli variazioni nel corso del Miocene superiore e del Pliocene: in questo intervallo di tempo un ruolo significativo ha svolto la Dorsale medio-toscana che si sviluppa da Iano, attraverso la Montagnola Senese, Monticiano, Roccastrada, Monte Leoni si estende fin nei pressi di Grosseto.

a) Versante occidentale della Dorsale medio-toscana

Sedimenti lacustri basali (Serie lignitifera)

La successione, pur presentando notevoli eteropie tra le formazioni che la compongono, può essere così sintetizzata dall'alto al basso:

- argille e argille sabbiose a *Lymnocardium*;
- marne e marne sabbiose con opercoli di *Bythinia*;
- conglomerati poligenici a scarsa matrice argilloso-sabbiosa.

Sedimenti marini e marino-lagunari

Sui sedimenti lacustri del Miocene superiore giacciono i depositi marini, marino-lagunari e di lago-mare del Messiniano. Essi sono caratterizzati da una grande varietà di facies, sia in senso verticale che in senso laterale e da frequenti rapporti di eteropia.

Le litofacies possono essere riunite in due gruppi di formazioni:

- Gruppo basale, o delle formazioni marine sottostanti ai gessi
- Successione gessifera.

b) Versante orientale della Dorsale medio-toscana

La dorsale costituì nel Miocene superiore un elemento strutturale positivo di grande importanza che impedì l'avanzata del mare che aveva invaso la zona costiera della Toscana meridionale. Nella parte ad Est della dorsale si svilupparono ampi bacini lacustri: i principali

sono il Bacino del Casino che si estende a Sud di Monteriggioni, al di sopra delle formazioni metamorfiche della Montagnola Senese e della Dorsale Monticiano-Roccastrada ed il Bacino dell'Ombrone-Orcia. Le varie litofacies che caratterizzano le formazioni sono costituite da argille, conglomerati e marne.

D2) I sedimenti del Pliocene

Il ciclo sedimentario del Pliocene inizia con una trasgressione marina nella Toscana meridionale con il mare che oltrepassa i margini dei vecchi bacini. Anche la dorsale medio-toscana viene superata ed in gran parte sommersa e il mare per la prima volta invade la fascia orientale della zona. La trasgressione pliocenica non presenta caratteristiche uniformi in tutta l'area. Il passaggio Miocene-Pliocene è segnato da un cambiamento di facies senza apprezzabile discordanza angolare.

D3) La successione pliocenica

La serie pliocenica è rappresentata per grandi linee da:

- a) sedimenti clastici grossolani di ambiente prossimale di facies trasgressiva;
- b) argille e argille sabbiose di ambiente distale;
- c) arenarie di ambiente nuovamente prossimale spesso regressive.

I principali bacini pliocenici presenti nella Provincia di Siena sono: Bacino di Volterra-Val d'Era, Bacino di Pomarance-Anqua-Chiusdino, Bacino della Val d'Elsa, Bacino di Siena, Bacino di Radicofani, Bacino della Val di Chiana-Val di Tevere, Bacino dell'Ombrone-Orcia.

D4) I sedimenti del Quaternario

Sono essenzialmente costituiti da depositi fluviali, lacustri e da travertini.

a) Depositi fluviali e lacustri: lungo i principali corsi d'acqua si estendono ampie coltri alluvionali costituite da alluvioni recenti in fase di evoluzione e da alluvioni terrazzate di età più antica che si trovano a varie altezze sopra gli alvei attuali.

b) Travertini: essi poggiano discordanti sui terreni pliocenici del Neoautoctono; si depositano di solito in prossimità della sorgente adattandosi alla morfologia del terreno. I principali affioramenti sono riscontrabili a Rapolano e nella zona Colle Val d'Elsa-Staggia.

3.TETTONICA

La storia deformativa dell'area é complessa, essendovi state riconosciute sei fasi di cui tre prealpine e tre "alpine". La deformazione "alpina" comprende due fasi con pieghe isoclinali e sovrascorrimenti (la prima) e pieghe a ginocchio (la seconda) a direzione NS e vergenza Est, ed una terza fase con pieghe trasversali a quelle delle fasi precedenti (EW). L'intensità della deformazione decresce dall'interno verso l'esterno, infatti le pieghe isoclinali della prima fase "alpina" sono presenti solo nella unità superiore, sovrascorsa da W ad E. Le pieghe trasversali potrebbero essere messe in relazione con la genesi dell'arco strutturale.

La Montagnola Senese e la Dorsale Monticiano-Roccastrada costituiscono una parte della dorsale metamorfica toscana.

Recenti studi (Costantini et al., 1988) hanno messo in evidenza due importanti sottounità tettoniche separate da una superficie di sovrascorrimento a basso angolo di estensione regionale:

- Monte Leoni - Montagnola Senese (inferiore).
- Montepescali - Monte Quioio - Iano (superiore).

