

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

ADEGUAMENTO A 4 CORSIE

NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")

DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

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 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. Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

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

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carlucci	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. A. Rea	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. F. Dominici	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE

Relazione geologica

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> LOFI15 E 1901 </div>	T00-GE00-GE0-RE01 CODICE ELAB. T00GE00GEORE01	A	-
A	Emissione	28/02/2020	R. Salucci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO
		VERIFICATO	APPROVATO
		G. Cerquiglini	N. Granieri

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	SVILUPPO DELLE INDAGINI	5
2.1	CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2000	5
2.2	CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2019	8
3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	12
3.1	PROCESSI DI MODELLAMENTO	15
3.1.1	Modellamento fluvio-denudazionale.....	15
3.1.2	Modellamento ad opera della gravità.....	15
3.2	MORFOTIPI PRESENTI NELL'AREA DI INDAGINE.....	15
3.3	PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA – ANALISI DEL PAI OMBRONE.....	17
3.3.1	Area 1	18
3.3.2	Area 2	22
3.3.3	Area 3	25
3.3.4	Area 4	28
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	31
4.1	ASSETTO STRUTTURALE E LINEAMENTI TETTONICI PREVALENTI	33
4.2	SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA	35
5	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	42
5.1	ASSETTO IDROGEOLOGICO ED ANDAMENTO DELLE CIRCOLAZIONI IDRICHE SOTTERRANEE	43
5.2	PUNTI D'ACQUA CENSITI	45
5.3	CIRCOLAZIONI IDRICHE RINVENUTE NEL CORRIDOIO DI PROGETTO.....	56
6	SISMICITA'	58

RELAZIONE GEOLOGICA

6.1	SISMICITÀ REGIONALE	59
6.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA TOSCANA	63
6.3	SISMICITÀ DELL’AREA D’INDAGINE.....	64
6.4	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL’AREA D’INDAGINE.....	67
7	ANALISI DEL TRACCIATO	68

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata a definire gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e simici per il progetto esecutivo della S.S. 223 “di Paganico”, itinerario internazionale E78 SGC Grosseto – Fano Adeguamento a 4 corsie del tratto dal km 41+600 al km53+400.

Il tracciato stradale in studio ricade nel settore meridionale della provincia di Siena nei territori dei comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille.

L’infrastruttura segue la valle del fiume Merse, affluente del fiume Ombrone, e si posiziona quindi in un settore caratterizzato da una morfologia dolce e ondulata con quote topografiche degradanti verso ovest.

Nell’ambito del lavoro è stata redatta la sottoelencata cartografia tecnica:

- “Carta Geologica – scala 1:5.000” (n.2 elab. T00GE00GEOCG01-02-A);
- “Carta Geologica – scala 1:2.000” (n.7 elab. T00GE00GEOCG03-09-A);
- “Carta Geomorfologica – scala 1:2.000” (n.7 elab. T00GEO00GEOCG10-16-A);
- “Carta Idrogeologica – scala 1:2.000” (n.7 elab. T00GEOGE00OCI01-07-A);
- “Profilo geologico di progetto – scala 1:2000/200 (n.7 elab. T00GEO00GEOFG01- 07-A);
- Sezioni idro geologiche trasversali – scala 1:2.000 (n.2 elaborati TO00GE00GEOSV1-2-A)
- “Planimetria ubicazione indagini – scala 1:2000 (n.7 elab. T00GEO00GEOPU01- 07-A);
- “Planimetria ubicazione indagini – scala 1:2000 (n.7 elab. T00GEO00GEOPU01- 07-A);
- “Sezioni geologiche trasversali – scala 1:2000 (n.9 elab. T00GEO00GEOSG01- 09-A);
- Carta sismica – scala 1:10.000 (n. 2 elab T00GE00GETCS01-02-A)

A supporto del progetto sono state eseguite varie campagne d’indagini geognostiche che hanno consentito di integrare i dati reperiti in letteratura, con i risultati dei rilevamenti geologici e di campagna e quindi di acquisire ulteriori informazioni di carattere geologico tecnico che approfondiscono il quadro conoscitivo già disponibile.

- campagna indagine del 2000 a sostegno del progetto definitivo (elaborati T00GE00GEORE03-09-A)
- campagna indagine del 2019 a sostegno del progetto esecutivo (elaborati T00GE00GEORE10-12-A).

Sulla base di tutti gli elementi acquisiti sono state redatte le seguenti relazioni:

- Relazione geologica T00GE00GEORE01-A;
- Relazione geomeccanica – T00GE00GEORE02-A;
- Relazione sismica T00GE00GETRE02-A.

RELAZIONE GEOLOGICA

Lo studio in oggetto e la presente relazione sono stati eseguiti in ottemperanza a quanto disposto dai seguenti testi normativi:

- D.M. 11.03.1988 e dalle successive norme tecniche (Circ. LL.PP. del 24.09.1988 n. 30483), nonché dalla Legge 109/94 e successive modifiche e integrazioni
- D.P.R. 554/1999 (Regolamento di attuazione della Legge Quadro in materia di lavori pubblici 11.02.1994 n. 109 e successive modificazioni).
- NTC 01-2018 e successive norme tecniche.

Si evidenzia inoltre che nella relazione geologica è stato seguito quanto indicato dalla Legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79 “Nuova disciplina in materia di consorzi di bonifica”, dalla Legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 “Norme per il governo del territorio”, dal Regolamento D.P.R. Toscana 53/R del 25/10/2011, dalla L.R. n. 80/2015, Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri e dalla L.R. 21 maggio 2012, n.21 Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua.

2 SVILUPPO DELLE INDAGINI

Nelle varie fasi di progettazione sono state eseguite nell’area oggetto di studio le sottoelencate campagne di indagine:

- campagna indagine del 2000 a sostegno del progetto definitivo;
- campagna indagine del 2019 a sostegno del progetto esecutivo.

L’ubicazione delle suddette indagini è illustrata negli elaborati “Planimetria ubicazione indagini - Tav. 1÷7” (T00-GE00-GEO-PU01÷07-A).

Di seguito si riassumono in forma tabellare le indagini eseguite nelle sopraelencate campagne di indagine rimandando per maggiori dettagli ai sottoelencati specifici elaborati

- campagna indagine del 2000 a sostegno del progetto definitivo (elaborati T00GE00GEORE03-09-A)
- campagna indagine del 2019 a sostegno del progetto esecutivo (elaborati T00GE00GEORE10-12-A).

2.1 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2000

Nell’ambito della progettazione definitiva, nel mese di febbraio 2000 sono state eseguite delle indagini geognostiche consistite in:

- n.56 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (S1÷ S56) all’interno dei quali sono state eseguite n.236 prove penetrometriche dinamiche SPT; sono stati prelevati n.118 campioni da analizzare in laboratorio, di cui n.92 rimaneggiati e n.26 indisturbati. In n.7 verticali è stato installato un piezometro a tubo aperto.

In questa campagna non sono state eseguite prospezioni mirate alla classificazione sismica del sito e dei suoli.

Di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità di investigazione raggiunta, $L_{sondaggio}$, delle prove in sito eseguite, del numero di campioni prelevati e delle eventuali strumentazioni installate nel foro stesso.

Tabella 1: Campagna di indagine del 2000 - Scheda sintetica dei sondaggi.

Denominazione	$L_{sondaggio}$ (m)	SPT	Campioni indisturbati (n°)	Campioni rimaneggiati (n°)	Attrezzato con
S1	30	5	-	5	-
S2	25	4	-	4	-
S3	25	-	-	4	-
S4	25	5	1	4	-
S5	36	6	1	5	-

RELAZIONE GEOLOGICA

S6	20	3	-	3	Piezometro T.A.
S7	20	3	-	3	-
S8	20	3	1	3	-
S9	15	2	1	1	-
S10	15	3	-	-	-
S11	15	3	-	-	-
S12	15	3	-	-	-
S13	10	2	-	-	-
S14	10	2	-	-	-
S15	10	2	-	-	-
S16	20	3	1	3	-
S17	20	3	-	2	-
S18	15	3	-	-	-
S19	25	3	-	2	-
S20	25	3	-	2	-
S21	20	2	-	1	-
S22	35	5	2	5	-
S23	35	5	1	5	-
S24	35	5	-	4	-
S25	25	7	-	-	-
S26	20	6	-	-	-
S27	20	6	-	-	-
S28	15	5	-	-	-
S29	15	7	-	2	-
S30	15	7	-	2	-
S31	15	4	-	2	-
S32	15	5	-	-	Piezometro T.A.
S33	15	5	-	-	Piezometro T.A.

RELAZIONE GEOLOGICA

S34	25	8	1	3	Piezometro T.A.
S35	25	6	2	3	-
S36	15	5	-	2	-
S37	15	5	-	2	-
S38	11,5	2	-	1	-
S39	13,7	2	-	-	-
S40	15	10	-	-	-
S41	15	2	-	-	-
S42	10	4	-	-	-
S43	10	4	-	-	-
S44	10	2	-	-	-
S45	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S46	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S47	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S48	20	5	-	-	Inclinometro
S49	15	5	-	-	Inclinometro
S50	30	6	-	1	-
S51	30	10	1	5	-
S52	30	3	2	3	-
S53	30	3	2	3	-
S54	30	3	2	3	-
S55	40	3	4	2	-
S56	40	3	4	2	-

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2000, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

➤ **prove di classificazione:**

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d'acqua;

RELAZIONE GEOLOGICA

- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;
- **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**
 - prove di compressione monoassiale (*ELL*);
 - prove di taglio diretto (*TD*);
 - prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
 - prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti, sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

2.2 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2019

La campagna di indagine *realizzata* per la redazione del progetto esecutivo è consistita nella realizzazione di:

- n.29 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo all'interno dei quali sono state eseguite n.121 prove penetrometriche dinamiche SPT; e sono stati prelevati n.170 campioni da sottoporre a prove di laboratorio, di cui n.110 rimaneggiati e n. 60 indisturbati. Sono stati installati piezometri in n.17 sondaggi, tutti con cella di Casagrande e n.5 con l'aggiunta di un piezometro a tubo aperto; all'interno di n.6 sondaggi è stato installato un tubo per l'esecuzione di prove geofisiche “Down-Hole”.
- n. 8 prove pressiometriche.
- n.4 prove di permeabilità in foro *Lefranc*.
- n.8 indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e S.
- n.9 prospezioni sismiche MASW.
- n.23 pozzetti esplorativi spinti fino alla profondità massima di 2 m da p.c., all'interno dei quali sono state condotte n.18 prove di carico su piastra circolare (*PLT*) alla profondità di 0.20÷0.30 m da p.c.; sono stati inoltre prelevati n.23 campioni rimaneggiati, n.1 da ciascun pozzetto.

Di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità di investigazione raggiunta, $L_{sondaggio}$, delle prove in sito eseguite, del numero di campioni prelevati e delle eventuali strumentazioni installate nel foro stesso.

RELAZIONE GEOLOGICA

Tabella 2: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica dei sondaggi.

Denominazione	L _{sondaggio} (m)	SPT	P.P.	Campioni indisturbati (n°)	Campioni rimaneggiati (n°)	Attrezzato con
SG01-DH	50	3		3	2	Down-Hole
SG02-PZ	30	7		2	7	Piezometro Casagrande
SG03	30	5		3	4	-
SG03bis	30	5		3	5	-
SG04-PZ	30	5		-	3	Piezometro Casagrande
SG05-DH	45	2	X	4	3	Down-Hole
SG06-PZ	30	3		3	3	Piezometro Casagrande
SG07	15	4	X	2	4	-
SG08-DH	45	5	X	4	5	Down-Hole
SG09bis	30	6	X	1	6	-
SG09-DH	45	2	X	1	5	Down-Hole
SG10-DH	45	4	X	2	9	Down-Hole
SG11-DH	45	7		4	2	Down-Hole
SG12-PZ	30	5	X	3	2	Piezometro Casagrande
SG13	37.5	4		4	4	-
SG14-PZ	15	3	X	1	2	Piezometro T.A. + Casagrande
SG15-PZ	20	3		2	3	Piezometro T.A. + Casagrande
SG19-PZ	20	5		2	5	Piezometro Casagrande
SG21-PZ	30	5		1	5	Piezometro Casagrande
SG24-PZ	25	4		2	4	Piezometro Casagrande
SG27-PZ	40	5		2	5	Piezometro T.A. + Casagrande
SG30-PZ	20	4	X	1	4	Piezometro Casagrande
SG33-PZ	25	3	X	2	1	Piezometro T.A. + Casagrande
SG35	20	4		1	4	-
SG37-PZ	25	4		-	4	Piezometro Casagrande
SG38-PZ	20	2		-	2	Piezometro Casagrande
SG39-PZ	23.3	5	X	1	4	Piezometro Casagrande
SG40-PZ	25	4	X	3	1	Piezometro T.A. + Casagrande
SG41-PZ	25	3	X	3	2	Piezometro Casagrande

RELAZIONE GEOLOGICA

La tabella seguente riepiloga le profondità alla quale sono state condotte le prove pressiometriche.

Tabella 3: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle prove pressiometriche.

Denominazione	Sigla prova	Profondità (m)
SG13	P1	21.2
SG21-PZ	P1	24.5
SG27-PZ	P1	29.5
SG33-PZ	P1	10.5
SG33-PZ	P2	20.5
SG40-PZ	P1	15.5
SG41-PZ	P1	10.5
SG41-PZ	P2	20.5

La tabella seguente riepiloga le profondità alla quale sono state condotte le prove di permeabilità *Lefranc*.

Tabella 4: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle prove di permeabilità *Lefranc*.

Denominazione	Profondità (m)
SG02-PZ	19.7
SG04-PZ	11.3
SG06-PZ	16.9
SG12-PZ	6.5

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2019, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- **prove di classificazione:**
 - analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 - limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
 - contenuto naturale d'acqua;
 - peso di volume naturale;
 - peso specifico dei grani;
- **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**
 - prove di taglio diretto (*TD*);
 - prove triassiali consolidate drenate (*TX-CID*);
 - prove triassiali consolidate non drenate (*TX-CIU*);
 - prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);

RELAZIONE GEOLOGICA

- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, compresi quelli prelevati all'interno dei pozzetti, sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

Di seguito sono riportate le tabelle riepilogative delle indagini sismiche a rifrazione e MASW eseguite.

Tabella 5: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle sismiche a rifrazione.

Denominazione	L _{stendimento} (m)	Geofoni (n°)	Distanza intergeofonica (m)
LS01	110	24	2.5
LS02	110	24	2.5
LS05	46	24	2
LS06	46	24	2
LS07	110	24	2.5
LS08	46	24	2
LS09	110	24	2.5
LS010	110	24	2.5

Tabella 6: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle prospezioni MASW.

Denominazione	L _{stendimento} (m)	Geofoni (n°)	Distanza intergeofonica (m)
MASW1	46	24	2
MASW2	46	24	2
MASW3	46	24	2
MASW4	46	24	2
MASW5	46	24	2
MASW6	46	24	2
MASW7	46	24	2
MASW8	46	24	2
MASW9	46	24	2

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il tracciato oggetto di studio si sviluppa in un settore meridionale del territorio Senese in cui scorre il F. Merse, affluente del Fiume Ombrone, corso d'acqua che taglia ortogonalmente il rilievo della Montagnola Senese, con percorsi meandriiformi incassati; alcuni tratti di meandro abbandonati durante l'evoluzione dell'area sono ben visibili in foto aerea a quote più alte di circa 400 m. Tale assetto è interpretabile come un caso di antecedenza per cui un originario drenaggio principale con direzione antiappenninica ha progressivamente scavato le formazioni in graduale sollevamento, senza subire deviazioni di percorso.

Il reticolo idrografico nell'area studiata presenta diversi tipi di drenaggio. I più diffusi sono quelli dendritico e subparallelo-dendritico che si presentano a tessitura più fitta ed alta densità nei terreni argillosi, dove sono anche presenti forme calanchive. In tali tipi di drenaggio è comunque rilevabile anche un certo controllo strutturale dell'andamento delle aste fluviali principali, che sono quasi sempre orientate in direzione NE-SO oppure NO-SE.

Altri tipi di reticolo sono prevalentemente controllati da fratture o da altri elementi strutturali, come ad esempio i reticoli a traliccio dei corsi d'acqua che incidono i terreni argillosi e sabbiosi pliocenici.

L'orografia del territorio è caratterizzata da rilievi collinari (oltre il 70% dell'area totale è posta a quote superiori a 250 m s.l.m.). Particolarmente significative risultano le forme del rilievo, costituito da forti incisioni vallive ma comprese fra sommità non molto pronunciate, mantenendosi queste fra 350 e 550 metri (salvo Monte Quoio di 637 m) e zone basse fra 300 e 150 metri, configurando una morfologia a forte energia di rilievo seppure con scarti altimetrici ridotti.

La litologia affiorante influenza fortemente il rilievo del territorio e conseguentemente il paesaggio nel suo insieme. Le rocce delle Formazioni di età dal Paleozoico al Triassico (*Unità di Monticiano-Roccastrada*) occupano la maggior parte dell'area e consentono la presenza di una fitta copertura boschiva ma non di estesi insediamenti agrari.

La morfologia del territorio nelle aree fluviali è praticamente piatta (con pendenze inferiori al 5%), trattandosi della pianura alluvionale del F. Merse.

Gli spartiacque sono generalmente marcati, continui e molto arcuati nel bacino idrografico del F. Merse; i tributari del T. Farma, data la loro breve lunghezza, hanno spartiacque molto più rettilinei. I fianchi di queste linee di poggio sono solcati da vallecole affluenti agli impluvi maggiori, in conseguenza della scarsa permeabilità ed erodibilità di gran parte dei terreni affioranti, tali vallecole sono maggiormente incise laddove i terreni sono formati prevalentemente da rocce intensamente fratturate.

Particolarmente evidenti risultano le superfici alluvionali, distinte in tre ordini di terrazzi in base alla loro età, talvolta rimodellate dall'erosione o dall'intervento antropico. Si ritrovano lungo il corso del F. Merse, a varie quote nelle zone meno acclivi dei rilievi.

Data la estesa copertura boschiva, non sono comuni le situazioni in cui si verificano fenomeni erosivi superficiali, con conseguenti azioni di trasporto e deposizione del materiale solido. Tali fenomeni sono presenti principalmente sulle aree ad elevata acclività laddove la copertura

RELAZIONE GEOLOGICA

vegetale è venuta a mancare per effetto antropico. Sono infatti presenti alcune aree ad erosione diffusa visibili nelle foto aeree. Laddove la vegetazione inizia a ricrescere, i fenomeni di erosione si arrestano, fino a scomparire.

Sono poco frequenti i movimenti di massa gravitativi, rappresentati in massima parte da frane antiche, ormai stabilizzatesi, poste prevalentemente nei terreni riferibili al *Gruppo del Verrucano*.

Il rimodellamento subito nel tempo sia dalle corone di frana che dagli accumuli, i quali non presentano segni recenti di movimento, nonché la mancanza di fenomeni attivi di dissesto, rende difficile stabilire la causa di questi antichi franamenti.

L'unico cumulo di frana antica situato nelle vicinanze dell'opera in oggetto è riscontrabile presso l'esistente Stazione di Servizio (pk. 45+500 circa). Il dissesto si presenta ormai stabilizzato ed interessato da pratiche agricole in tutto il settore privo di vegetazione arborea; le pendenze sono limitate e attualmente non si rilevano tracce di possibili riattivazioni. Sul cumulo, inoltre, fondano sostegni della rete telefonica ed elettrica che si presentano perfettamente verticali.

Nella figura sottostante (Figura 3-1) è riportato uno stralcio della Carta geomorfologica allegata al progetto (T00-GE00-GEO-CG12-A) in cui è ben visibile la posizione del cumulo rilevato. Seguono foto rappresentative (Figura 3-2-Figura 3-3), effettuate in periodi diversi.