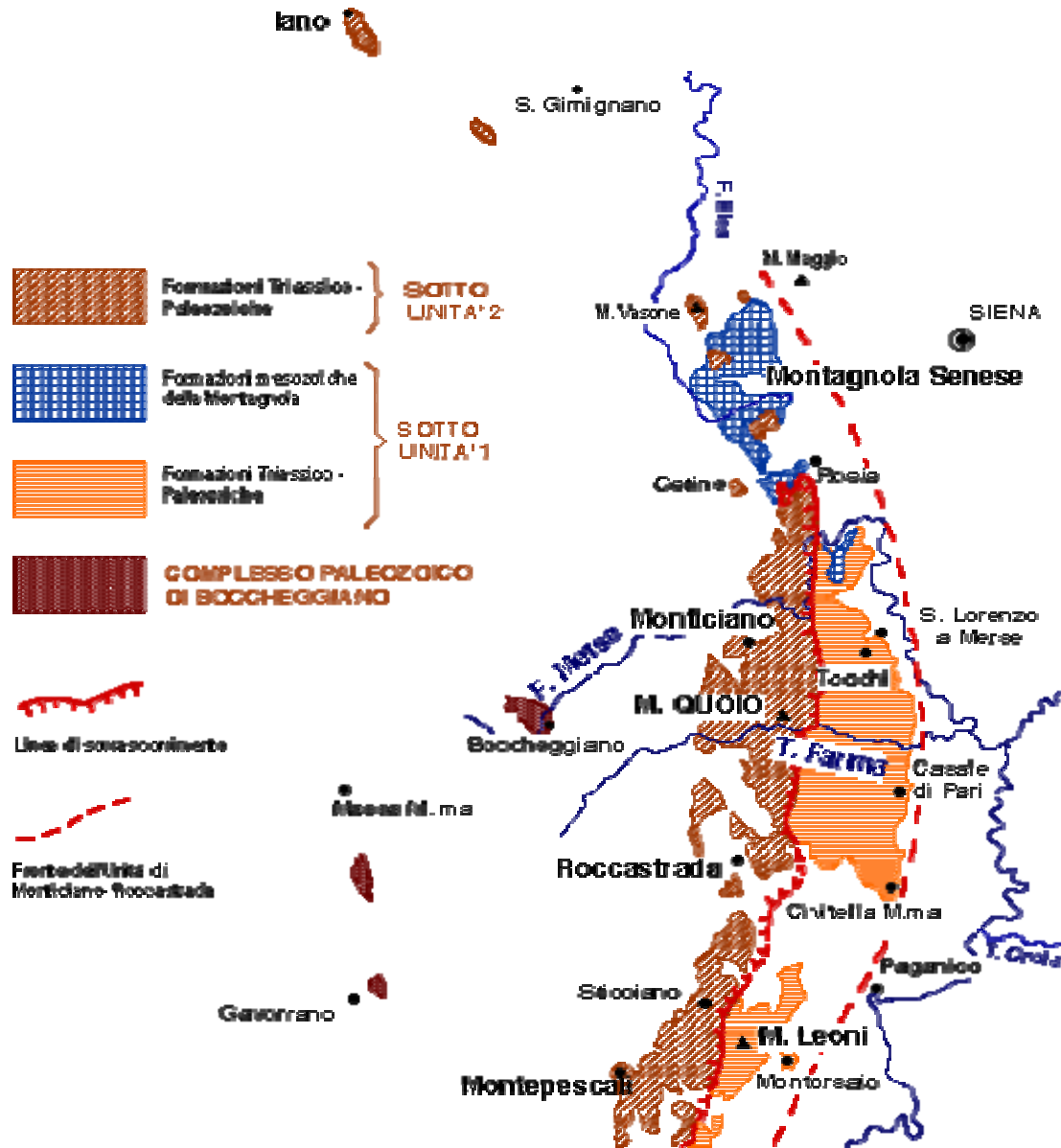


Figura 2 – Montagnola Senese e Dorsale Monticiano – Roccastrada (da Costantini et al., 1988).

Alla notevole fratturazione subita dalle formazioni litologiche durante l'evoluzione dell'Appennino settentrionale nella fase compressiva si sovrappone una tettonica distensiva che determina una fittissima rete di faglie dirette che originano delle strutture a blocchi fagliati.

Le deformazioni compressive sono seguite nel tempo da deformazioni distensive, pressoché assiali. I rapporti spazio - temporali fra strutture plicative e distensive mostra chiaramente che il campo deformativo è migrato verso Est.

PROGETTO ESECUTIVO

GEOLOGIA E IDROLOGIA
RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

La Vecchia Minelli Piali 1984 propongono un modello deformativo- tettonico di assottigliamento crostale mediante faglie dirette a basso angolo "detachmentfaults" caratterizzate dalla sovrapposizione tettonica di terreni più giovani su quelli più vecchi con il risultato di una sparizione di grosse porzioni di serie. Tale modello potrebbe spiegare il "Megaboudinage" (Baldacci et al., 1967 – Boccaletti et al., 1981) che caratterizza le serie ridotte della Toscana Marittima.

Le serie ridotte sono caratterizzate dalla sovrapposizione dei Complessi Liguri sul Calcare Cavernoso o sulle evaporiti triassiche con interposti lembi lenticolarie discontinui di serie mesozoico-terziaria. Una importanza particolare per l'evoluzione dell'Appennino è data dalla presenza di lineazioni tettoniche con direttrice NE-SO associate ad altri sistemi di faglie orientati NO-SE.

La dorsale presenta un assetto geologico-strutturale di tipo monoclinale, con strati immergenti a S-SE.

4.GEOMORFOLOGIA

L'area oggetto dell'intervento è parte integrante della dorsale Monticiano-Roccastrada caratterizzata da una morfologia di tipo collinare con rilievi a sommità arrotondata.

La dorsale si sviluppa secondo una direttrice ad andamento N-S e presenta rilievi di modesta altitudine (P.gio Castelaccia 379 m - P.gio al Fungo 414 m - P.gio dei Leccioni 591 m) con spianate sommitali e versanti con pendenze piuttosto accentuate che si alternano a versanti con pendenza debole.

Dal punto di vista geomorfologico si rileva una generale stabilità dell'area testimoniata dalla assenza di fenomeni di dissesto idrogeologico generalizzato e/o diffuso lungo la maggior parte del tracciato della infrastruttura di progetto. Sono state rilevate due zone di elevata criticità dal punto di vista geomorfologico e precisamente a inizio lotto e fine lotto dove si rinvencono situazioni di instabilità locale legate alla peculiare situazione geologica.

In località Civitella Marittima (inizio lotto) si rileva a valle della infrastruttura una zona di instabilità sub-superficiale su terreni appartenenti alla Formazione dei Galestri e Palombini (Flysch calcareo-marnosi-argillosi-arenacei alloctoni). È costituita da alternanze di argilliti (galestri) verdi, siltiti, arenarie e calcari di colore palombino. I terreni a valle della infrastruttura sono caratterizzati da una instabilità di tipo sub-superficiale che tendono a mobilizzarsi per la presenza di materiali a componente prevalentemente argillosa; di fatto l'area ma che non interessano il tracciato stradale del lotto di progetto.

Una situazione d'instabilità piuttosto consistente invece è stata rilevata nella zona nord a fine lotto in corrispondenza dell'imbocco nord della nuova galleria di Poggio Tondo. I materiali presenti risultano appartenenti alla Formazione dei Galestri e Palombini (Flysch calcareo-marnosi-argillosi-arenacei alloctoni). Dalle evidenze geomorfologiche appare evidente che il movimento piuttosto esteso si sviluppa a partire dal versante fino a raggiungere la zona valliva sottostante e sempre da osservazioni derivanti dal rilievo di superficie sembra impostarsi su un antico fronte di sovrascorrimento (fase compressiva della formazione della dorsale). I segni morfologici che la contraddistinguono sono le ondulazioni e gibbosità frequenti sul versante, presenza di venute di acqua, in particolare al contatto con i terreni triassici dove si sviluppa lo scivolamentosi osserva una presenza diffusa di vegetazione igrofila.

Assenza di affioramenti e caoticità confermano la presenza di un antico movimento (paleofrana) facilmente rimovibile.

Si rilevano diffusamente blocchi di roccia disarticolati, facilmente mobilizzabili, legati alla intensa cataclasi subita dalle formazioni rocciose nel corso della fase orogenetica e della fase distensiva.

La presenza di numerose dislocazioni appartenenti a sistemi disgiuntivi a direttrice appenninica (NO-SE) e antiappenninica (NE-SO) determinano una frammentazione degli ammassi litoidi tali da conferire ai medesimi un aspetto brecciato.

PROGETTO ESECUTIVO

GEOLOGIA E IDROLOGIA
RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

La complessa situazione strutturale è fortemente evidenziata dall'andamento del sistema idrografico superficiale; infatti si rivengono diverse anomalie del tracciato e dello spartiacque superficiale che stanno ad indicare il controllo operato dalla tettonica sullo sviluppo del reticolo idrologico locale. I corsi d'acqua appaiono fortemente incassati all'interno della struttura con reticolo riconducibile al tipo sub-dendritico.

Il fosso Lanzo che presenta una direzione di scorrimento da NO verso SE segue un tracciato articolato con meandri incassati che denotano un controllo di tipo strutturale (lineazioni tettoniche con direzione appenninica e antiappenninica) sullo sviluppo del reticolo idrografico.

5.IDROGEOLOGIA

La situazione idrogeologica del tratto studiato è riconducibile a sistemi idrodinamici che si localizzano all'interno delle singole formazioni geologiche attraversate e che possono essere ricondotte alle seguenti formazioni.

Acquifero Formazione del Verrucano s.l.

Il Verrucano s.s. è la formazione interessata dallo sviluppo della infrastruttura ed è costituito da rocce metamorfiche caratterizzate da una bassa permeabilità primaria; il complesso triassico è considerato dal punto di vista idrodinamico sotterraneo come acquiclude.

Comunque a seguito della consistente azione tettonica a cui sono state sottoposte le rocce metamorfiche si rinvergono deboli circolazioni idriche sotterranee all'interno della formazione del Verrucano s.s. per effetto dei numerosi reticoli fessurativi intercomunicanti che conferiscono all'ammasso una permeabilità secondaria per fratturazione, anche se bassa.

La formazione è caratterizzata da discreta permeabilità secondaria per fessurazione (permeabilità media).

I dati idrogeologici in nostro possesso si riferiscono ai dati rilevati durante e dopo l'esecuzione dell'indagine geognostica mediante esecuzione di misure freaticometriche eseguite nei fori di sondaggio attrezzati a piezometri; dai dati riportati si evidenzia la difficile correlabilità dei livelli piezometrici che confermano le caratteristiche idrogeologiche dell'intera formazione.

I dati relativi alle misure effettuate si riferiscono solo alla formazione del Verrucano, dato che il tracciato e le opere da realizzare insistono prevalentemente su tali terreni.

L'intensa fratturazione ha consentito la formazione di un debole acquifero all'interno della formazione triassica in particolare dove è presente la componente metarenitica e metaconglomeratica; si tratta comunque di acquiferi di limitata estensione e di medio-bassa potenzialità, come dimostrano le misure freaticometriche rilevate.

Acquifero Formazione dei Galestri e Palombini.

“Galestri e Palombini” (Flyschcalcereo-marnosi-argillosi-arenacei alloctoni)

Tali depositi di natura flyschioide si presentano molto eterogenei dal punto di vista lito-stratigrafico e inoltre manifestano localmente un assetto caotico dovuto ai meccanismi con cui è avvenuta la loro messa in posto. Per tali motivi le condizioni di permeabilità sono molto variabili e fortemente anisotrope.

Nei termini calcarei e arenacei, generalmente fessurati, la permeabilità può raggiungere anche valori elevati, ma nei termini semilitoidi e terrigeni, in cui può essere anche molto abbondante la frazione argillosa, che costituiscono la porzione prevalente dell'unità, la permeabilità scende a valori molto bassi o si annulla (permeabilità bassa).

Acquifero Sedimenti del Quaternario.

Le unità prese in considerazione appartengono tutte ai terreni recenti, alluvionali, detritici e di copertura, per i quali il campo di variazione della permeabilità è più limitato. (ciottoli, ghiaie, ghiaie sabbiose).

Tali formazioni sono sede di falda freatica con livello piezometrico prossimo alla superficie topografica e suscettibile alle variazioni di livello stagionali.