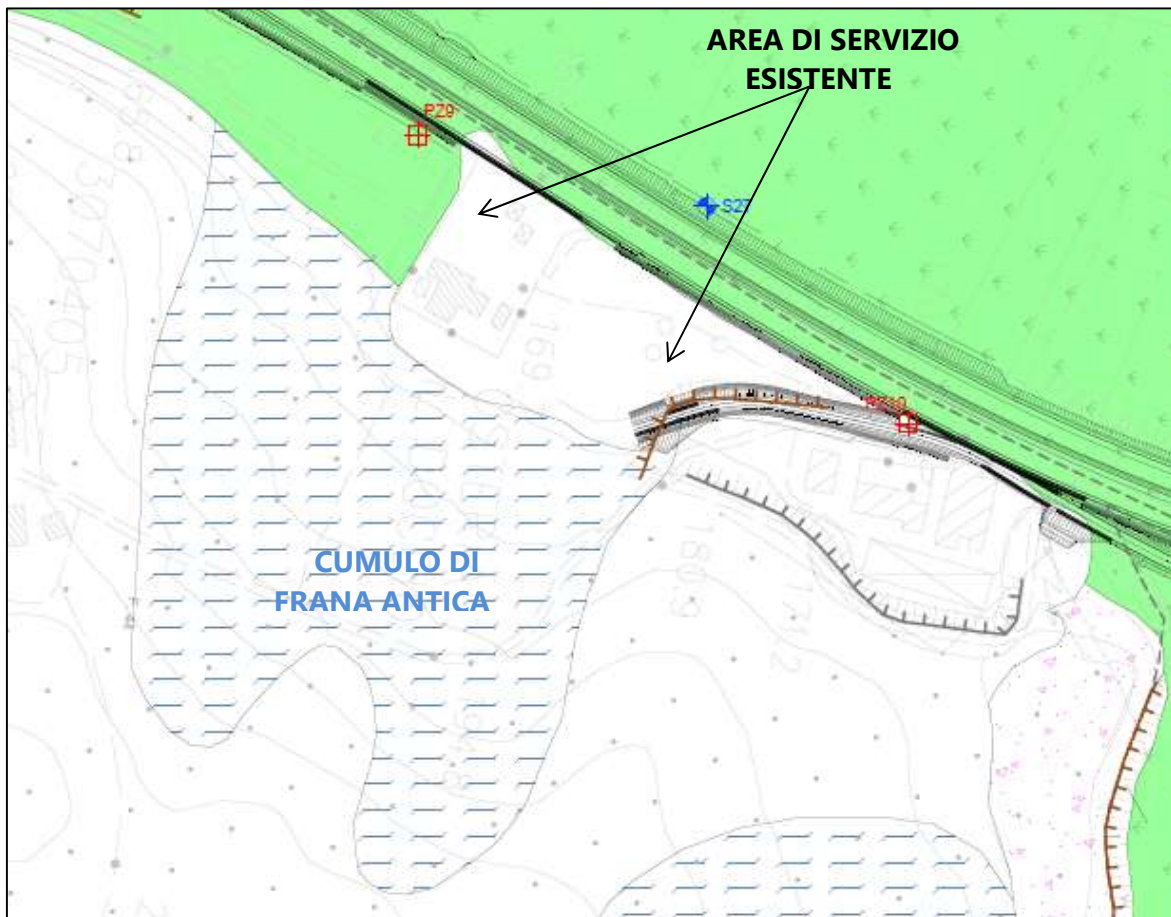


Figura 3-1 - Stralcio della Carta Geomorfologica di progetto (T00-GE00-GEO-CG12-A) con indicazione del cumulo di frana antica rilevato.



Figura 3-2 – Ripresa panoramica laterale del cumulo di frana antica (settembre 2019).



Figura 3-3 - Ripresa panoramica frontale del cumulo di frana antica (ottobre 2019).

In ultimo si evidenzia che sono stati osservati tratti in cui i gomiti fluviali possono dar luogo ad erosione spondale con conseguente arretramento dei cigli di scarpata (pk. 43+350 e 50+300 circa).

3.1 PROCESSI DI MODELLAMENTO

La dinamica geomorfologica della fascia di territorio studiata e le sue tendenze evolutive sono funzione di processi di modellamento principalmente fluvio-denudazionale, ossia dovuto alle acque dilavanti e, in minor misura ed inoltre a notevole distanza dal tracciato, ad opera della gravità.

3.1.1 Modellamento fluvio-denudazionale

Per modellamento fluvio-denudazionale si intende quello dovuto alle acque superficiali non organizzate ed incanalate; infatti nel sistema morfoclimatico attuale l'acqua rappresenta l'agente dominante il modellamento del rilievo, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate.

Le acque non incanalate danno luogo a limitate forme di erosione lungo i pendii, anche con acclività variabile, dove si impostano fenomeni di ruscellamento diffuso, con forme di denudamento talora anche estese o con formazione di rivoli e solchi di diversa entità.

Fenomeni di erosione accelerata vengono osservati anche lungo i pendii a prevalente componente argillitica.

Per quanto riguarda, invece, le acque incanalate, si ha un'azione erosiva talora intensa nelle aste dei torrenti che attraversano l'area studiata. L'erosione in tali valli si esplica nel fondo degli alvei ma anche sulle sponde generando, spesso, fenomeni di scalzamento al piede dei versanti.

Fenomeni di erosione concentrata si hanno in corrispondenza dei numerosi fossi che solcano i versanti, dove l'azione erosiva più consistente si esplica in occasione degli eventi meteorici più intensi, con fenomeni di approfondimento dell'alveo.

Lungo il margine esterno delle anse, in occasione degli eventi di piena, sono piuttosto spinti i fenomeni erosivi di sponda che intaccano i depositi alluvionali terrazzati nei tratti in cui il corso d'acqua è incassato nelle sue alluvioni stesse.

3.1.2 Modellamento ad opera della gravità

Le origini di questa franosità sono da ricercarsi soprattutto nei litotipi che compongono la maggior parte delle Formazioni geologiche affioranti nelle aree in dissesto (*Gruppo del Verrucano*) e nella elevata acclività dei versanti. La presenza di argilliti, siltiti e scisti (talora prevalenti) fra i litotipi delle Formazioni, la intensa fratturazione delle rocce e l'orientazione della stratificazione o della scistosità, hanno sicuramente contribuito all'instaurarsi di fenomeni di instabilità dei versanti, mentre la grande estensione dei boschi e la scarsa alterazione delle rocce hanno invece mitigato l'azione delle acque meteoriche e di infiltrazione, favorendo quindi una vocazione alla stabilità generale del territorio.

3.2 MORFOTIPI PRESENTI NELL'AREA DI INDAGINE

Rimandando alla carta geomorfologica allegata (All. T00-GE00-GEO-CG10-A÷T00-GE00-GEO-CG16-A) nel corridoio di studio analizzato sono stati osservati e cartografati i seguenti elementi geomorfologici principali:

- **Detrito di falda (dt)**

Costituisce l'accumulo di materiali rocciosi incoerenti che si depositano al piede delle pareti rocciose.

- **Alluvioni fluviali attuali (a)**

Depositi derivanti dalla sedimentazione operata da parte delle correnti fluviali. Le pianure alluvionali si sviluppano in valli e bacini intra-continentali, e sono costituite da sedimenti clastici a granulometria variabile.

- **Cumuli di frana (F)**

Si tratta dei depositi legati ai fenomeni di movimento o caduta di materiale roccioso o sciolto dovuti alla rottura dell'equilibrio statico preesistente ovvero all'effetto della forza di gravità che, agendo su di esso, supera le forze opposte di coesione del terreno.

- **Alluvioni fluviali terrazzate (at-at1-at2-at3)**

Riconoscibili dalla morfologia tipicamente pianeggiante che rappresenta il risultato dell'accumulo di materiali alluvionali, in cui i terrazzi più elevati rappresentano i più antichi.

A tali elementi si aggiungono i seguenti morfotipi:

- **Scarpate di erosione**

La scarpata è una brusca rottura del profilo topografico di un terreno giacente secondo un piano inclinato: è generata da erosione diffusa su termini litoidi a diversa consistenza, da erosione laterale dei corsi d'acqua o da erosione a solchi.

- **Erosione fluviale di sponda**

Processo erosivo che si manifesta con l'arretramento di una sponda fluviale attraverso una combinazione di erosione dovuta alla corrente fluviale e movimenti di massa.

- **Alveo in approfondimento**

Nell'area si rinvengono incisioni torrentizie di tributari secondari del F. Merse, in cui si osservano le tipiche morfologie di sovraincisione e approfondimento dell'alveo con conseguente possibile richiamo dei termini detritico-alluvionali presenti sulle sponde limitrofe.

- **Vallecola a V**

Morfologia dei fossi e torrenti in cui prevale l'erosione lineare e l'approfondimento del fondo dell'alveo (fase giovanile corso d'acqua)

- **Vallecola a fondo concavo**

Morfologia dei fossi e torrenti in cui prevale l'erosione laterale delle sponde e la deposizione in alveo (fase matura corso d'acqua).

- **Area interessata da erosione diffusa**

Si tratta di un fenomeno geomorfologico che avviene ad opera del velo d'acqua che bagna la parte più superficiale del terreno secondo la linea di massima pendenza. Queste aree, riportate nella Carta Geomorfologica, sono state indicate dal PAI Ombrone come aree a pericolosità

geomorfologica PG3 ma i rilievi in sito hanno evidenziato che non si tratta di aree in frana ma solamente interessate da erosione diffusa, come indicato inoltre anche nel PS del Comune di Monticiano (SI).

- **Lagheti artificiali**

In alcuni settori del corridoio di analisi, nelle porzioni in cui la permeabilità si presenta più ridotta per la presenza di termini pelitici o tramite la posa in opera di teli impermeabili, si rileva la presenza di lagheti artificiali utilizzati come risorsa idrica per l'irrigazione.

3.3 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA – ANALISI DEL PAI OMBRONE

Nella relazione generale redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Ombrone, che è entrata a far parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale, vengono descritti e analizzati i contenuti "minimi" per il progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale (PAI), così come definiti dalla Legge 18.05.1989 n° 183, dal D. Lgs. 11.06.1998 n° 180, convertito con Legge 03.08.1998 n° 267, e dagli "Atti di Indirizzo" emanati per avere una metodologia univoca nell'individuare gli squilibri ed i relativi punti di crisi sul territorio e nel proporre interventi di mitigazione del rischio che ne deriva.

Con il citato D. Lgs. N° 180/98 il PAI ha individuato le aree a maggior rischio idrogeologico e, in base all'atto di indirizzo approvato con DPCM 29.09.1998, sono state perimetrate quelle a pericolosità di frana elevata e molto elevata con i relativi rischi.

Lo stesso Decreto stabiliva che entro la data del 30.06.1999, poi spostata al 30.06.2001 con la Legge di conversione, le Regioni dovevano provvedere alla redazione dei Piani Stralcio per l'assetto idrogeologico.

Con il D. Lgs. n° 279/2000 (Decreto Soverato), convertito con Legge n° 365/2000, si aggiornavano nuovamente i termini stabilendo che entro il 30.04.2001 si doveva provvedere all'adozione del Progetto di Piano per l'assetto Idrogeologico (P.A.I.), ed entro i successivi 6 mesi (30.10.2001), si dovevano predisporre ed adottare i Piani.

Le perimetrazioni di cui sopra sono state approvate, unitamente alle misure di salvaguardia, dalla Giunta Regionale Toscana con Deliberazione n° 1212 in data 02.11.1999 ed il Consiglio Regionale, con Deliberazione n° 348 in data 23.11.1999, ha approvato il piano straordinario degli interventi risultati con carattere di priorità e finanziabili con le disponibilità economiche predisposte secondo un accordo di programma fra Stato e Regione Toscana.

Scopo del Piano Stralcio in argomento è, comunque, quello di sottoporre a verifica tutte le aree perfezionandone il perimetro in base ad analisi di dettaglio e quindi più approfondite.

1. La pericolosità geomorfologica è funzione dello stato di rischio per frana nelle diverse situazioni di attività: in atto, quiescente, a bassa propensione e stabile cui corrispondono le perimetrazioni nelle seguenti classi: pericolosità geomorfologica molto elevata, elevata, media e bassa (tavv. GeoNo01N e GeoNo01S) e relative norme di cui agli artt. 9 e 10 del P.A.I. Arno e artt. 13 e 14 del P.A.I. Ombrone rispettivamente per le classi di pericolosità geomorfologica molto elevata ed elevata.

2. Nelle aree perimetrare nelle classi di pericolosità geomorfologica molto elevata ed elevata il R.U. può consentire nuovi interventi edilizi e infrastrutture pubbliche a condizione rispettivamente che siano preventivamente o contestualmente realizzate opere di consolidamento del movimento franoso e di messa in sicurezza con superamento delle condizioni di instabilità.

Qui di seguito la definizione dei diversi gradi di pericolosità geomorfologica descritti nelle norme tecniche di attuazione del PAI:

- Pericolosità geomorfologica molto elevata G4: aree con frane attive o in evoluzione, scarpate attive e in erosione con relativa fascia di influenza.
- Pericolosità geomorfologica elevata G3: aree con frane quiescenti con relativa fascia di influenza, depositi detritici con pendenza >15%, rilevati su versante, aree di erosione profonda, erosioni fluviali, aree carsiche, aree con degrado superficiale, aree potenzialmente instabili per indizi connessi alla giacitura, acclività, litologia e uso del suolo.
- Pericolosità geomorfologica media G2: aree con bassa propensione al dissesto, fenomeni franosi inattivi e con sistemazioni storiche di versante (terrazzamenti).
- Pericolosità geomorfologica bassa G1: aree pianeggianti ove non sono presenti fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.

Lungo il tratto stradale compreso nel comune di Monticiano il PAI identifica n. 4 aree, riportate nelle seguenti figure, che sono state oggetto di rilevamenti ed osservazioni specifiche.

3.3.1 Area 1

L'Area 1 (Figura 3-4) si sviluppa approssimativamente tra le pk 41+700 - pk 4+900, in sinistra idrografica del Fosso Ornate, tra le quote di 180 e 155 m s.l.m.; si tratta di un'area priva di vegetazione arbustiva, incolta, caratterizzata dalla presenza di alcune variazioni di pendenza molto probabilmente da attribuire a motivi litologici del substrato. In quest'area si osserva il passaggio tra le Argille a Palombini (Pb) e le alluvioni terrazzate (at2) dell'Ornate.

L'analisi delle foto satellitari comprese nel periodo 2003 – 2019 non mostrano indizi di dissesto che possa aver coinvolto il tracciato stradale esistente (Figura 3-6÷Figura 3-8).

RELAZIONE GEOLOGICA



Figura 3-4 - Stralcio della Carta di Pericolosità Geomorfologica PAI-Ombone con ubicazione dell'Area 1 definita a Pericolosità G3.



Figura 3-5 - Panoramica Area 1-G3 ripresa da sotto il Viadotto Ornate esistente.

RELAZIONE GEOLOGICA



Figura 3-6 - Ripresa satellitare dell'Area 1 (anno 2003).



Figura 3-7 - Ripresa satellitare dell'Area 1 (anno 2013).

RELAZIONE GEOLOGICA

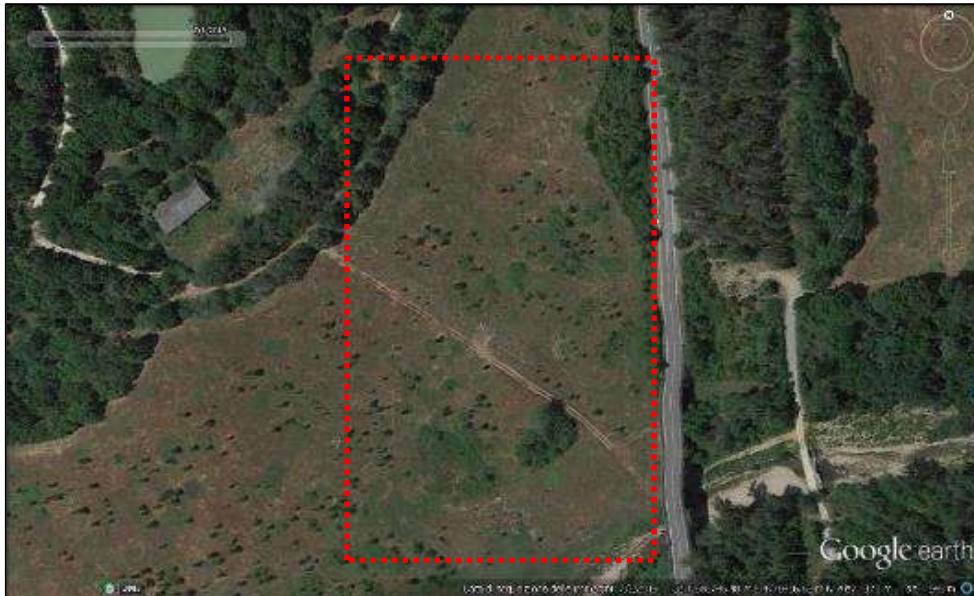


Figura 3-8 - Ripresa satellitare dell'Area 1 (anno 2019).

3.3.2 Area 2

L'Area 2 (Figura 3-9) si sviluppa approssimativamente tra le pk 43+180 e 43+280, in destra idrografica del Fiume Merse, tra le quote di 200 e 175 m s.l.m. circa.

Si tratta di un'area fittamente vegetata e mostra la presenza di n. 2 piste forestali che ne interrompono la continuità.

L'area è bordata verso sud (direzione inizio lotto) da un fosso in approfondimento che si sviluppa nell'ambito delle Brecce di Grotti (CM).

I rilievi svolti e l'analisi delle foto satellitari comprese nel periodo 2003 – 2019 non hanno evidenziato indizi di evoluzione dell'area che possano interferire il tracciato stradale (Figura 3-11÷Figura 3-13).

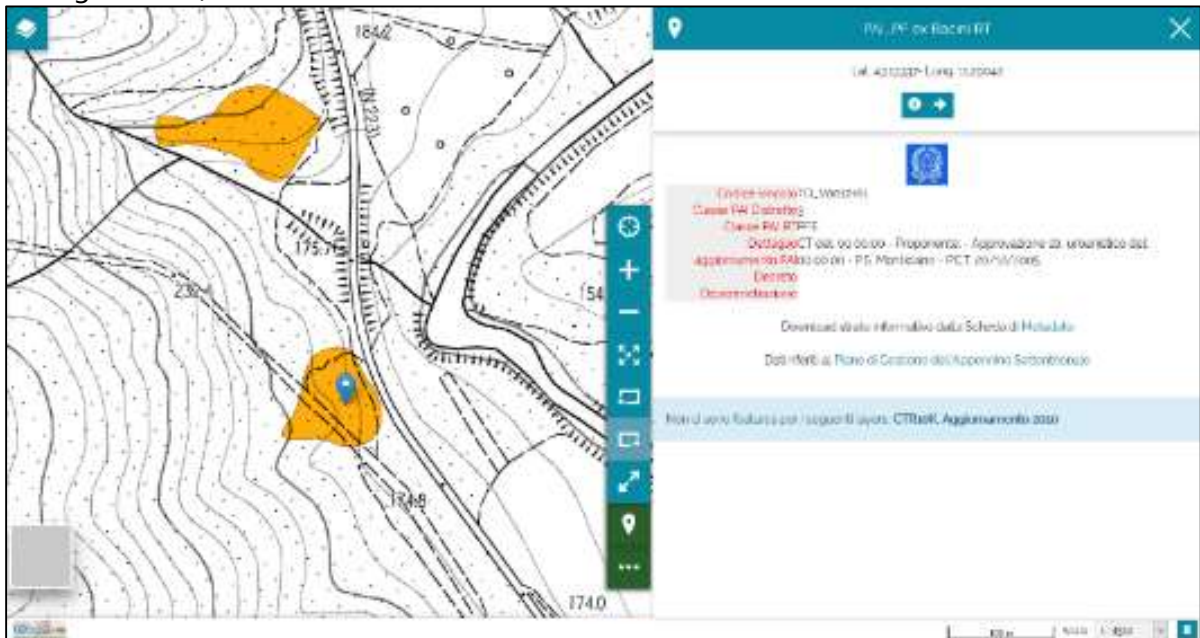


Figura 3-9 Stralcio della Carta di Pericolosità Geomorfologica PAI-Ombrone con ubicazione dell'Area 2 definita a Pericolosità G3.

RELAZIONE GEOLOGICA



Figura 3-10 - Panoramica Area 2-G3 ripresa dalla Strada statale esistente.

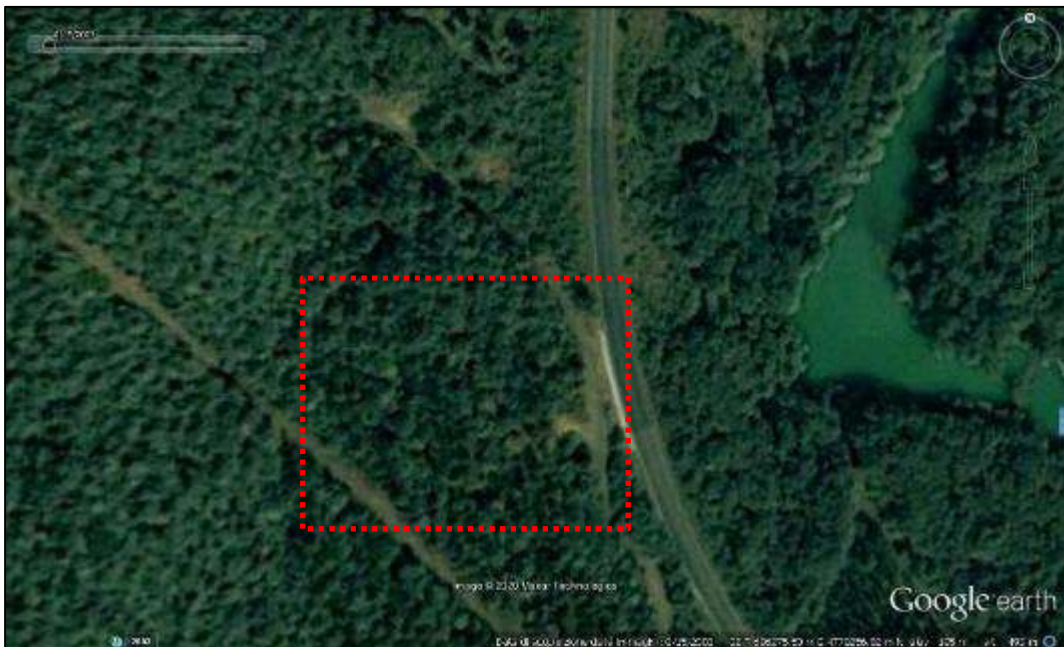


Figura 3-11 - Ripresa satellitare dell'Area 2 (anno 2003).