Tali acquiferi non sono stati studiati in quanto non interferiscono con il tracciato stradale in oggetto (permeabilità alta).

6. CARATTERI SISMICI

La normativa precedente sulle costruzioni in zona sismica (D.M. LLPP 16 gennaio 1996) suddivideva il territorio nazionale, dal punto di vista sismico, in "zone non classificate" e in "zone classificate", quest'ultime erano suddivise in tre categorie sismiche.

I riferimenti normativi Nazionali in materia di classificazione sismica a cui si è fatto riferimento, risultano:

- L. 02/02/74, n. 64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 16/01/96: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Ord.P.C.M. del 12/06/1998 n.2788 Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale.
- Ord.P.C.M. 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. (Gazzetta n. 105 del 8-5-2003)
- Ord.P.C.M. del 2 ottobre 2003 n. 3316 Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003
- Ord.P.C.M. del 3 maggio 2005 n. 3431 Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 Allegati
- Ordinanze Ministeriali in materia di classificazione sismica
- Ord.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (G. U. 11 maggio 2006 n. 108) ALLEGATO
- D.P.C.M. del 12 ottobre 2007 "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni" (G. U. 29 gennaio 2007 n. 24)

I riferimenti normativi della Regione Toscana in materia di classificazione sismica a cui si è fatto riferimento, risultano:

- L.R. 06/12/82, n. 88: Disciplina dei controlli sulle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
- Atti Regione Toscana in materia di classificazione sismica
- Deliberazione di G.R. 12.06.2006 n. 426 - "Attività di vigilanza e verifica nelle zone sismiche. Circolare attuativa della sentenza della Corte costituzionale 5 maggio 2006 n. 182. Chiarimenti agli uffici regionali per il rilascio delle autorizzazioni di cui agli artt.93 e 94 D.P.R. 380/2001 e della L.R. 88/1982"

PROGETTO ESECUTIVO

**GEOLOGIA E IDROLOGIA
RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

- Proposta di riclassificazione sismica del territorio regionale - Attuazione del D.M. 14.09.2005 ed Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006 pubblicata sulla G.U. 11.05.2006 - Proposta di aggiornamento della classificazione sismica dei comuni toscani
- Deliberazione di G.R. 11.05.2009 n. 387 Regolamento di attuazione dell'art. 117 commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico. Approvazione ai fini dell'acquisizione dei pareri previsti dallo Statuto.
- Delibera del Presidente della G.R. 9 luglio 2009 n. 36/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico" (pubblicato su BURT 17.07.2009 n. 25) "Applicazione del Regolamento- DPGR 36R/2009"

La legislazione antisismica viene sancita dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

La classificazione sismica Regionale della Toscana approvata con Del. GRT N° 878 del 8/10/2012 (pubblicata sul BURT parte seconda N° 3 del 24.12.2012 supplemento n. 136) in adempimento dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006 è stata realizzata in recepimento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) al fine di rendere la classificazione sismica maggiormente aderente all'approccio sito-dipendente introdotto dalle Norme vigenti.

Attualmente la classificazione sismica della Regione Toscana è stata aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale Toscana DGRTn. 421 del 26 maggio 2014.

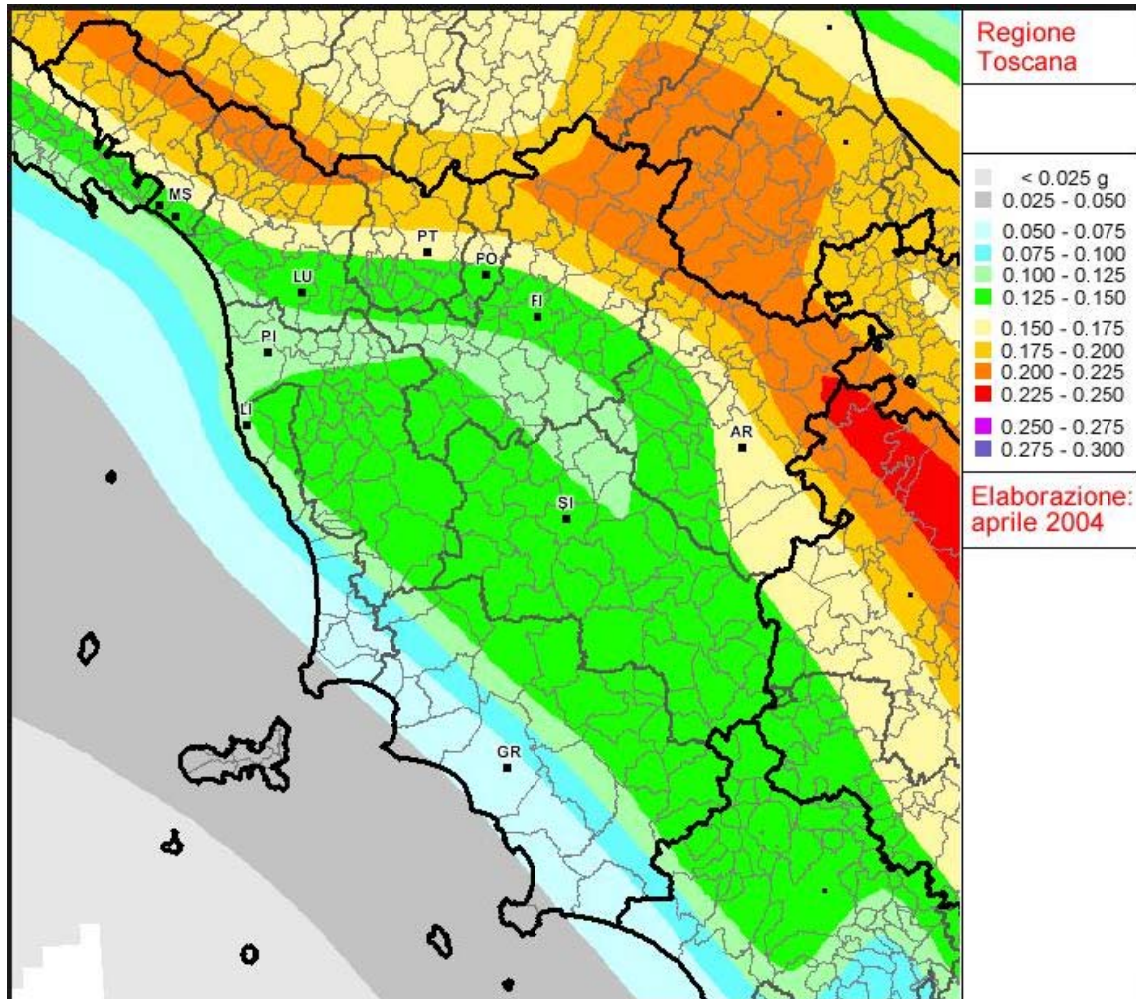
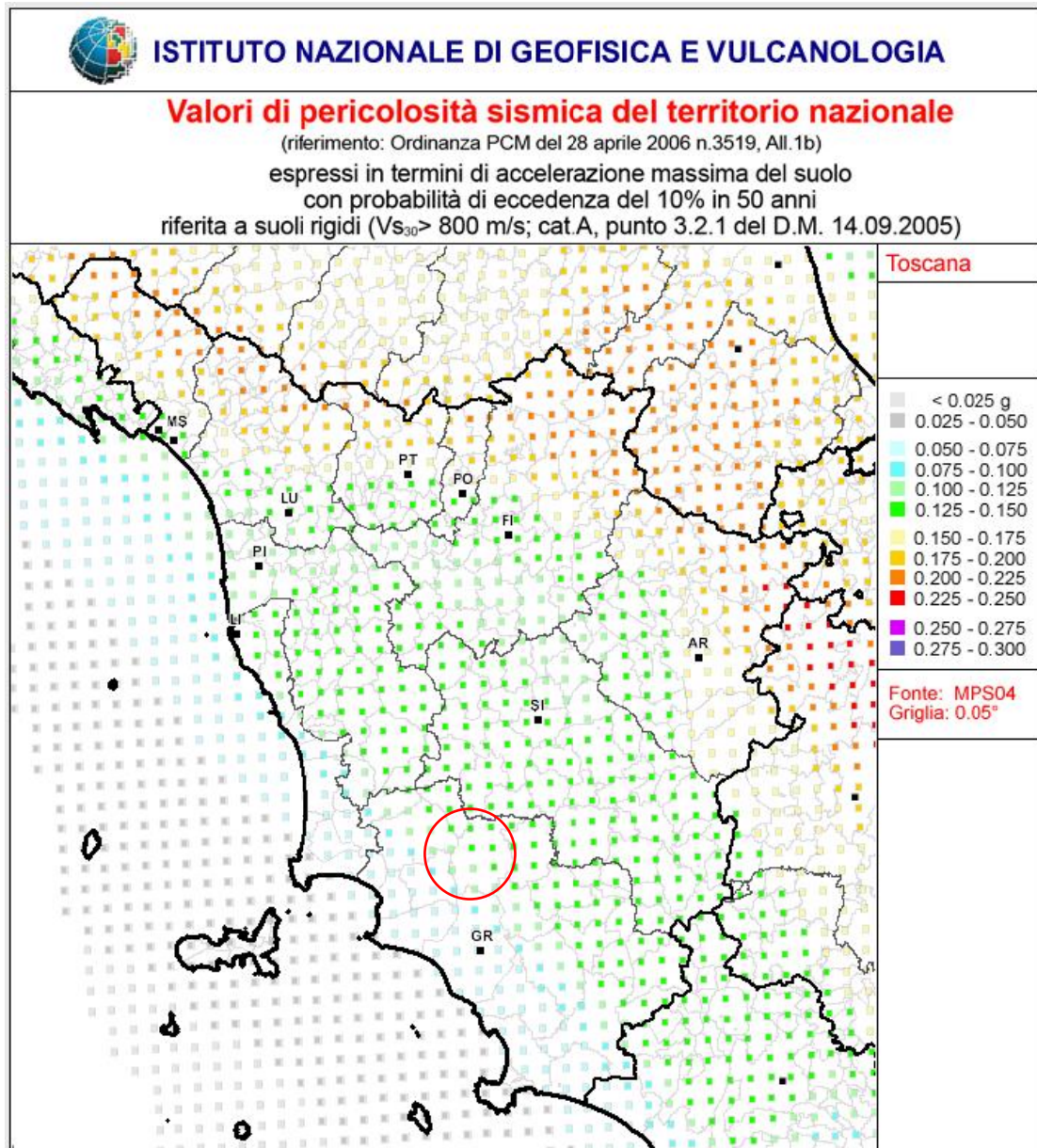
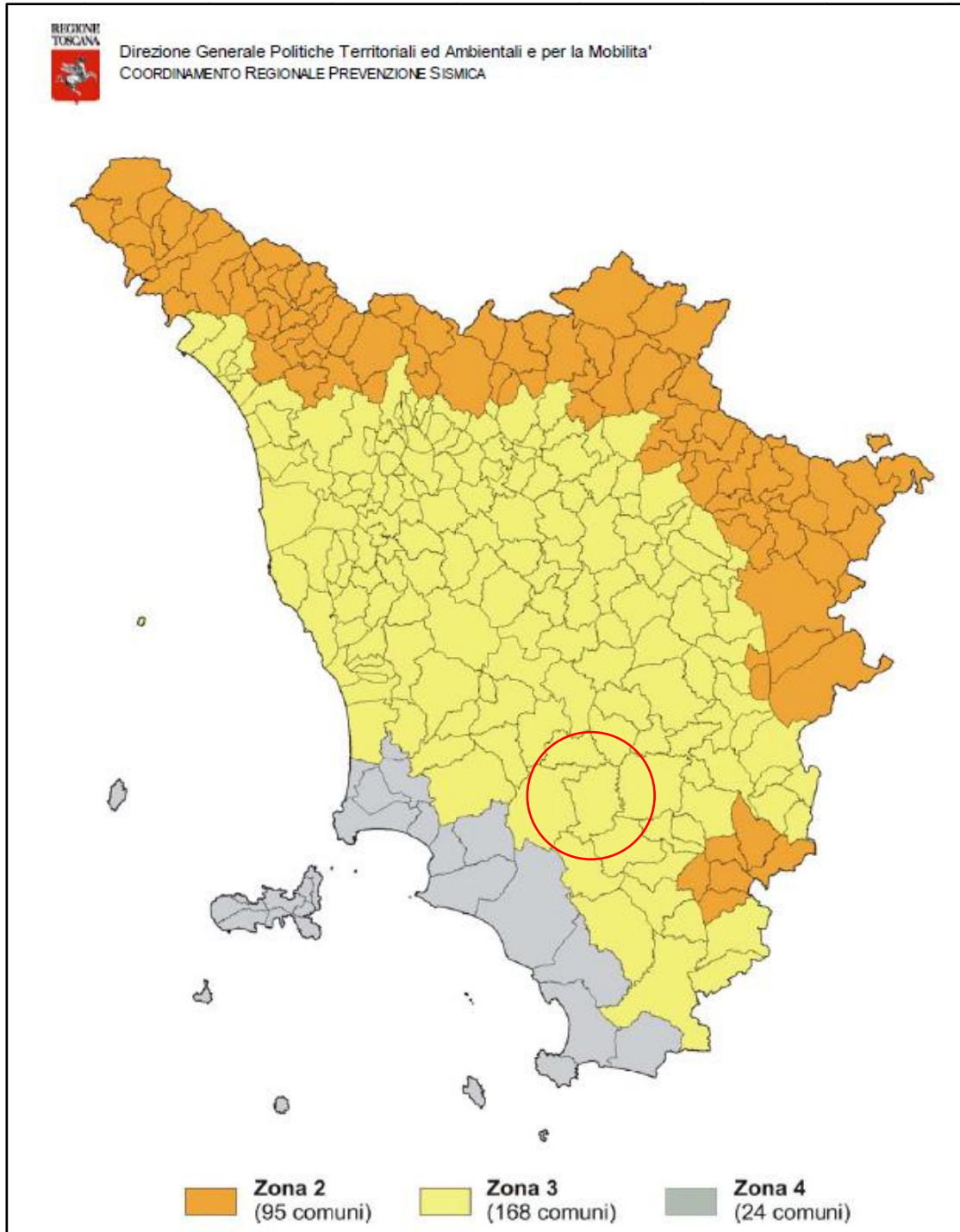