RELAZIONE GEOLOGICA

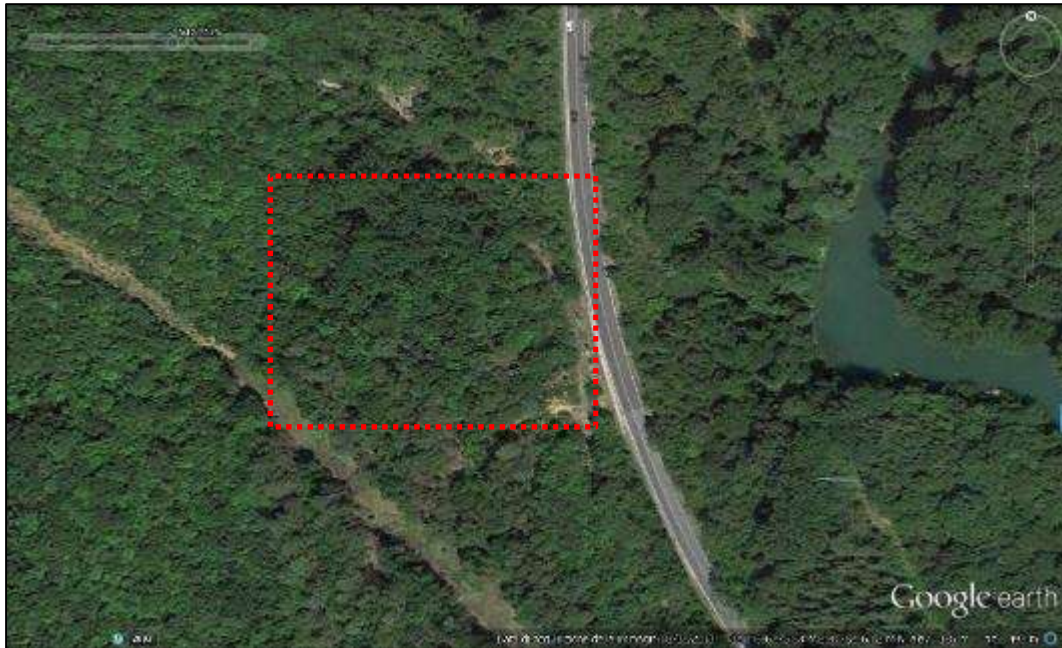


Figura 3-12 - Ripresa satellitare dell'Area 2 (anno 2013).

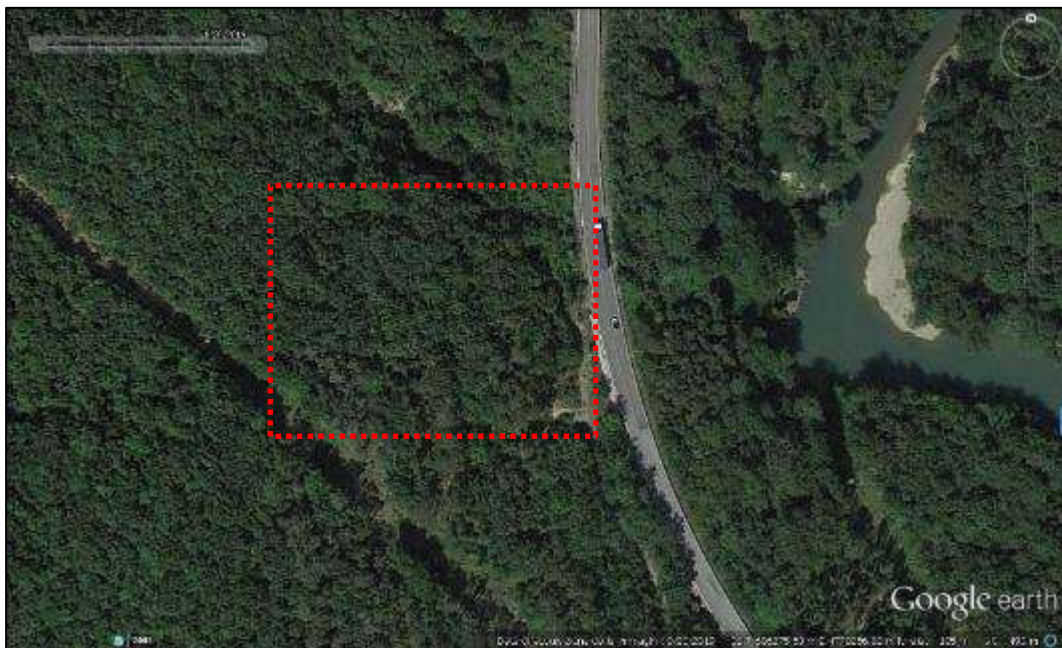


Figura 3-13 - Ripresa satellitare dell'Area 2 (anno 2019).

3.3.3 Area 3

L'Area 3 (Figura 3-14) si sviluppa approssimativamente tra le pk 43+440 e 43+540, in destra idrografica del Fiume Merse, tra le quote di 210 e 180 m s.l.m. circa, a ridosso di un fosso tributario minore in approfondimento.

Si tratta di un'area fittamente vegetata nella parte basale, mentre nella parte superiore le specie arboree risultano meno dense e si osservano solchi d'erosione che si incanalano verso il fosso citato. La direzione dei solchi risulta quindi parallela e a distanza di sicurezza dalla Strada in oggetto.

Le litologie interessate dai processi erosivi sono fondamentalmente riferibili alle Breccie di Grotti (CM).

I rilievi svolti e l'analisi delle foto satellitari comprese nel periodo 2003 – 2019 (tutte in agosto) hanno evidenziato un leggero incremento dell'erosione nella citata parte sommitale che in ogni caso, data la distanza e la direzione di sviluppo, non ha modo di interferire il tracciato stradale (Figura 3-16÷Figura 3-18). Tra l'area descritta ed il tracciato stradale intercorre una distanza pari a circa 50 m in cui si sviluppa una superficie terrazzata sub-orizzontale.

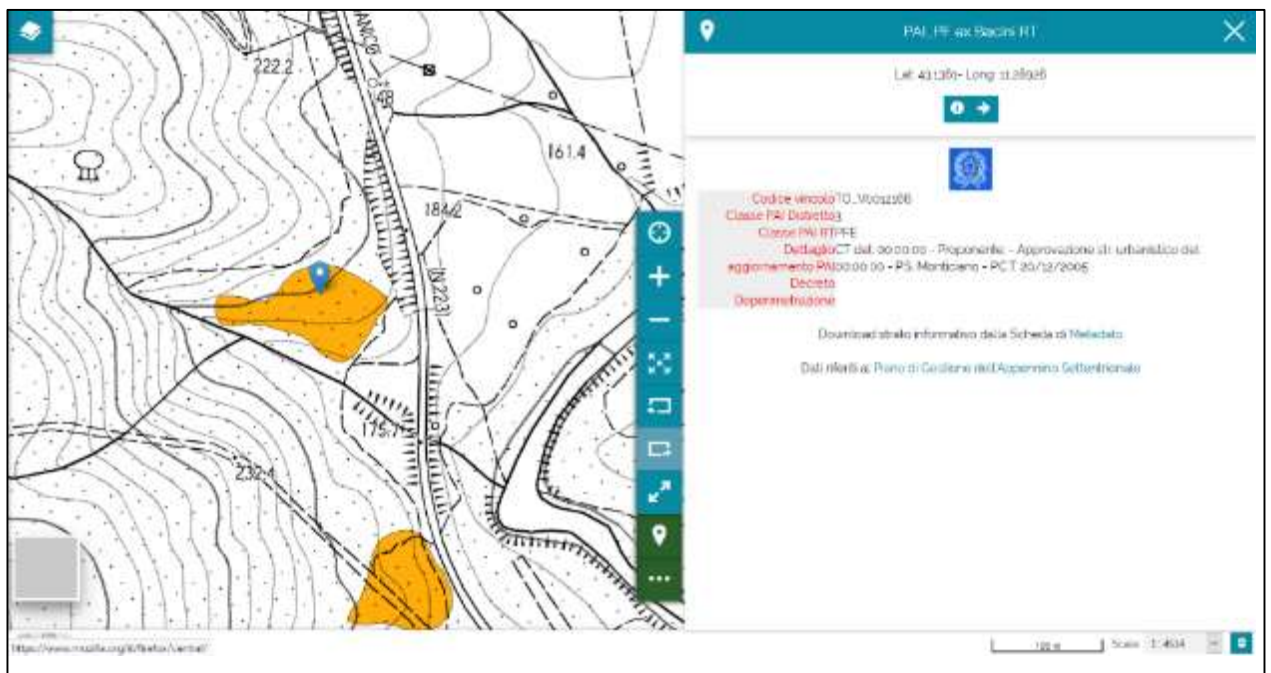


Figura 3-14 - Stralcio della Carta di Pericolosità Geomorfologica PAI-Ombone con ubicazione dell'Area 3 definita a Pericolosità G3.

RELAZIONE GEOLOGICA



Figura 3-15 - Panoramica Area 3-G3 ripresa da strada esistente.



Figura 3-16 - Ripresa satellitare dell'Area 3 (anno 2003).



Figura 3-17 - Ripresa satellitare dell'Area 3 (anno 2013).

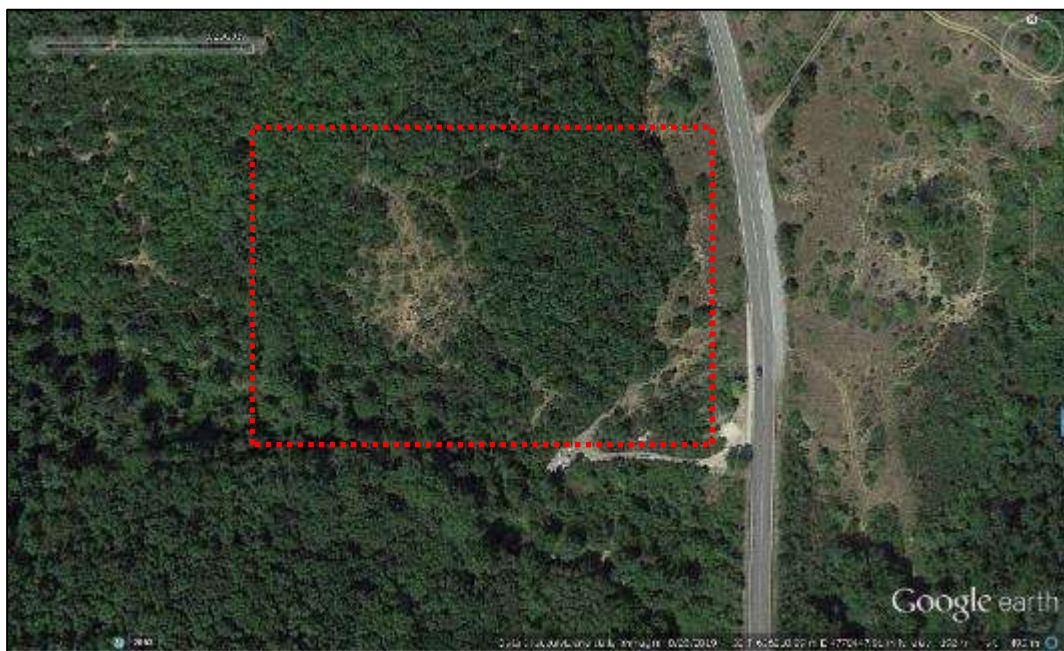


Figura 3-18 - Ripresa satellitare dell'Area 3 (anno 2019).

3.3.4 Area 4

L'Area 4 (Figura 3-19) si sviluppa approssimativamente tra le pk 44+280 e 44+380, in destra idrografica del Fiume Merse, tra le quote di 215 e 190 m s.l.m. circa. Al suo interno, nella parte orientale, scorre un fosso di modeste dimensioni, in approfondimento, che attraversa mediante tombinatura la strada statale esistente.

Si tratta di un'area fittamente vegetata da specie arboree, ma povera di sottobosco (assenza di cespugliature) per cui l'analisi fotografica satellitare la fa apparire alquanto arida ed interessata da locali solchi d'erosione.

Le litologie interessate dai processi sono fondamentalmente riferibili al Calcare Cavernoso (CV).

I rilievi svolti e l'analisi delle foto satellitari comprese nel periodo 2003 – 2019 (tutte in agosto) non hanno evidenziato variazioni delle condizioni di stabilità.

Inoltre, data la distanza e la direzione di sviluppo, i processi in atto non hanno comunque modo di interferire il tracciato stradale (Figura 3-21 ÷ Figura 3-23).



Figura 3-19 - Stralcio della Carta di Pericolosità Geomorfologica PAI-Ombone con ubicazione dell'Area 4 definita a Pericolosità G3.

RELAZIONE GEOLOGICA



Figura 3-20 - Panoramica Area 4-G3 ripresa da settore basale.



Figura 3-21 - Ripresa satellitare dell'Area 4 (anno 2003).

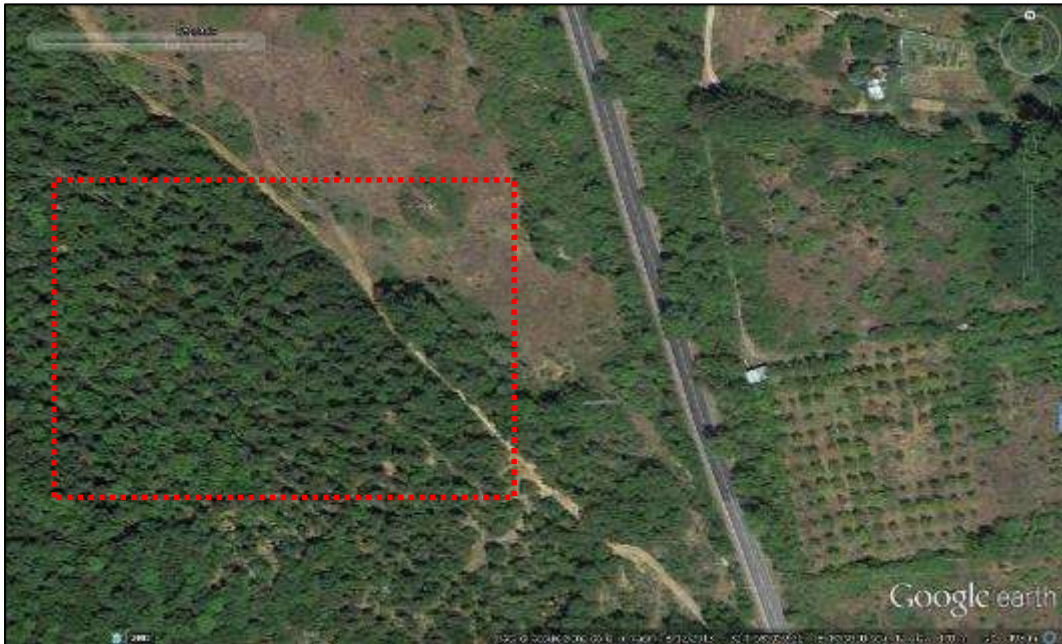


Figura 3-22 - Ripresa satellitare dell'Area 4 (anno 2013).

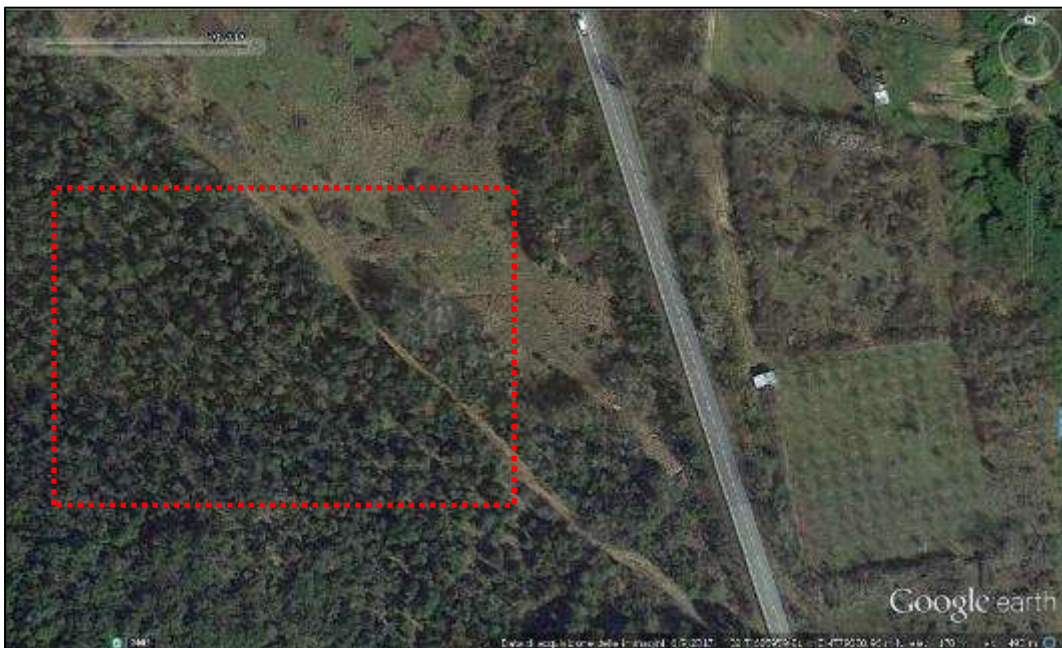


Figura 3-23 - Ripresa satellitare dell'Area 4 (anno 2019).

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è situata nella Toscana sud-occidentale; è caratterizzata da rilievi pedo-appenninici costituiti dalle formazioni del Basamento Metamorfico della Serie Toscana e dalle Unità Liguridi di copertura.

L'area è estremamente complessa sia per la grande varietà di rocce e terreni presenti che per lo stato di minuta frammentazione tettonica a cui è stata sottoposta: inquadrandola nel contesto geologico regionale si individuano (vedasi Figura 4-1):

- a) una dorsale di forma arcuata, convessa ad oriente, lungo la direttrice Rosia–Monticiano–Roccastrada–Montepescali, discontinua all'altezza di Civitella–Paganico, formata prevalentemente dalla formazione del Verrucano (appartenente al basamento metamorfico) e da soprastanti lenti di Calcare Cavernoso (appartenente alla Serie Toscana);
- b) due fasce laterali alla dorsale, costituite prevalentemente da due gruppi stratigrafici principali:
 - b1) un gruppo calcareo-arenaceo-marnoso-argilloso, spesso con masse ofiolitiche immerse (“Complesso Flyschioide Ofiolitifero alloctono”, Unità Liguridi interne);
 - b2) un gruppo neogenico, comprendente argille, sabbie gialle, ghiaie, conglomerati, gessi.

Dal punto di vista stratigrafico, le Formazioni affioranti nell'area interessata dal progetto sono situate al di sopra del basamento paleozoico e appartengono ai seguenti complessi, in ordine di sovrapposizione:

- Unità di Monticiano-Roccastrada;
- Unità della “Falda toscana”;
- Unità Liguri alloctone s.l.;
- Complesso Neoautoctono;
- Alluvioni recenti ed attuali.

I rapporti geometrici tra le unità tettoniche presenti nell'area in esame sono la risultante di movimenti verificatisi in regimi tettonici diversi, che hanno portato, in fasi successive, all'attuale assetto strutturale. In quest'area sono riconoscibili, infatti, due stili tettonici principali: il primo, legato alle fasi tectogenetiche del corrugamento appenninico, è caratterizzato da movimenti orizzontali in regime di compressione, mentre durante il secondo si verificano dislocazioni prevalentemente verticali in regime di distensione.

Per le prime tre unità (Unità di Monticiano-Roccastrada, Unità della “Falda toscana” e Unità liguri alloctone s.l.), la posizione geometrica relativa viene attribuita a fenomeni di tettonica faldista. Tali fenomeni si erano già impostati nel Cretaceo superiore, ma è stato nel Miocene inferiore che alcune unità “liguri”, depositate in un bacino compreso tra l'attuale Corsica e la Liguria, a basamento oceanico, sono state abdotte su bacini a basamento continentale (Serie Toscana), interrompendone la sedimentazione e provocando un infaldamento di parte dei terreni di questi ultimi (Falda Toscana).

Questi grandi fenomeni tettonici hanno comportato intense deformazioni plastiche nei terreni coinvolti, che si sono manifestate in pieghe di varia dimensione vergenti verso NE e in numerose faglie e fratture, anche di notevole sviluppo, disposte generalmente in senso normale (NW-SE) e in senso parallelo (SW-NE) alla vergenza.

RELAZIONE GEOLOGICA

Le Formazioni metamorfiche dell'Unità di *Monticiano-Roccastrada*, appartenenti all' *Unità di Massa* definita da Rau e Tongiorgi (1974), si sarebbero sovrapposte al basamento paleozoico autoctono della Toscana meridionale, che in affioramento è rappresentato dall'*Unità di Boccheggiano* (Burgassi et Alii, 1979), affiorante a Ovest del Comune di Monticiano. Questa unità alloctona corrisponderebbe ad una grande anticlinale coricata Est-vergente, totalmente sradicata dalla sua area di provenienza.

Sopra di essa è sovrascorsa l'Unità della "*Falda Toscana*" formata dagli stessi terreni (dal Calcare Cavernoso alle sequenze torbiditiche del Macigno). Sopra la *Falda Toscana* stessa (o *Serie Toscana non metamorfica*) erano già state impilate, in una fase di poco precedente, le *Unità Liguri s.l.*

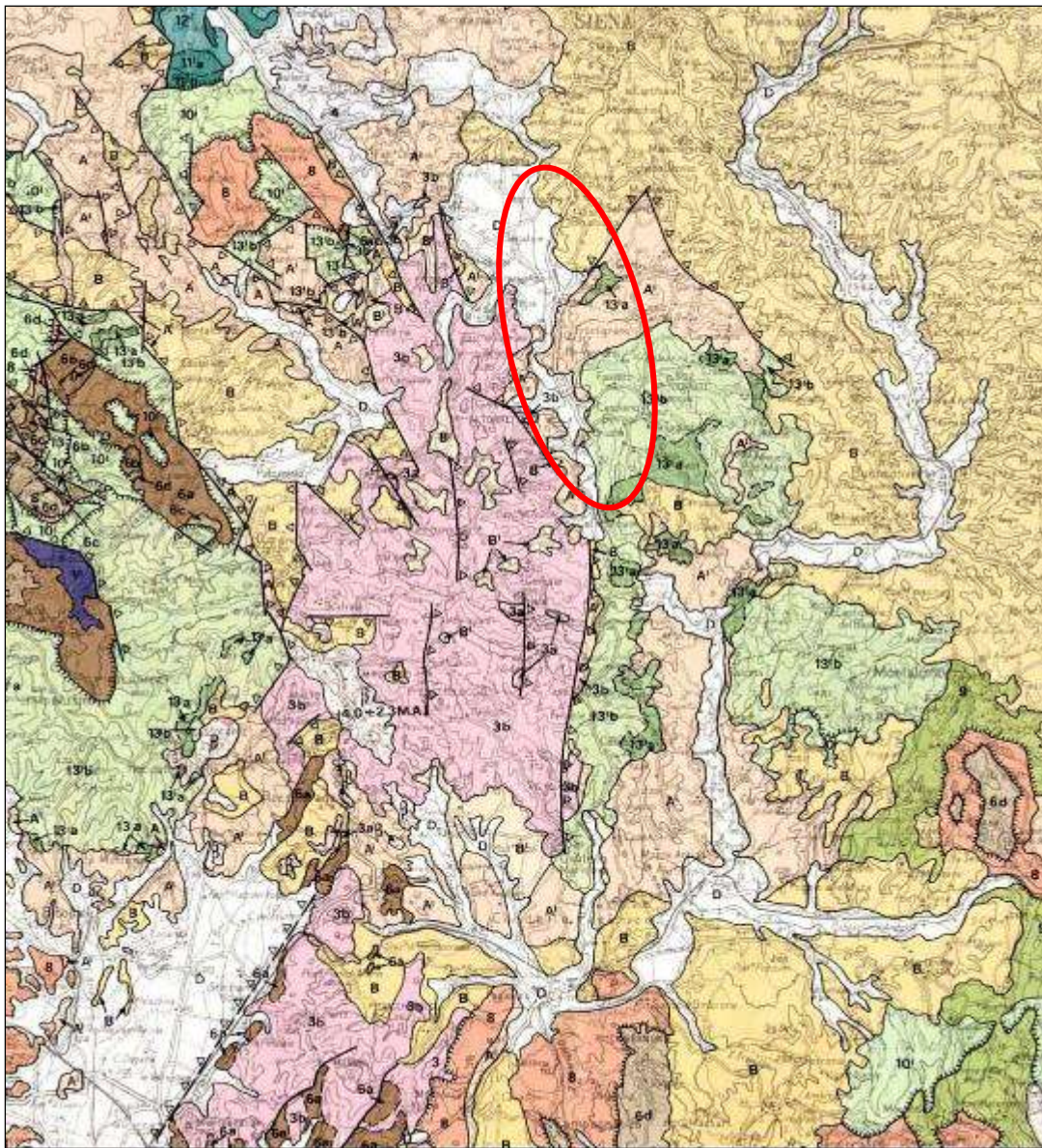


Figura 4-1 - Stralcio della Carta Strutturale dell'Appennino settentrionale (tratta da CNR).

Al secondo stile tettonico citato è riferibile la formazione dei bacini neoautoctoni; il quadro tettonico è caratterizzato da dislocazioni a carattere rigido distensivo a componente verticale, attribuibili alle fasi tardo-orogenetiche, successive al corrugamento della Catena Appenninica. E' in questa fase distensiva che si ha la formazione di alti e bassi strutturali (bacini), separati da faglie dirette ad andamento appenninico NNW-SSE, spesso interrotte da altre faglie ad andamento antiappenninico WSW-ENE.

Nelle aree strutturalmente più depresse si formano, in un primo momento (Miocene superiore), bacini lacustri e successivamente, con l'accentuarsi degli sprofondamenti a partire dalla trasgressione del Pliocene, bacini lagunari e marini nei quali si accumulano sedimenti prevalentemente clastici del *Complesso Neoautoctono*.

Il generale sollevamento si ha nel Pleistocene, con movimenti verticali di alcune centinaia di metri. Le *Alluvioni recenti ed attuali* si sono disposte indifferentemente al di sopra di tutti i terreni precedenti.

4.1 ASSETTO STRUTTURALE E LINEAMENTI TETTONICI PREVALENTI

Gli studi a carattere geologico-strutturale (Costantini et Alii, 1988) hanno permesso di ricostruire i vari eventi deformativi che hanno interessato i sedimenti paleozoico-triassici. Ne risulta una storia polifasata con diversi periodi di deformazione compressiva di cui tre di età prealpina e tre di età alpina.

L'evento deformativo più antico è inquadrabile tra il Devoniano inferiore (età della Formazione del Torrente Risanguigno), ed il Carbonifero inferiore (presumibile età della Formazione delle arenarie di Poggio al Carpino).

Il secondo evento è rappresentato da un clivaggio di frattura con piani immergenti ad Est con inclinazione maggiore della stratificazione nelle arenarie e da un clivaggio ardesiaco nelle rocce siltitico-argillitiche. Tale evento non è invece stato riconosciuto nelle Formazioni sovrastanti, di età successiva al Viséano superiore; è dunque probabile che esso abbia un'età corrispondente alla fase compressiva sudetica dell'orogenesi ercinica.

I rapporti tra il Gruppo del Verrucano e le sottostanti Formazioni paleozoiche, caratterizzati da una discordanza angolare, permettono di riconoscere una terza fase di corrugamento la cui età è posteriore al Carbonifero medio (fine della sedimentazione delle Formazioni paleozoiche) e anteriore al Trias inferiore (inizio della sedimentazione del Gruppo del Verrucano): è quindi molto probabile un suo riferimento cronologico alla fase deformativa asturica. Date le caratteristiche sedimentologiche dei depositi paleozoici, che indicano un ambiente sedimentario marino, possiamo dedurre che la fase asturica abbia coinciso con un'emersione successiva alla loro deposizione.

Il primo evento deformativo alpino è caratterizzato da un clivaggio di piano assiale che si sovrappone al clivaggio dovuto al secondo evento prealpino deformandone in pieghe i piani di frattura. Questo è ben osservabile anche nelle Formazioni del Gruppo del Verrucano che hanno vergenza verso Est e direzione grossomodo N-S. Tali strutture sono a loro volta deformate da pieghe asimmetriche, con uguale vergenza e direzione, associate ad un clivaggio spaziato

immergente verso Ovest, che interessano anche la superficie di sovrascorrimento che divide le due sotto unità. Esse sarebbero dovute ad una quinta fase deformativa (secondo evento alpino) a cui andrebbero ricondotte le grandi strutture a pieghe rilevabili alla scala della carta nella sotto unità esterna. Il clivaggio associato a questa fase costituisce la superficie più evidente osservabile in campagna.

L'intensità di queste ultime due fasi deformative sembra decrescere dall'interno verso l'esterno; infatti, le pieghe isoclinali riferibili alla prima fase deformativa alpina non sono documentate nella sotto unità esterna.

Un ultimo evento deformativo, in ordine cronologico, si manifesta con un sistema di pieghe che si sviluppa grossomodo secondo la direzione W-E, con assi che hanno valori d'inclinazione molto bassi; esso si sovrappone a quelli precedentemente descritti generando variazioni di immersione nelle pieghe orientate N-S.

Le ultime tre fasi deformative descritte, pur essendo genericamente riferibili all'orogenesi alpina, non vengono inquadrare dagli autori in intervalli cronologici ben precisi. Si osserva tuttavia come il quadro della deformazione alpina presenti alcune analogie con quello descritto da Carmignani e Giglia (1979, 1984) nelle Alpi Apuane, in cui un primo evento caratterizzato da pieghe isoclinali e sovrascorrimenti è seguito da un secondo in cui si formano pieghe coassiali asimmetriche.

Analogie sono rilevabili anche con quanto descritto da Boccaletti et Alii (1981) a proposito delle fasi compressive responsabili dell'orogenesi appenninica. Secondo tali autori a partire dal Cretaceo superiore si ha la chiusura dell'Oceano Tetidico cui segue la fase tetto-genetica che si esplica in due stadi successivi. Durante il primo stadio (stadio oceanico) si ha la deposizione di sedimenti di mare profondo a cui si associano rocce vulcaniche basiche (Ofioliti). Questa fase è stata associata alla subduzione di litosfera oceanica. Questo evento compressivo conduce progressivamente alla chiusura del bacino ligure. A questo vengono comunemente associati piegamenti e sovrascorrimenti che interessano i sedimenti depositi sino al Cretaceo-Oligocene a costituire l'Unità tettonica delle 'Liguridi'. L'evento compressivo si conclude nell'Eocene medio con la collisione continentale tra il margine europeo (Massiccio sardo-corso) e quello africano (placca adriatica).

Dopo questo momento inizia il secondo stadio, detto "ensialico" poiché caratterizzato da una tetto-genesi che interessa esclusivamente la crosta continentale, durante il quale nasce e si sviluppa la catena appenninica. La collisione continentale conduce alla "sovrapposizione di più unità tettoniche che hanno costituiscono una serie di cunei listrici embriciati e vergenti verso Est" (Boccaletti et Alii, 1981). Questa fase compressiva è stata attribuita all'Oligocene superiore-Miocene inferiore.

Alla luce di queste affermazioni riferite ad un generico Appennino centro-settentrionale, possiamo dedurre che le strutture plicative osservabili nella zona di Civitella Paganico-Monticiano-Murlo siano da correlarsi con quelle coeve e con simile vergenza e direzione assiale presenti in molte parti dell'area toscana.

L'attuale assetto delle strutture compressive, legato principalmente alla seconda fase deformativa dell'orogenesi alpina e correlabile con le grandi strutture a pieghe osservabili

nell'area appenninica, risulta influenzato da eventi riconducibili ad uno stile tettonico distensivo che si instaura a partire dal Miocene Inferiore-Medio (Bertini et Alii, 1991). Questo si sarebbe esplicato con lo sviluppo di faglie, principalmente a componente estensionale, che dislocano le strutture precedentemente formatesi, dando origine ad un articolato sistema di fosse tettoniche separate fra loro da alti strutturali. Inizialmente è stato ipotizzato che queste faglie avessero una superficie piana non rotazionale (Giannini e Tongiorgi, 1959; Giannini, 1962; Lazzarotto e Mazzanti, 1965; Mazzanti, 1966; Lazzarotto, 1967; Calamai et Alii, 1970; Costantini et Alii, 1982). Più recentemente è stato suggerito che alcune di queste faglie abbiano geometria listrica (Lavecchia et Alii, 1984; Lavecchia, 1988; Bally et Alii, 1988; Lavecchia e Stoppa, 1989; Bertini et Alii, 1991; Liotta, 1996).

Per quanto concerne l'età di tali eventi distensivi, sono state riconosciute due fasi deformative. La prima si realizza nell'intervallo tra il Miocene medio e il Tortoniano superiore, ed è caratterizzata da faglie dirette a basso angolo. Tale evento distensivo è ritenuto responsabile della formazione della cosiddetta “Serie ridotta”, ovvero della sovrapposizione delle Unità “Liguri” sia sul Gruppo del Verrucano, o addirittura sulle Formazioni paleozoiche, sia sui vari termini della “Falda Toscana” qualora non ci sia stata la loro totale omissione. Esempi di questa sovrapposizione sono osservabili nell'area di studio lungo il bordo orientale, in cui le Argille a Palombini, appartenenti all'Unità ofiolitifera del M. Gottero, vengono a contatto per sovrascorrimento sia con il Calcare Cavernoso della Serie Toscana sia con le Formazioni del Gruppo del Verrucano.

Questa sovrapposizione si realizza su superfici di scorrimento di tipo flat-ramp-flat: si hanno superfici orizzontali (flat) in corrispondenza delle Formazioni poco competenti e superfici inclinate (ramp) in corrispondenza di Formazioni maggiormente competenti (Bettini et Alii, 1991). Questi movimenti si sono verificati dopo la messa in posto delle “Liguridi” sulla “Falda Toscana”.

La seconda fase distensiva si realizza in un intervallo di tempo che va dal Tortoniano superiore al Pliocene superiore, ed è caratterizzata da faglie ad alto angolo che dislocano le strutture formatesi precedentemente. Numerose sono le faglie attribuite a questa fase distensiva presenti nel territorio; sono presenti sia faglie con direzione appenninica (SE-NO), sia con direzione antiappenninica (SO-NE). Ci sono però anche rari esempi di faglie con direzione N-S e di faglie con direzione E-O. Le unità principalmente interessate dalle faglie dirette sono le Formazioni del Gruppo del Verrucano.

4.2 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

Nell'area di interesse progettuale affiorano litologie attribuibili alle Unità sopra descritte (vedi Carta Geologica in scala 1:5.000 - All. T00-GE00-GEO-CG01/2-A e in scala 1:2.000 - All. T00-GE00-GEO-CG02/9-A) che, a partire dal basso verso l'alto, sono:

DOMINIO TOSCANO – UNITA' TOSCANE METAMORFICHE (TRIASICO)

Verrucano (V) - Fa parte del Basamento Metamorfico e costituisce l'unità basale della sequenza. La formazione è rappresentata da rocce che hanno subito un metamorfismo di tipo epizonale. I litotipi in questione si presentano complessivamente tettonizzati. In particolare,

RELAZIONE GEOLOGICA

nell'area è prevalente la facies argilloscistosa più o meno siltitica o arenacea, di colore grigio o rosso-violaceo; vi sono intercalati frequentemente strati o banchi arenacei, quarzarenitici e conglomeratici quarzosi (anageniti) che rappresentano circa il 10-12% dell'ammasso e sono generalmente discontinui. Tra i termini argilloscistosi sono presenti porzioni con netta prevalenza di sericite (scisti sericitici).

L'ammasso è frequentemente attraversato da venature biancastre di quarzo. I litotipi in questione si presentano in condizioni di notevole tettonizzazione.

Nei termini di tipo scistoso (argilloscisti, scisti sericitici) tale stato si estrinseca prevalentemente in una fitta rete di piani di scistosità, variamente orientata, di discontinuità per lo più suturate che, localmente, rendono l'ammasso del tutto destrutturato.

Nei termini più francamente lapidei (arenarie, quarzoareniti, quarziti), si riscontrano discontinuità meno fitte e generalmente aperte o con minore presenza di riempimento. I termini lapidei sono del tutto secondari, complessivamente nell'ammasso, rispetto agli altri, costituendo strati e, talora, banchi di potenza variabile da alcuni decimetri a qualche metro.

I litotipi in esame si presentano generalmente molto alterati in affioramento a causa della fitta rete di discontinuità presente e dello stress tettonico subito.

La formazione è presente molto estesamente lungo tutto il tracciato di progetto.



Figura 4-2 - Affioramento del Verrucano, fortemente alterato, in corrispondenza del taglio stradale di una strada che conduce a P. Trioscio (innesto con E78 alla Pk. 44 circa).

Formazione di Tocchi (FT) – E’ costituita da metasiltiti e filladi grigio-verdi a cui si intercalano livelli carbonatici gialli e grigi dello spessore di una decina di centimetri. Tale associazione litologica costituisce il membro basale della formazione che, oltre ai litotipi ora descritti, si sviluppa, nel suo alto stratigrafico, con brecce ad elementi eterometrici di calcari e dolomie grigi e di argilloscisti grigio-verdi, disposti in maniera caotica ed inglobati in una matrice carbonatica gialla

Lo spessore della formazione è variabile e normalmente non supera alcune decine di metri.

DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA (TRIASICO SUP.)

Calcare cavernoso (CV) - Si sovrappone, con discordanza angolare, al Verrucano e si presenta in frattura fresca con il tipico aspetto sbrecciato. E’ costituito da un accumulo di brecciami calcarei con elementi derivanti in gran parte della formazione anidritica del Trias superiore, ma spesso anche più recenti. Calcari, calcari dolomitici grigio scuro o chiaro, sbrecciati, vacuolari o compatti, talora con gessi, e sacche anche estese e spesse di sabbie silicee giallastre e biancastre. La deposizione di tale formazione è generalmente attribuita al Trias superiore (Norico-Retico).



Figura 4-3 - Affioramento del Calcere cavernoso (CV) in corrispondenza del taglio eseguito per la realizzazione di un piazzale prossimo alla Pk. 45+700 circa.

DOMINIO LIGURE INTERNO (CRETACICO SUP.-PALEOCENE)

Formazione di Sillano (SIL) – E' costituita prevalentemente da argilliti e argilliti siltose, grigio scure e marroni, spesso manganesifere. A queste sono associate arenarie calcarifere grigio marroni, con alla base controimpronte da corrente e deformazioni da carico, calcari a grana fine di colore nocciola, marne calcaree e calcari marnosi grigi. Gli strati carbonatici presentano di norma spessori tra i 10 e i 30 centimetri.

Per questa formazione si rende problematica una stima dello spessore, non essendo visibile la base; in aree più orientali è comunque valutabile in circa 250 metri.

DOMINIO LIGURE ESTERNO (GIURASSICO SUP. – CRETACICO INF.)

Queste unità, che facevano in origine parte del Dominio ligure, sono tettonicamente accavallate sulle Formazioni dei Domini austro-alpino e toscano. Le Formazioni “liguri” rinvenute nell’area sono quelle provenienti dalla zona ligure interna, appartenenti cioè alla Unità ofiolitifera del M. Gottero. Questa costituisce un lembo di crosta oceanica formatasi nell’oceano ligure-piemontese durante la fase di apertura (Giurassico superiore) e quindi corrugata e traslata sul margine europeo durante la fase di chiusura (Cretaceo-Eocene medio). Nell’area di studio, l’Unità ofiolitifera del M. Gottero si trova sovrapposta, con contatto tettonico, alle Unità della “Falda Toscana” e di “Monticiano-Roccastrada”.

Argille a Palombini (Pb) - Questa formazione è costituita da una alternanza di strati di argilloscisti, di colore grigio scuro, con patine varicolori e strati generalmente di medio spessore, di calcari silicei di colore grigio scuro, a grana finissima noti nella letteratura geologica con il nome di “Palombini”. Subordinatamente si possono ritrovare sottili intercalazioni di arenarie quarzose di colore grigio scuro. L’intenso stato di tettonizzazione impedisce di valutare lo spessore stratigrafico di questa formazione, la cui età viene generalmente attribuita al Cretaceo inferiore.



Figura 4-4 - Affioramento di strati fortemente inclinati osservabili sull'alveo del Fosso Ornate.

CICLO STRATIGRAFICO DEL MIOCENE

Formazione di Cerreto a Merse, breccie di Grotti (CM) - La Breccia di Grotti è costituita da breccie e conglomerati, localmente stratificati in modo grossolano, ad elementi di dimensioni variabili da 2 a 30 centimetri provenienti per la maggior parte dalla Formazione anidritica di Burano-Calcare cavernoso; subordinatamente, in corrispondenza delle aree più prossime alla Dorsale Medio Toscana, si rinvencono clasti di anageniti e quarziti riferibili alle formazioni del Gruppo del Verrucano, nonché calcari delle unità toscane e liguri. Intercalati alla breccia sono individuabili blocchi di calcare cavernoso di dimensioni metriche, non cartografabili alla scala della carta. La matrice è costituita da sabbie e sabbie limose calcaree di colore giallo-arancio o rosso ruggine per processi pedogenetici. La quantità di matrice è molto variabile all'interno della formazione: laddove è abbondante (di norma in prossimità del contatto con le argille lacustri) la Breccia di Grotti ha una organizzazione matrice-sostenuta; sono osservabili, in questo caso, strutture sedimentarie trattive come laminazioni piano parallele e incrociate concave.