Figura 3: Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50°percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV)

Le zone sismogenetiche sono state definite in base a uniformità dello stile deformativo e della congruenza cinematica con il modello deformativo.



L'area oggetto dell'intervento è caratterizzata da una sismicità di basso grado risulta classificata come Zona 3 – (Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti).



7. CRITERIO DI VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Ai fine della Normativa vigente le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g' accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0' valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ai fine della Normativa vigente i Comuni inseriti nella zona 3 e pertanto anche l'area oggetto dell'intervento, possono essere soggetti a scuotimenti modesti, ne deriva che l'indice di accelerazione a_g risulta compreso tra seguenti valori $0.05 < a_g \leq 0.15$.

7.1 CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

Il D.M. 14 Gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni", contempla cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media (V_{S30}) delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo o dalla resistenza penetrometrica N_{SPT} o dalla coesione non drenata c_u . La classificazione viene, quindi, effettuata principalmente sulla base del valore di V_{S30} valutato dalla seguente espressione:

$$V_{S30} = 30 / \sum (h_i / V_i)$$

con h_i e V_i rispettivamente spessore e velocità dello strato i - esimo degli N strati presenti nei primi 30 m di sottosuolo.

Le categorie definite sono:

[A] -Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

[B] -Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero

resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).

[C] -Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).

[D] -Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa).

[E] -Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

[S1] -Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa).

[S2] -Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Per le opere di progetto, in base alle velocità sismiche dedotte dalle indagini geofisiche effettuate e dai valori delle SPT eseguite nei sondaggi, permette di classificare il suolo secondo l'approccio semplificato come **categoria di sottosuolo "B"**.

8.INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche sono dettagliatamente riportate nel “Rapporto tecnico sulle Indagini” (T00-GE00-GEO-RE02) a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Come accennato in premessa, vennero eseguite dall’Anas – Compartimento della Viabilità per la Toscana, indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche lungo il tracciato stradale ed in corrispondenza delle opere d’arte, nel corso dell’anno 1999 per la redazione del progetto di massima.

Nella suddetta campagna furono eseguite indagini lungo tutto il tronco Grosseto – Siena e alcune di esse interessarono i lotti in oggetto.

Infine, nell’ambito dell’affidamento dei precedenti incarichi di progettazione (1999 -2006), secondo un programma concordato con l’Anas – Direzione Centrale Programmazione e Progettazione, sono state eseguite due campagne di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, che riportiamo sinteticamente.

Campagna di indagine del 1999

La campagna del 1999 ha previsto 17 sondaggi a carotaggio continuo, posizionati in prossimità dei quattro viadotti e della galleria in progetto (Tabella 1). Sono allegati elaborati planimetrici con indicata l’ubicazione dei sondaggi, e profili geotecnici con le colonne stratigrafiche.