Lo spessore massimo della Breccia di Grotti è di circa 180 metri. In considerazione delle sue facies sedimentarie, la formazione è da riferire ad un ambiente continentale, da alluvionale subaereo a lacustre subacqueo.



Figura 4-5 - Affioramento della Formazione delle Breccie di Grotti (CM) presso la Pk. 43+900 circa.

CICLO STRATIGRAFICO DEL PLIOCENE

Argille azzurre (Pa) - Si tratta essenzialmente di argille più o meno marnose e argille siltose, di aspetto in genere massiccio e di colore grigio-turchino al taglio fresco, grigio chiaro-giallo pallido in superficie alterata.

Sabbie e sabbie argillose (Ps) - Si tratta di sabbie gialle, generalmente grossolane, talvolta classate, ma più spesso con abbondante frazione limosa o argillosa. Generalmente sono molto compatte, tanto che possono presentare anche scarpate verticali. La stratificazione non è sempre visibile, in alcuni casi è possibile osservare una laminazione incrociata; talvolta sono presenti livelli con accumuli di macrofossili ed intercalazioni limose ed argillose. Le Sabbie prevalenti sono probabilmente da riferirsi ai sedimenti marini depositatisi all'interno del Bacino di Siena nel Pliocene inferiore.

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi fluvio-lacustri (dl) - La natura dei depositi è fortemente condizionata dai litotipi affioranti sulle sponde del lago antico e si tratta essenzialmente di sedimenti limoso-argillosi che contengono rari ciottoli calcarei.

Lo spessore di questi depositi è, comunque, ipotizzabile in almeno 50 metri.

Alluvioni fluviali antiche terrazzate (at1 at2 at3) - I sedimenti dei depositi alluvionali terrazzati antichi si possono ritrovare a varie altezze rispetto ai corsi d'acqua attuali, si va da un minimo di 5-20 m ad un massimo che supera i 100 m. Queste diverse quote dei terrazzi antichi sono dovute sia alla diversa età del deposito alluvionale, sia al diverso tipo di corso d'acqua che ha dato origine al deposito. La maggior parte dei corsi d'acqua secondari, infatti, dato l'assetto orografico della dorsale, hanno avuto in passato un comportamento prevalentemente erosivo, quindi la quota del loro alveo nel tempo si è abbassata notevolmente. I corsi d'acqua principali, come il Fiume Merse, hanno invece costituito delle pianure alluvionali più o meno estese, dove la differenza di quota tra le alluvioni antiche, quelle recenti e quelle attuali è minima.

Nel complesso, si tratta di depositi prevalentemente psammitici e subordinatamente pefitici, formati da sabbie con intercalazioni di ghiaietto, ghiaie e ciottoli con elementi eterometrici (fino a 30-40 cm di diametro) ed eterogenei (di natura prevalentemente anagenitica e quarzifica, subordinatamente calcarea), frutto del disfacimento dei litotipi affioranti precedentemente descritti. Sono inoltre presenti livelli pelitici, sia argillosi che limosi. Gli strati mostrano una spiccata variabilità laterale: spesso sono delle lenti, mentre a volte uno stesso strato si interdigita con altri, come frequente in depositi di questa natura. Lo spessore di questi sedimenti è variabile, aumentando normalmente verso valle.

Alluvioni fluviali recenti terrazzate (at) - Sono generalmente costituite da sabbie e ciottoli eterometrici di natura eterogenea, con subordinati limi. I caratteri litologici sono controllati fortemente dalle caratteristiche dei terreni costituenti il proprio bacino imbrifero

Cumuli di frana (F) - I cumuli di frana sono formati da depositi grossolani, con la locale presenza di massi frammisti a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa.

Alluvioni fluviali attuali (a) - Sono presenti, con estensioni variabili, lungo i principali corsi d’acqua, ossia lungo il F. Merse e lungo il T. Farma. Sono costituiti da percentuali variabili di argilla, limo, sabbia e ciottoli, con prevalenza dei livelli psammitici. La stratificazione, raramente visibile, è irregolare, con frequenti eteropie tra i vari livelli. Lo spessore della copertura alluvionale è solitamente maggiore vicino al corso d’acqua e si assottiglia, annullandosi alle estremità. Questa formazione pertanto giace sempre con contatto a franapoggio (più inclinato del pendio) sui terreni su cui si imposta.

Detrito di falda (DT) - Sono presenti coperture detritiche (talvolta estese) costituite da materiale incoerente di varia natura, derivante dall’alterazione e dall’erosione dei terreni affioranti o dall’accumulo di masse rocciose movimentate per frana. I Detriti vanno pertanto a sovrapporsi indifferentemente a tutte le Formazioni precedentemente descritte, con l’eccezione dei Depositi alluvionali attuali (a) e talvolta dei Depositi alluvionali terrazzati recenti ed antichi (AT). I detriti comprendono, quindi, gli accumuli di frana, le falde detritiche vere e proprie e le zone in cui è presente comunque una copertura incoerente, forse di origine colluviale o eluviale.

5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Il tipo di permeabilità dei terreni descritti nel precedente capitolo sono essenzialmente suddivisibili in due tipi: i terreni sciolti e non cementati (quali i sedimenti mio-pliocenici e recenti) possiedono una permeabilità primaria o interstiziale che dipende essenzialmente dalla porosità, quindi dalla granulometria, e compattezza del deposito, mentre i terreni lapidei, i livelli diagenizzati delle sabbie e delle argille e/o i livelli cementati dei conglomerati, possiedono una permeabilità di tipo secondario, a luoghi per dissoluzione dei termini carbonatici, dovuta essenzialmente alla fratturazione e alla comunicazione dei sistemi di fratture.

Anche se all'interno delle varie Formazioni sono presenti litotipi a composizione e granulometria differente, si possono fare dei raggruppamenti basati sul litotipo prevalente, sul grado di cementazione o di fratturazione e sul tipo di permeabilità.

Un comportamento idrogeologico del tutto particolare è attribuibile alle unità flyschoidi (Argille a Palombini-Flysch di Sillano) che sono caratterizzate da permeabilità di tipo misto, primario nei termini terrigeni e secondario nei livelli litoidi.

In forma schematica per tutte le tipologie di permeabilità descritte è possibile eseguire una prima distinzione sulla base del grado di permeabilità, come di seguito indicato e come riportato nella Carta Idrogeologica allegata (All. T00-GE00-GEO-CI01-A ÷ T00-GE00-GEO-CI07-A):

- **Terreni a media permeabilità primaria:** rientrano in questa categoria le sabbie plioceniche (Ps), le alluvioni attuali, recenti e antiche terrazzate (at-at1-at2-at3-a), i cumuli di frana ed i detriti di falda. Il coefficiente di permeabilità assume valori che vanno da 10^2 a 10^{-5} cm/sec. Generalmente questi depositi presentano una permeabilità complessivamente media sia per la loro natura granulare che per il loro scarso stato di addensamento, nonché per la presenza in genere di matrice fine che riduce la permeabilità primaria.
- **Terreni a bassa permeabilità primaria:** comprendono le argille plioceniche (Pa), i depositi lacustri (dl) ed i riporti (R). I valori del coefficiente di permeabilità sono inferiori a 10^{-5} cm/sec.
- **Terreni ad elevata permeabilità primaria e per dissoluzione:** rappresentati dall'unità delle Brecce di Grotti –Formazione di Cerreto Merse (CM) con valori del coefficiente di permeabilità pari con valori da 10^2 a 10^{-2} cm/sec.
- **Terreni a bassa permeabilità mista:** sono compresi in questa categoria le Argille a Palombini (Pb) e la Formazione di Sillano (SIL), formazioni in cui si alternano livelli litoidi fratturati ad elevata permeabilità ($k= 10^2$ a 10^{-1} cm/sec) a livelli pelitici con bassa permeabilità (10^{-5} - 10^{-6} cm/sec). 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

RELAZIONE GEOLOGICA

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.

- **Terreni ad elevata permeabilità secondaria e per dissoluzione:** rappresentati dai Calcari cavernosi e carsificabili (CV) con valori del coefficiente di permeabilità compreso tra 10^2 a 10 cm/sec. Generalmente la presenza abbondante e diffusa di pori o cavità (da cui il termine “Cavernoso”) più o meno comunicanti, di reticoli fessurativi localizzati o diffusi e di condotti ramificati più o meno ampi dovuti al fenomeno carsico, determinano condizioni di elevata permeabilità.
- **Terreni a permeabilità mista a grado molto basso:** sono compresi in questa classe la formazione del Verrucano (V) e la Formazione di Tocchi (FT). Queste formazioni sono costituite da rocce metamorfiche di tipo prevalentemente scistoso (argiloscisti e scisti sericitici) che per la loro struttura e tessitura possono considerarsi poco o per nulla permeabili; tuttavia, laddove interessate dalla tettonica distensiva, possono contenere reticoli fessurativi beanti che determinano un incremento locale della permeabilità, specialmente dove, nell'ammasso, sono presenti interstrati di quarzareniti e quarziti, in alcuni casi spessi parecchi metri, che presentano localmente densa fratturazione.

5.1 ASSETTO IDROGEOLOGICO ED ANDAMENTO DELLE CIRCOLAZIONI IDRICHE SOTTERRANEE

Per quanto concerne la possibilità di circolazione idrica e di presenza di falde idriche all'interno delle formazioni suddette possono essere fatte le seguenti osservazioni preliminari.

Nel Verrucano appaiono scarse le possibilità di circolazione idrica, limitata solo alle porzioni fratturate, in particolare agli interstrati quarziticci e quarzarenitici, in cui possono instaurarsi piccole falde, anche in pressione.

Nell'ambito del Calcare Cavernoso” la circolazione idrica è molto sviluppata e costituisce falde di base delle strutture carbonatiche che alimentano le sorgenti poste ai loro confini, con portate costanti e talora elevate.

Per quel che riguarda i Argille a Palombini ed il Flysch di Sillano, le possibilità di circolazione idrica sono limitate alle porzioni litoidi fratturate nelle quali possono essere presenti falde discontinue di modesta estensione in grado di alimentare piccole, pur se localmente numerose, sorgenti a regime irregolare. In questa unità si segnala la presenza di falde in pressione, contenute

nei livelli più permeabili della formazione e che mostrano forti risalite che in alcuni casi raggiungono il piano campagna (vedi area del viadotto sul fiume Ornate).

Nell’ambito dei Depositi Neogenici si osserva che nei sedimenti più marcatamente granulari è presente una discreta circolazione idrica, ma le potenzialità della stessa sono limitate a causa sia della discontinuità che della limitata estensione di tali affioramenti (sabbie e sabbie limose marine plioceniche).

Nelle coltri detritiche di maggiore spessore possono instaurarsi acquiferi epidermici che alimentano piccole sorgenti per lo più a regime intermittente. Nell’ambito della piana alluvionale del F. Merse sono presenti falde idriche di una certa potenzialità, circolanti preferenzialmente nelle porzioni granulometricamente più grossolane.

Il maggiore acquifero è rappresentato dalle Breccie di Grotti che costituisce uno dei maggiori acquiferi della Toscana Meridionale (secondo, per risorsa idrica, solo a quello del M. Amiata). Tale acquifero, da cui trae la maggior parte dell’approvvigionamento idropotabile la città di Siena, è denominato Acquifero del M. Maggio-Montagnola Senese ed occupa un territorio molto vasto.

L’aquiclude dell’acquifero è costituito dalle rocce metamorfiche del Dominio toscano (Gruppo carbonatico-argilloso-siliceo della Montagnola Senese).

Lateralmente, esso è confinato dalle formazioni di bassa permeabilità relativa rappresentate dalle rocce del gruppo del Verrucano, delle unità liguri e dai depositi sabbioso-argillosi miocenici e pliocenici.

Solamente lungo il margine nord dell’affioramento della Breccia di Grotti (al di fuori del corridoio di studio) esiste un probabile limite idraulicamente aperto verso i calcari lacustri di Pian del Casone (Monteriggioni). Tale acquifero contiene una rilevante falda di base che satura il complesso carbonatico almeno fino alla quota di 185÷190 m s.l.m. e che è caratterizzata da una notevole stabilità della relativa superficie piezometrica nel corso del periodo indagato, pur in presenza di periodi con forti differenze di apporto meteorico e di prelievo dell’acqua sotterranea per i vari usi, denotandone così l’importante potenzialità idrica. La falda presenta una zona di alto piezometrico, con valori sui 195÷200 m s.l.m., nel settore ubicato ad ovest di S. Colomba che contrassegna la zona di M. Maggio come la principale area di ricarica idrica dell’acquifero; a partire da questa zona, le acque sotterranee defluiscono radialmente nelle varie direzioni (ad esclusione di quella SW che è limitata dalla faglia a cui è dovuta la brusca risalita di quota del substrato carbonatico-argilloso-siliceo di bassa permeabilità), in particolare verso il bacino dell’Elsa e verso quello del Merse.

L’alto piezometrico appare legato (almeno in parte) alla particolare struttura morfologica delle formazioni del substrato.

Gli unici dati reperibili riguardo la trasmissività dell’acquifero sono contraddittori solo in apparenza (pari a circa $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s nella zona dell’ex-aeroporto di Pian del Lago ed a $2 \div 3 \cdot 10^{-2}$ m²/s nella zona del Luco); infatti, in questo tipo di acquiferi, la distribuzione spaziale della porosità e della permeabilità è molto variabile da un settore all’altro, pur rimanendo questi quasi sempre assai favorevoli allo sfruttamento idrico dell’acquifero tramite pozzi. Comunque sia, una valutazione attendibile dei principali parametri idrodinamici in una zona qualsiasi dell’acquifero non può prescindere dalla locale perforazione di pozzi pilota ed esecuzione di adeguate prove di

pompaggio e/o con traccianti (ed anche in tal modo permarrà un certo grado di incertezza causata dalla presenza di un mezzo talvolta discontinuo).

L'analisi dei principali parametri fisico-chimici dell'acqua di falda indica che l'alimentazione dell'acquifero è dovuta alle sole precipitazioni e conferma che le principali linee di flusso si originano nel settore centrale e si allontanano all'incirca in senso radiale dal massiccio carbonatico di M. Maggio, arricchendosi via via di sali; la conducibilità elettrica si presenta con valori dell'ordine 450÷550 microS/cm (e quindi con una salinità pari a circa 300÷400 mg/l) nel settore centrale dell'affioramento della Breccia di Grotti e tende ad aumentare in modo radiale raggiungendo i 700 microS/cm (circa 500 mg/l) nella zona di Pian del Lago ed i 1100 microS/cm (circa 750 mg/l) nelle estremità NE e N. La durezza varia dai 28÷35 °F nella zona centrale ed aumenta radialmente fino ai 45 °F del Luco ed ai 45÷55 °F ai confini settentrionali dell'affioramento.

5.2 PUNTI D'ACQUA CENSITI

Nel territorio esaminato sono presenti pozzi pubblici e privati, le cui ubicazioni sono state riportate nella Carta Idrogeologica allegata (T00-GE00-GEO-CI01-A ÷ T00-GE00-GEO-CI07-A)

Il punto d'acqua maggiormente sensibile più vicino alla strada in progetto è il pozzo idropotabile “il Picchetto”, ubicato nel comune di Monticiano nell'omonima località, gestito dall'acquedotto del Fiora.

Nella Figura 5-1 si ripota la schermata scaricata dal sito dell'ARPAT (interrogazione pozzo idropotabile “il Picchetto” <http://sira.arpad.toscana.it/sira/progetti/captazioni/mappa/map.php>) che ne ripota le precise coordinate metriche, mentre nella Figura 5-2 è visibile uno stralcio della Carta di vulnerabilità degli acquiferi, edita dal Piano Strutturale del Comune di Monticiano, in cui oltre all'ubicazione del punto d'acqua è indicata la relativa zona di rispetto sono graficizzate le linee isopiezometriche relative alla falda più profonda, contenuta nelle Brecce di Grotti.

RELAZIONE GEOLOGICA

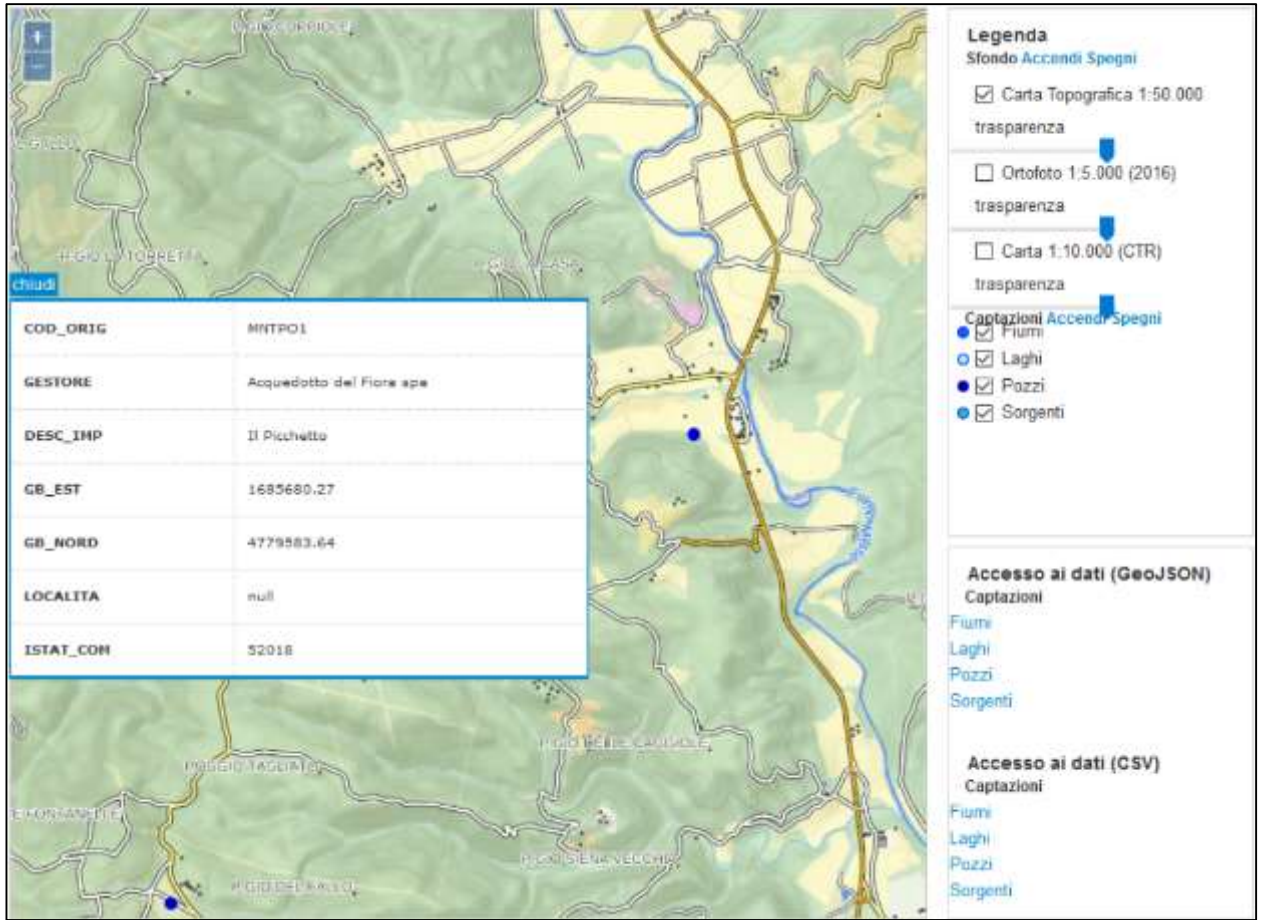


Figura 5-1 - Interrogazione Pozzo idropotabile “il Picchetto” (da: <http://sira.arpat.toscana.it/sira/progetti/captazioni/mappa/map.php>).