Le perforazioni hanno tipicamente una lunghezza di 20 – 30 m tranne il sondaggio S1GPT, realizzato sulla Galleria Poggio Tondo nella zona a maggiore copertura, in cui è stata raggiunta la profondità di 46.00 m. I sondaggi sono stati eseguiti con diametro di perforazione di 105 mm e recupero di carote con diametro di 78 mm; per migliorare la qualità del campionamento è stato necessario utilizzare corone diamantate.

Otto perforazioni sono state attrezzate con piezometri a tubo aperto, mentre in altre due perforazioni (S3CAL e S4LCO) sono stati installati tubi inclinometrici di lunghezza rispettivamente pari a 20 e 30 m.

Denominazione	Posizione	Quota (m slm)	Fondo foro da po (m)	Falda prof da po (m)	Attrezzato con
S1CAL	viadotto Calcinai A/B	244.20	22.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S2CAL	viadotto Calcinai A	222.20	22.00	-	Inclinometro
S4CAL	viadotto Calcinai A	211.20	22.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S2CAL	spalla del viadotto Calcinai B	221.00	22.00	-	-
S4LOR	spalla del viadotto S. Lorenzo B	222.20	22.00	-	-
S1LOC	spalla del viadotto S. Lorenzo B	216.20	22.00	-	-
S2LOC	viadotto La Caccia A/B	192.00	22.00	2.50	Piezometro Tubo Aperto
S2LOC	spalla del viadotto La Caccia A/B	197.00	22.00	2.50	Piezometro Tubo Aperto
S4LOC	spalla del viadotto La Caccia A/B	183.00	22.00	-	Inclinometro
S6LOC	spalla del viadotto La Caccia B	192.00	22.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S1LAN	viadotto Lanzo A	192.00	22.00	-	-
S2LAN	viadotto Lanzo A/B	178.20	22.00	12.00	Piezometro Tubo Aperto
S2LAN	viadotto Lanzo A/B	161.00	22.00	-	-
S2LAN B	viadotto Lanzo A/B	161.20	22.00	-	-
S2LAN	viadotto Lanzo B	192.00	22.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S1GFT	Galleria Foggio Tondo A/B	224.20	42.00	-	-
S2GFT	Galleria Foggio Tondo B	182.00	22.00	-	-
S3GFT	Galleria Foggio Tondo B	188.20	22.00	4.50	Piezometro Tubo Aperto

Tabella 1 – Sondaggi della campagna di indagine del 1999.

Sulla dorsale attraversata dalla Galleria Poggio Tondo sono stati eseguiti quattro profili geofisici a rifrazione, ciascuno della lunghezza di 110 m, con una equidistanza fra i geofoni di 10 m. Tre sezioni geofisiche sono parallele all'asse della galleria mentre la quarta sezione, ubicata in prossimità dell'imbocco lato Grosseto, è trasversale all'asse.

Dalle cassette di sondaggio sono stati prelevati campioni per prove di laboratorio di tipo compressione uniassiale, carico puntuale (Point Load Test) e trazione indiretta (Brasiliana), i cui risultati sono descritti nella relazione "Rapporto Tecnico sulle Indagini T00-GE00-GEO-RE02".

Campagna di indagine del 2006

La campagna del 1999, descritta nel paragrafo precedente, è stata integrata e completata con le indagini del 2006, riassunte schematicamente in Tabella 2. Negli elaborati planimetrici allegati è indicata l'ubicazione dei sondaggi, e nei profili geotecnici allegati si riportano le colonne stratigrafiche.

Cod. ID	Opera	Tipologia d'indagine	X	Y	Quota (m s.l.m.)
PG*1 GPT	Trasv. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686258.2801	4765351.1613	192.80
	"	"	1686355.0620	4765413.2696	260.40
PG*2 GPT	Asa Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686247.0399	4765488.1427	218.60
	"	"	1686373.2580	4765295.6889	248.30
PG*3 GPT	Imb. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686421.5180	4765139.2862	190.40
	"	"	1686472.7506	4765119.3879	175.60
PG*4 GPT	Imb. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686193.0175	4765600.7582	196.80
	"	"	1686238.3245	4765531.6092	200.40
S*1 GPT	Gall. Poggio Tondo	Sondaggio geognostico	1686288.8867	4765498.0721	217.00
S*2 GPT	Gall. Poggio Tondo	Sondaggio geognostico	1686376.9016	4765237.6902	230.80
PG*1 LAN	Viadotto Lanzo	Prospezione geotomografica	1686449.5983	4765003.6298	170.90
	"	"	1686502.7242	4765017.3948	167.10
S*1 LAN	Viadotto Lanzo	Sondaggio geognostico	1686475.6311	4765053.7886	162.50
TP1*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686532.7327	4764387.1141	166.00
TP2*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686661.2213	4764531.9951	175.90
TP3*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686549.1945	4764548.1151	176.40
PG*1 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686528.4993	4764447.5273	191.80
	"	"	1686532.6861	4764752.8943	188.30
PG*2 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686484.7517	4764286.3989	209.80
	"	"	1686539.1529	4764287.7197	206.30
PG*3 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686506.5946	4764271.1464	216.60
	"	"	1686506.8979	4764326.1247	192.10
PG*4 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686488.2829	4764393.5318	183.80
	"	"	1686536.3562	4764420.0556	180.10
S*1 LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686558.4635	4764671.0525	167.90
S*2 LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686548.2583	4764555.0433	175.10
CP2*LCO	Pila Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686469.0464	4764383.2148	164.10
CS4*LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686466.3217	4764447.7656	207.50
PG1*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686486.3173	4764075.0935	197.70
	"	"	1686536.1095	4764098.6019	193.20
PG2*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686524.1783	4764054.9217	219.00
	"	"	1686517.4755	4764109.5117	212.10
PG2*LOR bis	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686514.4903	4764126.9511	202.30
	"	"	1686509.8215	4764181.5832	218.90
PG3*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686526.4448	4763982.3515	237.10
	"	"	1686519.6469	4764037.1326	219.70
PG4*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686508.7874	4763985.5057	232.70
	"	"	1686564.3596	4763987.1969	230.50
CS2*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Sondaggio geognostico	1686503.600	4763995.3283	229.80
CS3*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Sondaggio geognostico	1686487.8896	4764172.3358	222.00
S*2 CAL	Viadotto Calcinaï	Sondaggio geognostico	1686614.0493	4763782.5750	226.10
CP1*CAL bis	Pila Viadotto Calcinaï	Sondaggio geognostico	1686588.1917	4763840.4093	211.20
CS1*CAL	Viadotto Calcinaï	Sondaggio geognostico	1686588.6298	4763945.9575	231.60
TP1	Rilevato	Pozzetto esplorativo	1686508.2837	4763533.2187	251.00
TP2	Rilevato	Pozzetto esplorativo	1686052.7722	4763707.2137	187.60