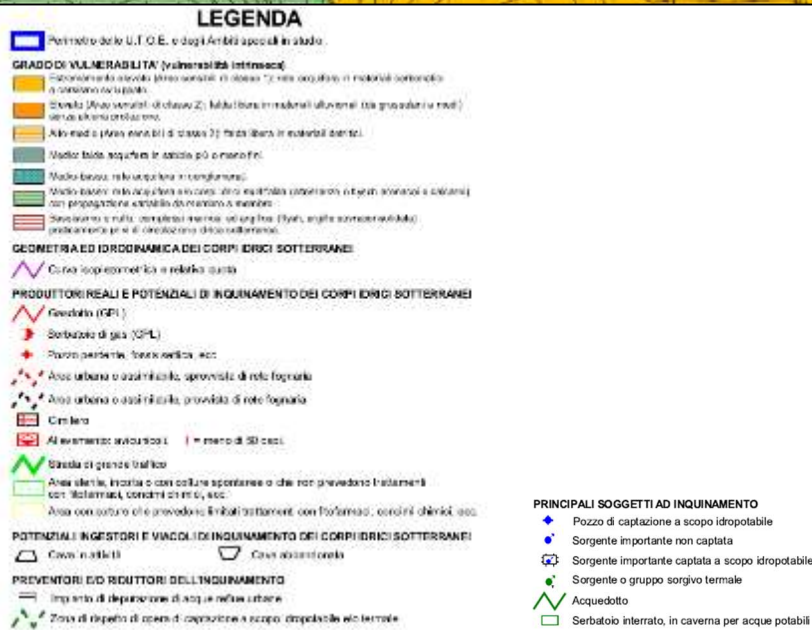
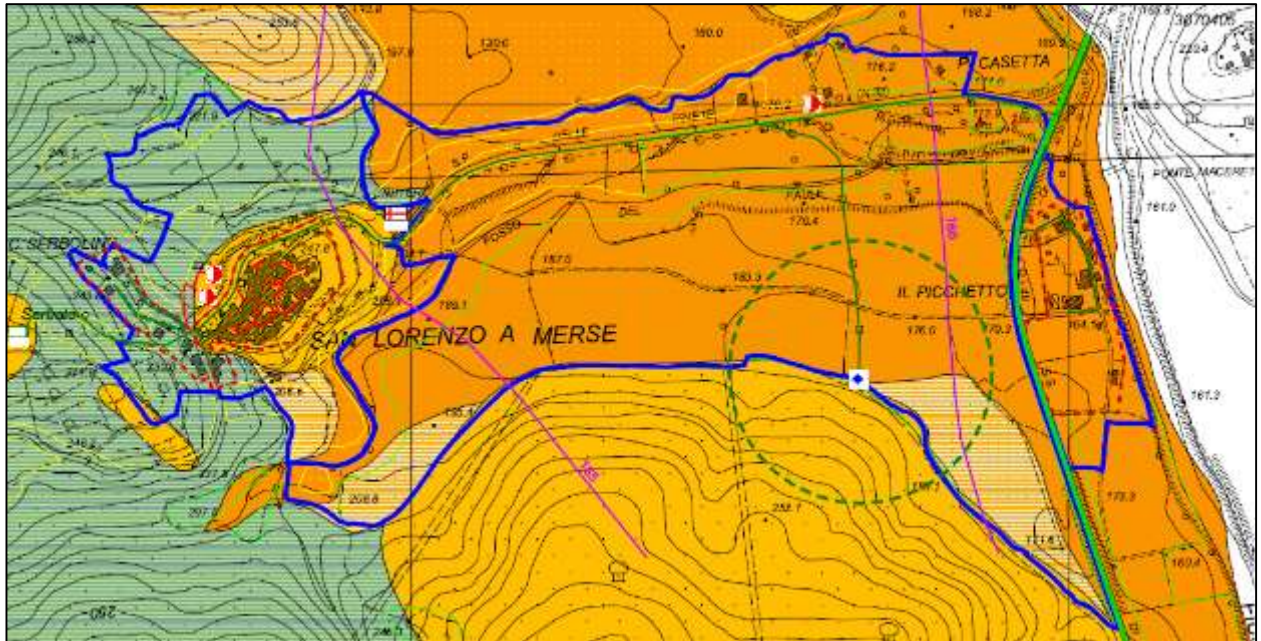


Figura 5-2 - Stralcio della Carta di vulnerabilità degli acquiferi edita dal Comune di Monticiano (PS-PRG) con ubicazione del Pozzo idropotabile “il Picchetto”, la relativa zona di rispetto e linee isopiezometriche della falda più profonda contenuta nelle Breccie di Grotti.

RELAZIONE GEOLOGICA

Nelle figure seguenti si riportano i risultati della consultazione dei pozzi esistenti nell’ambito del corridoio di studio (Figura 5-3 - Figura 5-4), reperibili mediante il visualizzatore realizzato da ISPRA e SNPA in cui è riportato l’archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/84).

L’interrogazione dei punti presenti prossimi all’opera in esame ha consentito di valutare le profondità dei pozzi e della falda intercettata, unitamente alla produttività del punto d’acqua (quando disponibile), come schematizzato nella sottostante tabella.

Codice Pozzo (n.)	Quota (m s.l.m.)	Profondità pozzo (m dal p.c.)	Livello statico (m dal p.c.)	Portata emunta (l/sec)
154949	308	160.00	149.00	0.66
154950	210	100.00	49.00	10.00
198000 (il Picchetto)	n.d.	97.00	15.50	3.00
198016	232	80.00	47.00	2.50
198022	195	90.00	n.d.	n.d.
207335	210	45.00	6.00	3.50



Figura 5-3 - Ubicazione pozzi settore meridionale corridoio di studio da Portale ISPRA-SNPA.



Figura 5-4 - Ubicazione pozzi settore settentrionale corridoio di studio da Portale ISPRA-SNPA.

Seguono le schede relative ad ogni singolo punto d’acqua censito; la correlazione eseguita tra i dati idrogeologici pubblicati e quelli reperiti tramite i piezometri installati hanno consentito di ricostruire, ove possibile, l’andamento delle linee isopiezometriche relative alla falda di base contenuta nelle Breccie di Grotti/Calcare cavernoso e alla falda freatica superficiale che si sviluppa nell’ambito dei depositi alluvionali.

RELAZIONE GEOLOGICA

		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale																				
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)																						
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine																				
Codice: 154949 Regione: TOSCANA Provincia: SIENA Comune: MONTICIANO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 160,00 Quota pc slm (m): 308,00 Anno realizzazione: 2004 Numero diametri: 2 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 0,800 Portata esercizio (l/s): 0,600 Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 2 Longitudine WGSS4 (dd): 11,282950 Latitudine WGSS4 (dd): 43,142069 Longitudine WGSS4 (dms): 11° 16' 58.63" E Latitudine WGSS4 (dms): 43° 08' 31.46" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia																						
DIAMETRI PERFORAZIONE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>160,00</td> <td>160,00</td> <td>400</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	0,00	160,00	160,00	400												
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																		
1	0,00	160,00	160,00	400																		
FALDE ACQUIFERE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>142,00</td> <td>144,00</td> <td>2,00</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	1	142,00	144,00	2,00														
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)																			
1	142,00	144,00	2,00																			
POSIZIONE FILTRI																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>142,00</td> <td>160,00</td> <td>18,00</td> <td>ND</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	142,00	160,00	18,00	ND												
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																		
1	142,00	160,00	18,00	ND																		
MISURE PIEZOMETRICHE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data rilevamento</th> <th>Livello statico (m)</th> <th>Livello dinamico (m)</th> <th>Abbassamento (m)</th> <th>Portata (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>apr/2004</td> <td>149,00</td> <td>149,00</td> <td>0,00</td> <td>0,600</td> </tr> </tbody> </table>	Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	apr/2004	149,00	149,00	0,00	0,600												
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)																		
apr/2004	149,00	149,00	0,00	0,600																		
STRATIGRAFIA																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Spessore (m)</th> <th>Età geologica</th> <th>Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td></td> <td>TERRENO VEGETALE</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1,00</td> <td>159,00</td> <td>158,00</td> <td></td> <td>CALCARE CAVERNOSO CON DOLOMIE</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica	1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE	2	1,00	159,00	158,00		CALCARE CAVERNOSO CON DOLOMIE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica																	
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE																	
2	1,00	159,00	158,00		CALCARE CAVERNOSO CON DOLOMIE																	

ISPRA - Copyright 2015

Figura 5-5 - Scheda pozzo codice 154949.

RELAZIONE GEOLOGICA

Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
Codice: 154950 Regione: TOSCANA Provincia: SIENA Comune: MONTICIANO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 100,00 Quota p.c. dm (m): 210,00 Anno realizzazione: 2003 Numero diametri: 0 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 12,000 Portata esercizio (l/s): 10,000 Numero falde: 3 Numero filtri: 2 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 7 Longitudine WGS84 (dd): 11.281561 Latitudine WGS84 (dd): 43.155400 Longitudine WGS84 (dm): 11° 16' 53.63" E Latitudine WGS84 (dm): 43° 09' 19.45" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia					
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
3	85,00	90,00	5,00		
1	28,00	31,00	3,00		
2	47,00	50,00	3,00		
POSIZIONE FILTRI					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	66,40	70,00	3,60	219	
2	72,00	98,00	26,00	219	
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
dic/2003	49,00	49,60	0,60	8,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	4,00	4,00		BRECCE CALCAREE BIANCHE DI ASPETTO PULVERULENTO CON CAVITA' TALVOLTA RIEMPIE DA LITOTIPI ARGILLOSI-LIMOSI (TERRE ROSSE) DERIVANTI DALL'ALTERAZIONE DEL CALCARE CAVERNOSO (FACIES ANDRITICA DEL ...)
2	4,00	43,00	39,00		LITOTIPI ARGILLOSI-LIMOSI (TERRE ROSSE) DERIVANTI DALL'ALTERAZIONE DEL CALCARE CAVERNOSO
3	43,00	82,00	39,00		BRECCE CALCAREE BIANCHE DI ASPETTO PULVERULENTO (FACIES ANDRITICA DEL CALCARE CAVERNOSO) ASCIUTTE FINO A -49 M.P.C., SATURE INFERIORMENTE A -49 M.P.C., ZONA INTENSAMENTE FRATTURATA CON CAVITA' DA ...
4	82,00	83,50	1,50		LITOTIPI ARGILLOSI-LIMOSI (TERRE ROSSE) DERIVANTI DALL'ALTERAZIONE DEL CALCARE CAVERNOSO
5	83,50	92,00	8,50		BRECCE CALCAREE BIANCHE FRATTURATE (FACIES ANDRITICA DEL CALCARE CAVERNOSO) SATURE
6	92,00	93,00	1,00		LITOTIPI ARGILLOSI-LIMOSI (TERRE ROSSE) DERIVANTI DALL'ALTERAZIONE DEL CALCARE CAVERNOSO
7	93,00	100,00	7,00		BRECCE CALCAREE BIANCHE FRATTURATE (FACIES ANDRITICA DEL CALCARE CAVERNOSO) SATURE

ISPRA - Copyright 2018

Figura 5-6 - Scheda pozzo codice 154950.

RELAZIONE GEOLOGICA

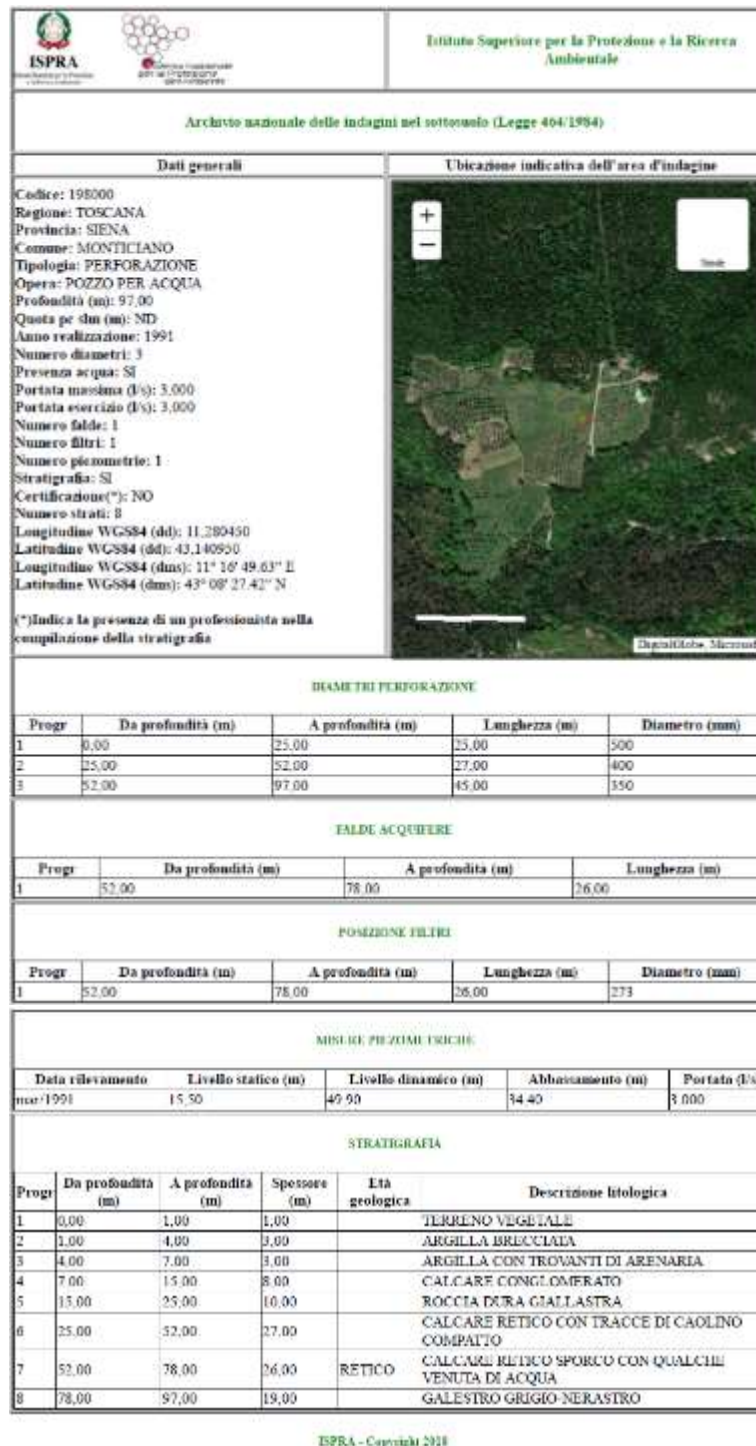





Figura 5-7 - Scheda pozzo codice 198000.

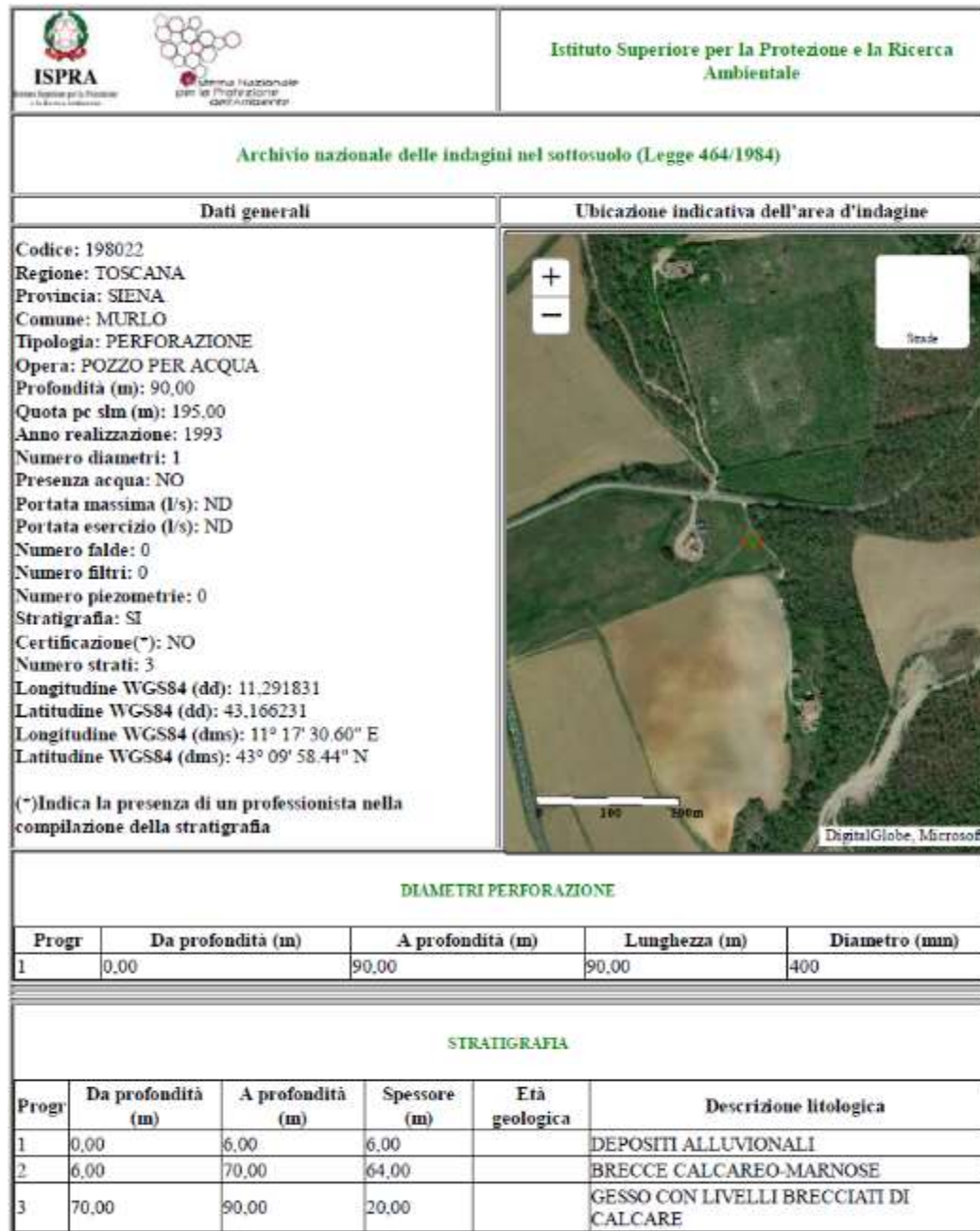
RELAZIONE GEOLOGICA

 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale			
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)					
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
<p>Codice: 198016 Regione: TOSCANA Provincia: SIENA Comune: MURLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 80,00 Quota pc slm (m): 232,00 Anno realizzazione: 2000 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 3,000 Portata esercizio (l/s): 2,500 Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): SI Numero strati: 2 Longitudine WGS84 (dd): 11,289611 Latitudine WGS84 (dd): 43,214011 Longitudine WGS84 (dms): 11° 17' 22.60" E Latitudine WGS84 (dms): 43° 12' 50.45" N</p> <p>(*Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia)</p>					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	80,00	80,00	300	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	51,00	60,00	9,00		
POSIZIONE FILTRI					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	50,00	70,00	20,00	160	
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
ott/2000	47,00	51,00	4,00	3,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Eta geologica	Descrizione litologica
1	0,00	35,00	35,00		BRECCE CALCAREE ASSAI ALTERATE IN MATRICE SABBIOSA
2	35,00	80,00	45,00		CALCARE DOLOMITICO LOCALMENTE FRATTURATO

ISPRA - Copyright 2011

Figura 5-8 - Scheda pozzo codice 198016.

RELAZIONE GEOLOGICA



ISPRA - Copyright 2018

Figura 5-9 - Scheda pozzo codice 198022.

RELAZIONE GEOLOGICA

		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale																				
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)																						
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine																				
<p>Codice: 207335 Regione: TOSCANA Provincia: SIENA Comune: MURLO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 45,00 Quota pc slm (m): 210,00 Anno realizzazione: 2001 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 4,000 Portata esercizio (l/s): 3,500 Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): SI Numero strati: 2 Longitudine WGS84 (dd): 11,286831 Latitudine WGS84 (dd): 43,207069 Longitudine WGS84 (dms): 11° 17' 12,59" E Latitudine WGS84 (dms): 43° 12' 25,46" N</p> <p>(*Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>																						
DIAMETRI PERFORAZIONE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>45,00</td> <td>45,00</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	0,00	45,00	45,00	300												
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																		
1	0,00	45,00	45,00	300																		
FALDE ACQUIFERE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20,00</td> <td>40,00</td> <td>20,00</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	1	20,00	40,00	20,00														
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)																			
1	20,00	40,00	20,00																			
POSIZIONE FILTRI																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20,00</td> <td>40,00</td> <td>20,00</td> <td>219</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	20,00	40,00	20,00	219												
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)																		
1	20,00	40,00	20,00	219																		
MISURE PIEZOMETRICHE																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data rilevamento</th> <th>Livello statico (m)</th> <th>Livello dinamico (m)</th> <th>Abbassamento (m)</th> <th>Portata (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nov/2001</td> <td>6,00</td> <td>16,00</td> <td>10,00</td> <td>3,500</td> </tr> </tbody> </table>	Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	nov/2001	6,00	16,00	10,00	3,500												
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)																		
nov/2001	6,00	16,00	10,00	3,500																		
STRATIGRAFIA																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Spessore (m)</th> <th>Età geologica</th> <th>Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td></td> <td>LIMI ARGILLOSI ROSSASTRI</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10,00</td> <td>45,00</td> <td>35,00</td> <td></td> <td>BRECCE CALCAREO-DOLOMITICHE</td> </tr> </tbody> </table>	Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica	1	0,00	10,00	10,00		LIMI ARGILLOSI ROSSASTRI	2	10,00	45,00	35,00		BRECCE CALCAREO-DOLOMITICHE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica																	
1	0,00	10,00	10,00		LIMI ARGILLOSI ROSSASTRI																	
2	10,00	45,00	35,00		BRECCE CALCAREO-DOLOMITICHE																	

ISPRA - Copyright 2018

Figura 5-10 - Scheda pozzo codice 207335.

5.3 CIRCOLAZIONI IDRICHE RINVENUTE NEL CORRIDOIO DI PROGETTO

In base ai rilevamenti ed indagini svolte, unitamente alle informazioni ricavate dai dati idrogeologici ufficiali reperiti, è stato ricostruito il possibile andamento delle circolazioni idriche sotterranee che sono state rappresentate graficamente nella Carta Idrogeologica allegata (All. T00-GE00-GEO-CI01-A÷T00-GE00-GEO-CI07-A).

Come visibile nella cartografia indicata, l'interpretazione e la correlazione dei dati idrogeologici puntuali, messi in relazione con l'assetto strutturale ricostruito tra i diversi complessi idrogeologici presenti, ha consentito di riconoscere l'esistenza di n. 3 circuiti idrogeologici principali, di seguito descritti.

Falda freatica superficiale principale: si sviluppa principalmente nelle alluvioni del Fiume Merse e dei suoi affluenti ed ha una continuità laterale con le Brecce di Grotti presenti al bordo dell'ampia vallata. Il livello di base (aquiclude) è costituito dai termini argillosi a bassa permeabilità pliocenici, argillitici flyschiodi e dal Verrucano. Il Fiume Merse ne rappresenta l'asse di drenaggio principale.

Questa falda mostra una piezometrica che varia da un massimo di 180 m s.l.m. circa, situata nella zona più settentrionale del Lotto, ad un minimo pari a circa 150 m s.l.m. presso la confluenza del Merse con il Fosso Ornate.

Falda freatica superficiale secondaria sospesa: si tratta di modeste circolazioni contenute nelle sabbie plio-pleistoceniche riscontrabili presso Podere Rancia (pk. 48+700÷49+100) e sostenute dalle argille plioceniche.

La piezometrica relativa a questa falda assume quote che oscillano tra i 190 ed i 200 m s.l.m..

Falda artesianica profonda: rappresenta, come più volte descritto nei paragrafi precedenti, la falda di maggior interesse idrogeologico dell'area e si sviluppa nei termini carbonatici del Calcarea cavernoso limitati superiormente dai depositi argillitici flyschoidi e/o dalle relative fasce cataclamate a bassa permeabilità. Come conseguenza di questo assetto si segnala la presenza di falde in pressione, contenute nei livelli più permeabili delle formazioni Flyschoidi, che mostrano forti risalite che in alcuni casi raggiungono il piano campagna, come nel caso del viadotto Ornate in cui nel sondaggio SG13 (campagna 2019) è stata intercettata nella formazione delle argille a Palombini, alla profondità di 33 m dal p.c., una falda in pressione confinata in uno strato più calcareo ed arenaceo che è risalita fino al piano campagna. Il fatto che tali falde siano discontinue e localizzate all'interno di singoli strati arenaceo calcarei è confermato dal fatto che il vicino sondaggio SG01DH (campagna 2019) non ha incontrato tale circolazione.

Altre piezometriche relative a queste circolazioni in pressione risalgono fino a 160 m, nella zona di ubicazione del Pozzo “il Picchetto”, e fino a 155 nella zona di confluenza tra il Merse e l'Ornate. Va specificato che nella prima area la risalita avviene da 52 m di profondità (pari a circa 130 m s.l.m.), mentre nella seconda avviene da 48 m di profondità (pari a circa 112 m s.l.m.).

RELAZIONE GEOLOGICA

La campagna di indagine del 2019 ha previsto la realizzazione di un monitoraggio piezometrico mediante l'installazione di tubi aperti e celle di Casagrande sui quali è stata eseguita una lettura nel mese di settembre 2019. Nella campagna di indagine del 2000 erano previsti piezometri a tubo aperto in n. 7 sondaggi, ma dalla documentazione del PD non sembra siano mai state effettuate letture.

Nella tabella che segue si riportano i rilievi piezometrici del 2019.

Sondaggio	Quota p.c.	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Quota falda Tubo Aperto		Quota falda Casagrande		NOTE
	(m s.l.m.)		(m da p.c.)	(m s.l.m.)	(m da p.c.)	(m s.l.m.)	
SG02-PZ	154.99	30	-	-	2.45	152.54	-
SG04-PZ	171.62	30	-	-	10.35	161.27	-
SG06-PZ	159.73	30	-	-	3.22	156.51	-
SG12-PZ	182.88	30	-	-	3.89	178.99	-
SG14-PZ	159.76	15	3.90	155.86	3.85	155.91	-
SG15-PZ	167.27	20	3.15	164.12	3.15	164.12	-
SG19-PZ	175.14	20	-	-	6.15	168.99	-
SG21-PZ	193.83	30	-	-	3.58	190.25	-
SG24-PZ	163.34	25	-	-	7.25	156.09	-
SG27-PZ	166.81	40	8.89	157.92	8.90	157.91	-
SG30-PZ	173.26	20	-	-	-	-	Sommerso nelle risaie
SG33-PZ	204.58	25	5.73	198.85	5.70	198.88	-
SG37-PZ	190.81	25	-	-	23.16	167.65	-
SG38-PZ	177.06	20	-	-	-	-	Inaccessibile
SG39-PZ	178.14	23,3	-	-	1.88	176.26	-
SG40-PZ	184.03	25	4.85	179.18	-	-	-
SG41-PZ	185.90	25	-	-	-	-	Inaccessibile

Figura 5-11 - Tabella riassuntiva letture piezometriche del 05/09/2019 – Campagna 2019.

6 SISMICITA'

In seguito al terremoto del Molise del 2002, in Italia è stato avviato un percorso per la stima della pericolosità sismica secondo dati aggiornati e metodi condivisi a livello internazionale, dove per pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Con ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003, il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) ha adottato la nuova riclassificazione sismica nazionale con le nuove normative tecniche per gli edifici, i ponti e le opere di fondazione e sostegno dei terreni.

Nel 2004 è stata rilasciata una nuova mappa di pericolosità sismica (Figura 6.1) che fornisce un quadro delle aree più pericolose in Italia. I valori massimi delle accelerazioni orizzontali sono riferiti a un ipotetico suolo omogeneo con buone caratteristiche per le fondazioni. L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale

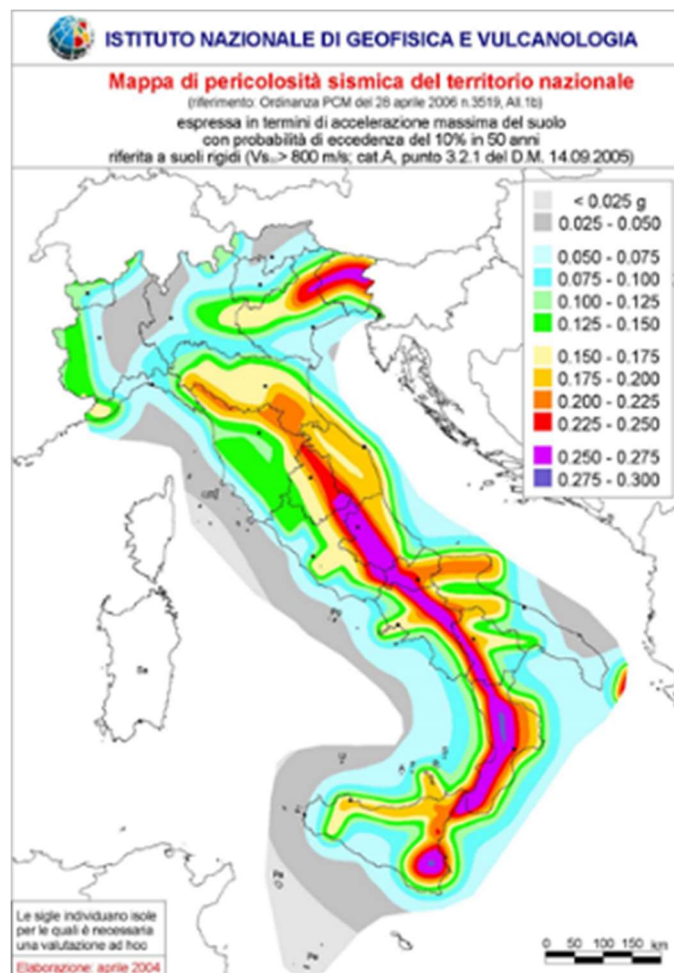


Figura 6-1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519/06).

Con il D.G.R. Toscana n. 431 del 19.06.2006 viene approvata una prima classificazione sismica Nazionale con cui i comuni di Sovicille, Murlo e Monticiano oggetto di studio vengono classificati nella categoria 3S.

Successivamente con DGR 878 del 08/10/2012 nell’ottica del totale recepimento della OPCM n. 3519 del 28.04.2006 si esegue una Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Toscana” in cui i comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille vengono classificati nella categoria 3.

In data 02-05 2014 con il DGRT n. 421, a seguito della fusione di 14 comuni Toscani e della conseguente istituzione di 7 nuove amministrazioni comunali, si approva un aggiornamento della classificazione sismica regionale relativa agli allegati 1 (elenco dei comuni) e 2 (mappa) della DGRT n. 878 – 2012.

6.1 Sismicità regionale

In generale nella regione toscana si riconoscono 5 differenti zone sismogenetiche che innescano una attività costituita da scosse con $I_{max} < 8$ e $M < 5,5$. Tali valori sono stati superati solo in 4 casi (1293 Pistoia, 1414 Toscana Occidentale, 1558 Val d’Ambra e 1846 Orciano Pisano

- Lunigiana Garfagnana
- Mugello
- Appennini Forlivese
- Alta Valtiberina
- Chianti montagnola senese

La sismicità che interessa la provincia senese proviene prevalentemente dalla zona sismogenetica Chianti Montagnola Senese e costituisce un effetto delle deformazioni preneogeniche subiscono in risposta alla compressione longitudinale indotta dalla spinta della porzione tirrenica dell’appennino centro meridionale (Mantovani et alii 2009).

RELAZIONE GEOLOGICA

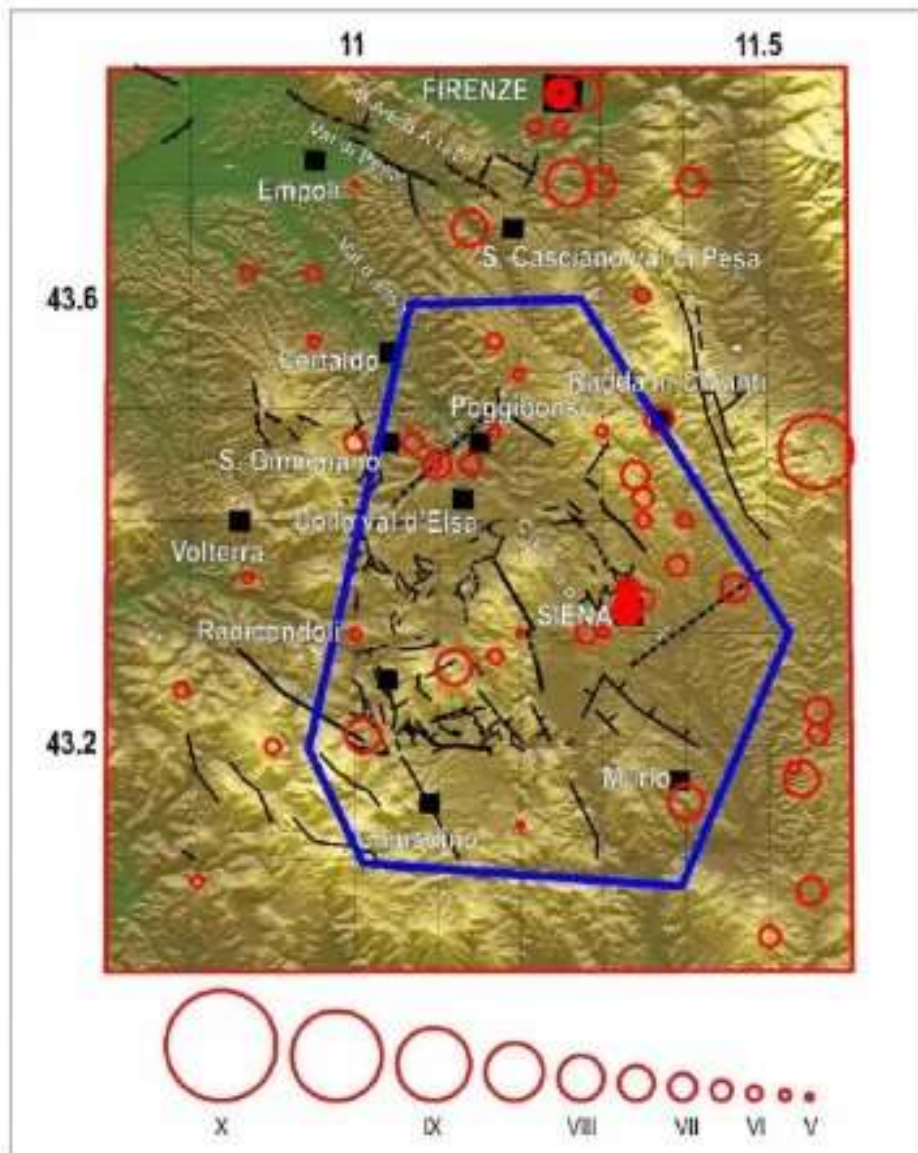


Figura 6-2 - I cerchi rossi evidenziano i terremoti avvenuti dopo l'anno 1000, in nero sono evidenziati i principali elementi tettonici, il contorno blu evidenzia l'area in cui possono verificarsi eventi sismici con $I_{max} = 9$ (Mantovani et alii 2009).

In un quadro di pericolosità sismica la figura seguente mostra i valori di intensità massima sull'intera regione, con i valori più elevati concentrati lungo la dorsale appenninica umbro marchigiana.

RELAZIONE GEOLOGICA

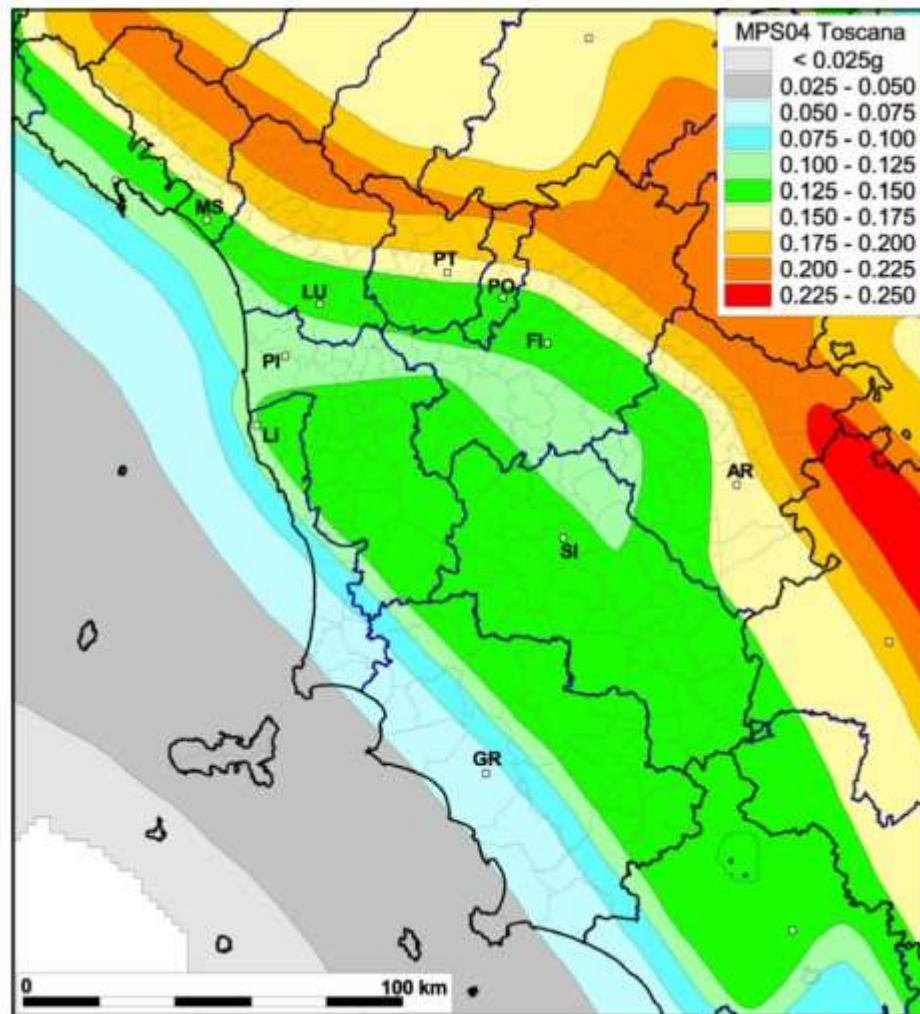


Figura 6-3 - Regione Toscana. Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV 2004).

Nell’ambito dello studio è stata eseguita una verifica della presenza nel corridoio di progetto e/o nelle sue vicinanze di faglie Capaci e sorgenti sismogenetiche.

Esaminando lo stralcio (figura 6.4) della carta del progetto ITHACA (Italy Hazard from capable faults) emesso e aggiornato continuamente dall’ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) si rileva l’assenza nell’area in esame di faglie “Capaci” in grado di trasmettere in superficie gli effetti della loro attività (rigetti e/o fagliazioni superficiali)

RELAZIONE GEOLOGICA

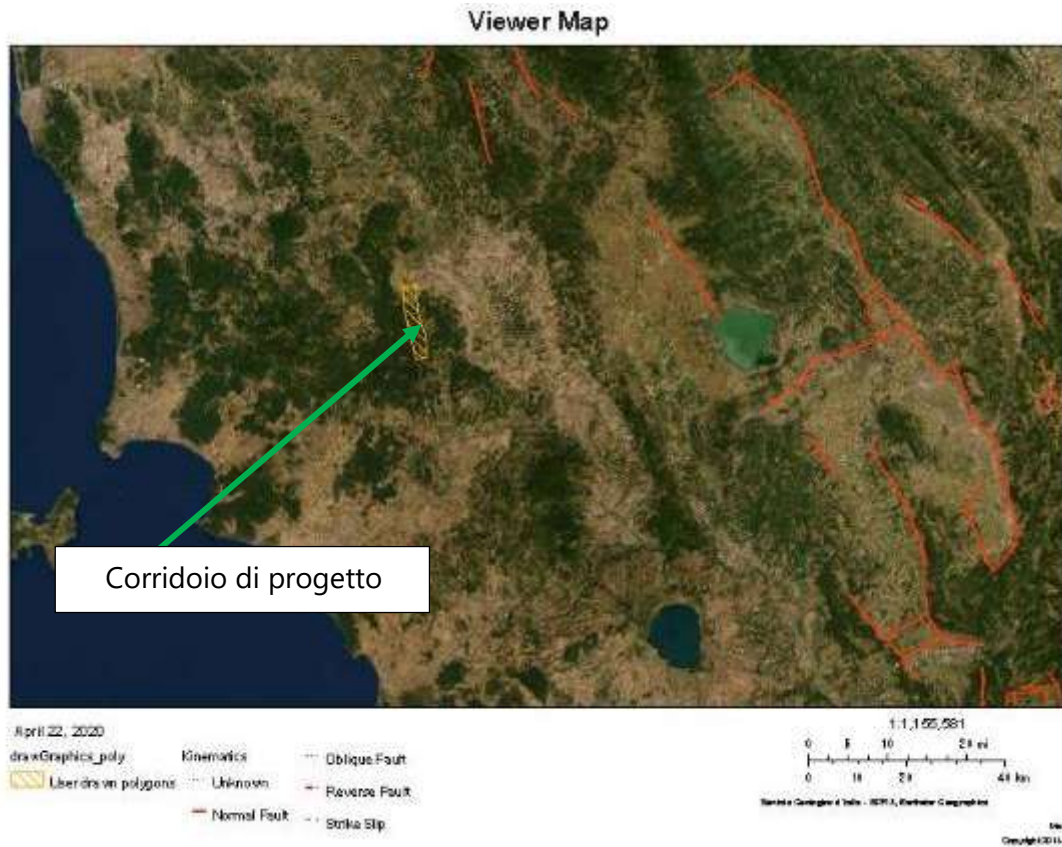


Figura 6-4 - Stralcio Carta delle faglie Capaci – Progetto ITHACA (ISPRA).

Esaminando lo stralcio (figura 6.5) della carta del progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) emesso nel 2017 ed aggiornato al 16/01/2019 dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) si rileva l'assenza nell'area in esame di potenziali sorgenti di terremoti di Magnitudo superiore a 5,5.

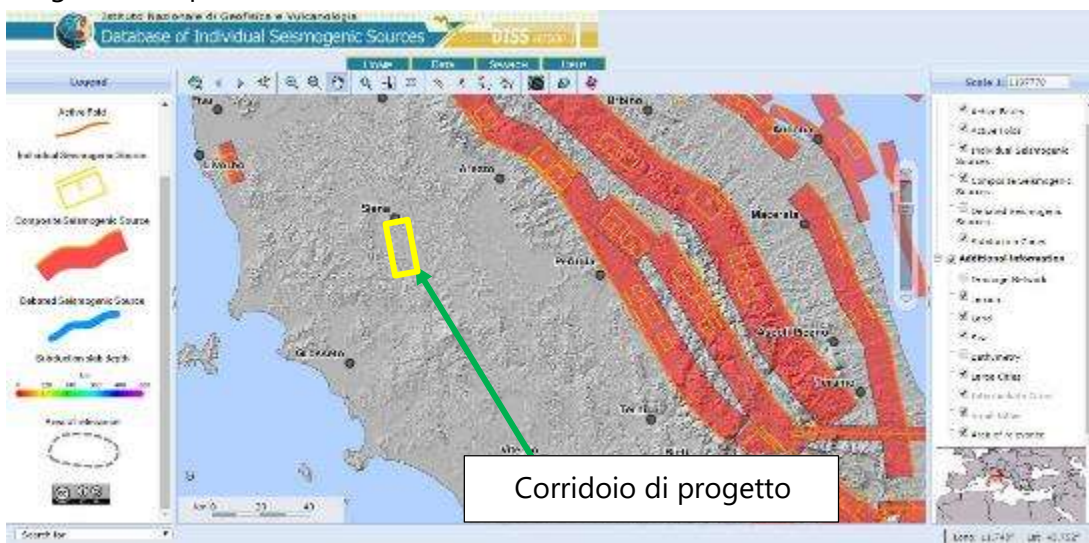


Figura 6-5 - Stralcio Database delle sorgenti sismogenetiche DISS (INGV).