Tabella 2 – Prove e sondaggi della campagna di indagine del 2006.

PROGETTO ESECUTIVO

**GEOLOGIA E IDROLOGIA
RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

Le lavorazioni consistono in prospezioni sismiche a rifrazione nell'ambito delle indagini geofisiche; sondaggi a carotaggio continuo, prove pressiometriche, dilatometriche, di permeabilità, di carico su piastra e scavo di pozzetti esplorativi. Inoltre prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi e dei pozzetti esplorativi, nell'ambito della caratterizzazione geotecnica delle terre e degli ammassi rocciosi; infine le misurazioni delle profondità delle falde freatiche rinvenute nel corso dei sondaggi geognostici, nell'ambito del rilievo di strumentazione geotecnica.

In particolare sono stati eseguiti 12 sondaggi (Tabella 3) tramite sonda a rotazione CMV MK-420F cingolata.

Denominazione	Posizione	Quota (m slm)	Fondo foro da pc (m)	Attrezzato con	Prove in sito
S*1 Lan	viadotto Lanzo A	162.50	30.00	Piezometro Tubo Aperto	-
S*1 Lco	esterno	167.90	25.00	Piezometro Tubo Aperto	-
S*2 Cal	esterno	226.10	20.00	Piezometro Tubo Aperto	Pressiometriche
S*1 Gpt	Galleria Poggio Tondo A	217.00	31.00	Piezometro Tubo Aperto	2 Dilatometriche + 2 Lugeon
S*2 Gpt	Gallerie Poggio Tondo A/B	230.60	60.00	Piezometro Tubo Aperto	Dilatometriche + 2 Lugeon
S*2 Lco	esterno	175.10	20.00	Piezometro Casagrande	Pressiometriche
CS2*Lor	spalle del viadotto S. Lorenzo B	229.60	20.00	-	
CS3*Lor	spalle del viadotto S. Lorenzo B	222.00	8.00	-	
CS1*Cal	viadotto Calcinaï B	231.60	7.00	-	
CS4*Lco	spalle del viadotti La Coscia B	207.50	8.00	-	
CP1*Cal bis	viadotto Calcinaï B	211.20	12.00	-	Pressiometriche
CP2*Lco	viadotto La Coscia B	164.10	12.00	-	

Tabella 3 – Sondaggi della campagna di indagine del 2006.

Le perforazioni sono state eseguite con metodologia "carotaggio continuo a secco o a limitata circolazione d'acqua" con impiego di carotiere singolo e doppio, corone dentate al widia e corone diamantate; i prelievi dei campioni indisturbati sono avvenuti con utilizzo di campionatore Shelbyin acciaio a pareti sottili, mentre per quanto riguarda i campioni rimaneggiati (così come per gli spezzoni di roccia e le carote di calcestruzzo), si è provveduto a catalogarli e inserirli in bustine plastificate idonee alla loro conservazione.

Successivamente tutti i campioni prelevati sono stati inviati in laboratorio per l'esecuzione delle diverse prove geotecniche.

Dei 12 sondaggi realizzati, cinque sono stati condizionati a piezometro del tipo a tubo aperto (con tratti ciechi e tratti microfessurati) tra cui i sondaggi [S*1 Lan]- [S*1 Lco] - [S*2 Cal]- [S*1 Gpt] e [S*2 Gpt], alle cui sommità sono stati alloggiati chiusini di metallo provvisti di lucchetto (solamente per il sondaggio S*1 Lco è stato utilizzato un pozzetto carrabile di protezione in metallo);

un solo sondaggio, S*2 Lco, è stato condizionato a piezometro del tipo "Casagrande" (previa spurgatura) alla cui sommità è stato posizionato un chiusino di metallo provvisto di lucchetto.

Dopo alcuni giorni e anche successivamente all'installazione dei piezometri sono state eseguite, mediante l'utilizzo di un freatimetro, le misure del livello piezometrico delle falde freatiche rinvenute nei fori anzidetti, le quali hanno accertato la presenza, per la maggior parte dei sondaggi, di una falda freatica a profondità variabili dal piano campagna (per le relative profondità si rimanda alla visione delle stratigrafie in allegato).

Infatti, dalle misure effettuate, solamente quelle eseguite all'interno del piezometro Casagrande (sondaggio S*2 Lco) non hanno rilevato la presenza di una falda freatica.

Dei restanti 6 sondaggi, 4 (CS2*Lor - CS3*Lor - CS1*Cal - CS4*Lco) sono stati eseguiti sulle spalle dei viadotti S. Lorenzo, Calcinai e La Coscia, mentre i sondaggi CP1*Cal bis e CP2*Lco (inclinato di 22° rispetto alla verticale) hanno caratterizzato rispettivamente una pila del viadotto Calcinai e una pila del viadotto La Coscia.

Per quanto riguarda questi ultimi 6 sondaggi (i quattro delle spalle e i due delle pile), non sono stati installati piezometri di alcun genere all'interno dei fori.