6.2 Classificazione sismica della TOSCANA

L’Ordinanza PCM n. 3274/2003 ha aggiornato l’assegnazione dei Comuni alle zone sismiche, adottando un criterio cautelativo e introducendo la zona 4 che indica pericolosità moderata.

Con il D.G.R. Toscana n. 431 del 19.06.2006 viene approvata una prima classificazione sismica Nazionale con cui i comuni di Sovicille, Murlo e Monticiano oggetto di studio vengono classificati nella categoria 3S

Successivamente con DGR 878 del 08/10/2012 nell’ottica del totale recepimento della OPCM n. 3519 del 28.04.2006 si esegue una Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Toscana” in cui i comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille vengono classificati nella categoria 3

In data 02-05 2014 con il DGRT n. 421, a seguito della fusione di 14 comuni Toscani e della conseguente istituzione di 7 nuove amministrazioni comunali, si approva un aggiornamento della classificazione sismica regionale relativa agli allegati 1 (elenco dei comuni) e 2 (mappa) della DGRT n. 878 – 2012 – (Figura 6.6).

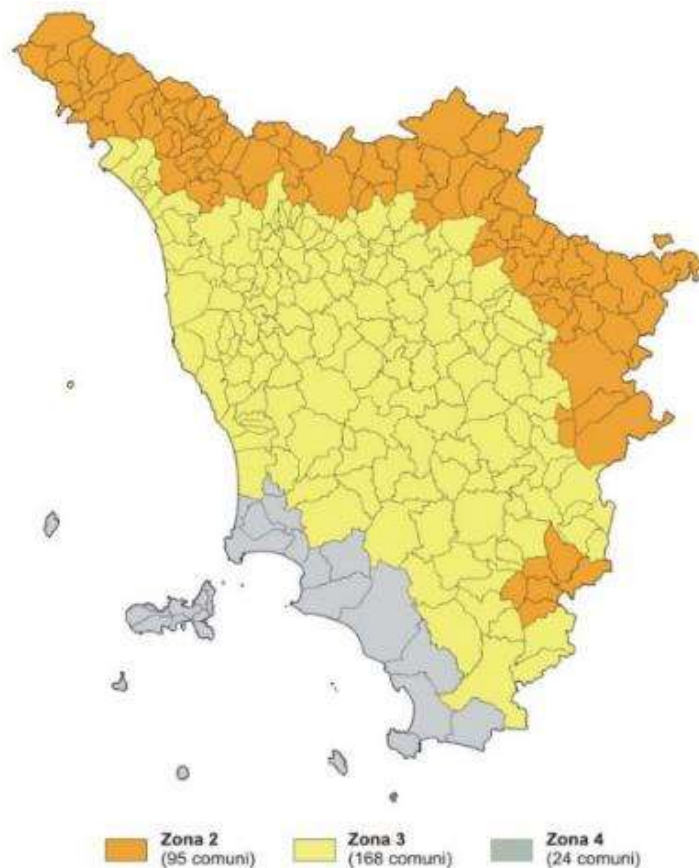


Figura 6-6 - Classificazione sismica (DGR T n. 421/2014).

6.3 Sismicità dell'area d'indagine

Dall'analisi del Catalogo Parametrico dei terremoti italiani, (CPTI15-DBMI15) redatto dal Gruppo Nazionale Difesa Terremoti (GNDT), ora inserito nell'ambito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), si possono osservare le massime intensità macrosismiche risentite nell'area d'indagine.

Nelle Figure 6.7, 6.8, e 6.9 si elencano le intensità macrosismiche storiche, risentite nella Provincia di Siena e rispettivamente nei territori dei comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1897	11	15	23	52		Val d'Orcia	26	5	4.10
NF	1901	09	22	21	42	1	Valdelsa	35	6	4.68
3-4	1905	02	12	08	28		Monte Amiata	61	6	4.55
2-3	1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30
NF	1907	12	15	13	06	5	Chianti	20	5	4.19
7-8	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
5	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
3	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3	1947	12	24				Crete Senesi	26	6	4.46
NF	1956	02	22	22	55	0	Senese	29	5	4.03
NF	1980	09	08	19	41	1	Costa Grossetana	55	5-6	4.44
NF	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
NF	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
NF	1993	08	06	07	51	4	Colline Metallifere	35	5-6	4.03
3	1998	05	20	11	07	4	Colline Metallifere	31	4-5	4.19

Figura 6-7 - Massime intensità macrosismiche risentite nel territorio del comune di Monticiano.

RELAZIONE GEOLOGICA

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30
7-8	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
4-5	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
NF	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
4	1947	12	24				Crete Senesi	26	6	4.46
NF	1956	02	22	22	55	0	Senese	29	5	4.03
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
NF	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
NF	2000	04	01	18	08	0	Monte Amiata	68	6	4.52
NF	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63

Figura 6-8 - Massime intensità macrosismiche risentite nel territorio del comune di Murlo.

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
4	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
NF	1905	02	12	08	28		Monte Amiata	61	6	4.55
3	1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30
3	1906	12	20	02	38		Valdelsa	28	4	3.96
3-4	1907	12	15	13	06	5	Chianti	20	5	4.19
6-7	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
4	1940	01	31	11			Siena	30	5-6	4.23
NF	1947	12	24				Crete Senesi	26	6	4.46
NF	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7	5.04
5	1956	02	22	22	55	0	Senese	29	5	4.03
5	1968	06	26	03	15		Senese	7	5	4.19
NF	1980	09	08	19	41	1	Costa Grossetana	55	5-6	4.44
3-4	1993	08	06	07	51	4	Colline Metallifere	35	5-6	4.03
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66

Figura 6-9 - Massime intensità macrosismiche risentite nel territorio del comune di Sociville.

RELAZIONE GEOLOGICA

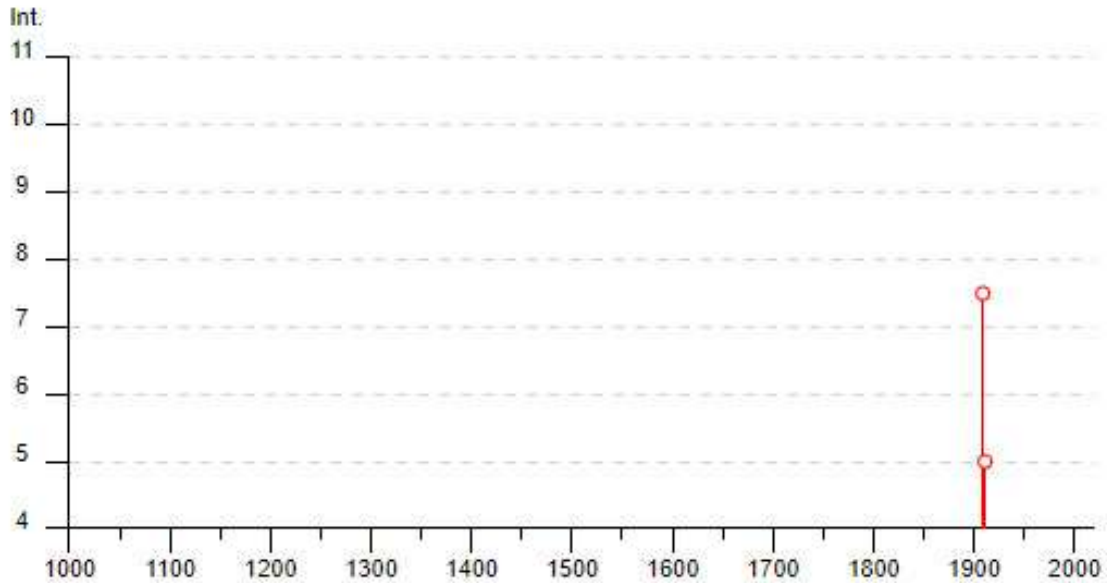


Figura 6-10 - Diagramma dei terremoti storici di massima intensità – Comune di Monticiano.

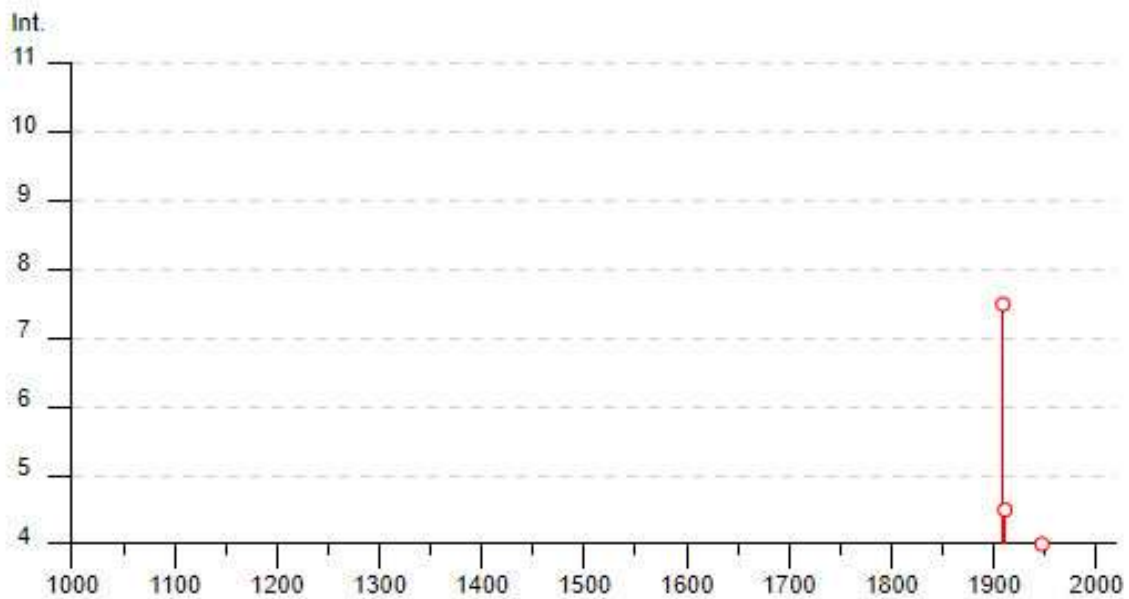


Figura 6-11 - Diagramma dei terremoti storici di massima intensità – Comune di Murlo.

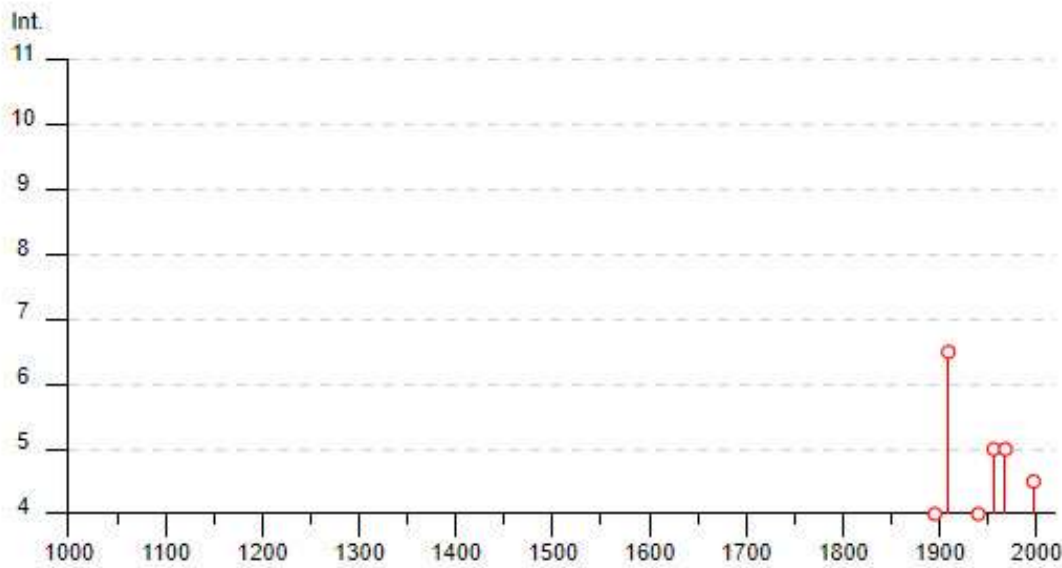


Figura 6-12 - Diagramma dei terremoti storici di massima intensità – Comune di Sovicille.

6.4 Classificazione sismica dell'area d'indagine

Come è noto, un terremoto può trasmettere sia sollecitazioni dinamiche con fenomeni di amplificazione locale, che dare luogo a fenomeni di instabilità dinamica con cedimenti, liquefazione e frane. Pertanto, in fase di progettazione di opere in zone sismiche, è necessario partire dall'ipotesi di un "terremoto di progetto", basato sulla conoscenza della sismicità della zona.

In base all'emanazione dei criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale tramite l'OPCM 3274/03, in seguito aggiornata con l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale", si evidenzia che i Comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille' in riferimento alla Classificazione sismica dei comuni italiani aggiornata 2015 dal Dipartimento della Protezione Civile, ricade in una zona identificata come "zona 3" (vedi seguente).

Regione	Provincia	Cod_Istat	Denominazione	Zona sismica 2014
Toscana	Siena	09052018	Monticiano	3
Toscana	Siena	09052019	Murlo	3
Toscana	Siena	09052034	Sovicille	3

Figura 6-13 - Estratto da "Classificazione sismica dei comuni italiani – 2015 - Dipartimento della Protezione Civile".

Elaborando i risultati delle indagini geofisiche eseguite è stato possibile procedere ad una classificazione sismica dei siti e dei suoli ricadenti nel corridoio di progetto per il cui dettaglio si rimanda allo specifico elaborato Relazione Sismica T00-GE00-GET-RE02-A

7 ANALISI DEL TRACCIATO

L'intervento oggetto della presente "E78 S.G.C. Grosseto-Fano. Adeguamento a 4 corsie del tratto Grosseto-Siena (S.S. 223 "di Paganico") dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9" si estende per circa 11,8 km all'interno dei Comuni Monticiano, Murlo e Sovicille in provincia di Siena regione Toscana.

Lo stesso andrà a completare l'opera di ampliamento della viabilità S.S. 223 esistente, già realizzato nei tratti confinanti a sud e a nord.

Riallacciandosi al lotto precedente, il tracciato ha inizio in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Ornate, che avviene mediante un viadotto in acciaio-calcestruzzo a tre campate (50-85-50) di lunghezza complessiva di 185 m.

Superato il fiume, l'asse si sviluppa lungo il corridoio già individuato dalla viabilità esistente. Dalla progr. 43+200 alla progr. 43+400 circa, il tracciato si avvicina ad una delle anse del fiume Merse, e la pendenza elevata del terreno rende necessaria la realizzazione di una lunga opera di sostegno lato destro per contenere il rilevato ed evitare ogni possibile interferenza con il fiume.

Al km 43+985 circa è presente il primo di quattro cavalcavia di progetto, ideato allo scopo di permettere l'attraversamento di una viabilità secondaria esistente, la quale proseguendo si assesta poi sul lato destro del tracciato.

Dopo un nuovo progressivo affiancamento dell'asse al fiume Merse, alla progressiva 44+540 circa si sviluppa lo svincolo del Picchetto, caratterizzato da una rotatoria lato est ed un lato ovest del tracciato, le quali fungono da elemento di raccordo fra le rampe provenienti dell'asse principale e la rete locale di viabilità. La connettività fra i due versanti del tracciato viene garantita mediante un sottovia che collega le due rotatorie.

Alla progr. 45+180 il tracciato si incrocia interseca quindi il percorso del fiume Merse, il quale attraversamento viene gestito attraverso la realizzazione di un viadotto in acciaio-calcestruzzo a quattro campate (30-40-60-45) di lunghezza complessiva di 175 m.

Subito dopo l'opera ha inizio la tratta del progetto caratterizzata dalla presenza di risaie ambo i lati (dalla progr. 45+800 alla progr. 47+240), la cui suddivisione ed organizzazione idraulica viene mantenuta grazie al rilevato stradale stesso ed all'introduzione di alcuni argini.

Al km 48+480, dopo avere garantito l'accesso all'area di servizio esistente situata sul versante est del tracciato, sullo stesso lato si sviluppa una delle viabilità complanari di progetto, che segue il tracciato per quasi un 1,5 km.

All'interno della zona delle risaie, alla progr. 47+010, si sviluppa quindi lo svincolo Fontazzi, caratterizzato da un'unica rotatoria lato est e da un sottovia attraverso il quale le rampe del lato ovest sono connesse alle viabilità sul lato opposto. Dalla suddetta rotatoria sfiocca una viabilità secondaria che dal lato destro, si porta poi sul sinistro mediante un sottovia situato alla progr. 48+510.

Il tracciato inizia quindi a innalzarsi, seguendo il terreno esistente ed attraversando un'ampia zona boschiva, fino a raggiungere la sua massima quota in prossimità della progr. 49+026; esso poi discende nella piana situata più a nord, nella quale è prevista la realizzazione di due nuovi cavalcavia, il primo alla progr. 50+863, e l'altro alla progr. 52+111. Il secondo in particolare

RELAZIONE GEOLOGICA

permette la connessione della località Bagnaia con la rete stradale esistente situata sul lato ovest del tracciato.

A partire da questo punto, su entrambi i lati dell’asse principale si attestano due complanari, che rimangono in affiancamento fino alla progr. 53+280 circa, ove è situato lo Svincolo Ponticini. Esso, come quello del Picchetto, è caratterizzato da due rotatorie collocate su ambi i versanti del tracciato, che fungono da elemento di raccordo fra le rampe provenienti dell’asse principale e la rete locale di viabilità. La connettività fra i due versanti del tracciato viene garantita mediante l’ultimo cavalcavia alla progr. 53+126.

L’intervento termina alla progr. 53+400, fatta eccezione per un breve tratto di ricucitura che lo ricollega al lotto successivo.

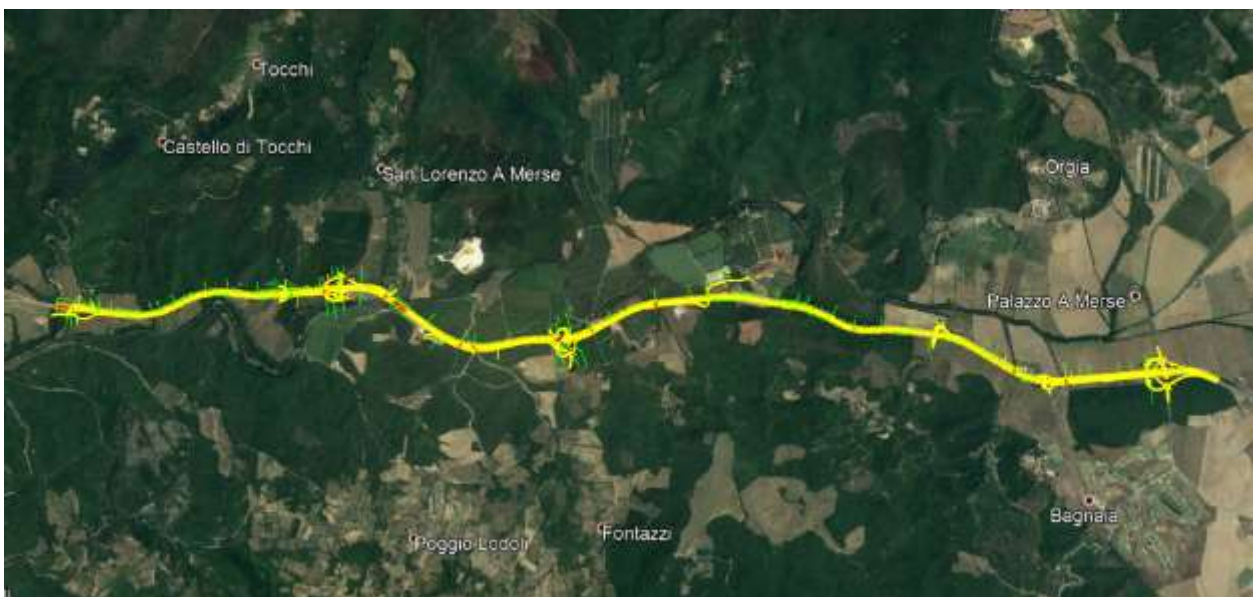


Figura 7-1 - Ortofoto dell'area di intervento con indicazione del tracciato di progetto.