

PERMESSO DI RICERCA DI RISORSE GEOTERMICHE FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA DENOMINATO "LUCIGNANO"

COMUNE DI RADICONDOLI - PROVINCIA DI SIENA

PROPONENTE:

Lucignano Pilot Project S.r.l.



PROGETTO DEFINITIVO

NUMERO ELABORATO:

LCG-RS01-V00

TITOLO:

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

DATA:

Luglio 2015

PROGETTISTI:

RENEWEM S.r.l

Via Norvegia n° 68 - 56021 Cascina (PI) - ITALIA

UFFICI:

Lucignano Pilot Project srl
Via Norvegia n° 68 - 56021 Cascina (PI) - ITALIA
tel. 0039 050 6205317 fax. 0039 050 0987814

REVISIONE

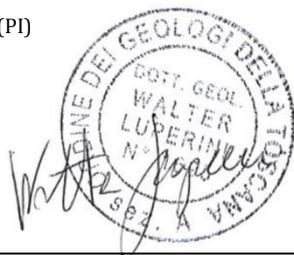
DATA	NOTE
REV.1	
REV.2	
REV.3	

Dott. Geol W. Luperini

Per Renewem srl

Via Norvegia n. 68 - 56021 Cascina (PI)

Cascina 22/07/2015



SOMMARIO

PREMESSA	1
1 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO	1
2 UBICAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO.....	5
3 QUADRO NORMATIVO.....	9
4 VINCOLI E PIANIFICAZIONE.....	10
4.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.).....	10
4.1.1 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) del Bacino Regionale Toscana Costa	10
4.1.2 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Ombrone	13
4.2 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI SIENA	14
4.3 PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI RADICONDOLI.....	18
4.3.1 Classificazione urbanistica del Comune di Radicondoli	23
4.4 VINCOLO IDROGEOLOGICO.....	23
5 PERICOLOSITÀ DEL SITO IN ESAME AI SENSI DEL PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI RADICONDOLI.....	26
6 FATTIBILITÀ AI SENSI DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI RADICONDOLI.....	30
7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	34
7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	34
7.1.1 Faglie capaci.....	37
7.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA	38
7.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	44
7.4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA.....	47
7.5 LE OPERE IN PROGETTO NEL CONTESTO GEOLOGICO.....	49
7.5.1 Polo di produzione-Centrale geotermoelettrica-rete di produzione	50
7.5.2 Polo di reiniezione.....	53
7.5.3 Rete di trasporto dei fluidi	55
7.5.3.1 Rete di reiniezione	55
8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	66
9 SISMICITÀ	69
9.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA	69
9.2 AZIONE SISMICA	70

9.2.1	<i>Categoria di sottosuolo e categoria topografica</i>	73
9.2.1.1	Categoria di sottosuolo	73
9.2.1.2	Condizioni topografiche.....	74
9.3	COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE K_H E COEFFICIENTE SISMICO VERTICALE K_V	74
10	CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	76
11	CONCLUSIONI	78

PREMESSA

La presente relazione geologica è stata eseguita a supporto della realizzazione delle opere previste per un “Permesso di ricerca di risorse geotermiche finalizzato alla sperimentazione di un impianto pilota per risorse geotermiche” denominato “LUCIGNANO”, da realizzarsi all’interno del territorio comunale di Radicondoli in Provincia di Siena.

Il fine di questa relazione è la definizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e litotecniche dell’area in esame e delle aree limitrofe, allo scopo di stabilire la compatibilità tra le opere e l’assetto geologico-ambientale.

L’indagine è consistita in alcuni sopralluoghi nella zona interessata effettuati a Maggio-Giugno 2012 e Maggio 2015, al fine di determinare sia le caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, sia le caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche. Sono stati inoltre consultati gli studi, i dati bibliografici e le pubblicazioni disponibili per l’area in esame con particolare riguardo alle carte geologiche redatte nel progetto CARG a varie scale, elaborati in possesso dell’Amministrazione Comunale, l’Autorità di Bacino Toscana Costa e Ombrone, la Regione Toscana, la Provincia di Siena.

1 CARATTERISTICHE GENERALI DELL’INTERVENTO

Il progetto geotermico pilota "LUCIGNANO" ha come obiettivo lo sfruttamento delle risorse geotermiche presenti in un’area della Toscana centro-meridionale, ubicata a sud del centro abitato di Radicondoli (SI), al fine di sperimentare un impianto pilota con la completa reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, e comunque con emissioni nulle.

Di seguito viene fornita una descrizione di massima delle opere da realizzare, per le caratteristiche tecniche di dettaglio si rimanda alla Relazione Tecnica ed alle relative tavole di progetto. Il progetto si articola nei seguenti interventi:

N. 2 postazioni di perforazione denominate LUCIGNANO 1 (LCG1) e LUCIGNANO 2 (LCG2).

Si tratta di due piazzole di perforazione realizzate su aree livellate mediante sbancamento e reinterro; la postazione Lucignano 1 prevede la realizzazione di tre pozzi, mentre al Lucignano 2 prevede due pozzi. La postazione di perforazione Lucignano1 (Figura 1-1) occuperà un’area di circa 8629 m² mentre la postazione denominata Lucignano 2 (Figura 1-2) occuperà un’area di 8365 m².

Per ogni postazione di perforazione saranno realizzate le seguenti opere in cemento armato funzionali ad ospitare le varie parti dell’impianto di perforazione:

- Cantina: Il manufatto di alloggiamento pozzo denominato “cantina”, viene realizzato in cemento armato gettato in opera, interrato, di dimensioni in

- pianta di 25.0 x 2,5 m con profondità di 1,5 m rispetto alla quota della piazzola, spessore pareti 40 cm e spessore soletta di fondo di 40 cm;
- Sottostruttura impianto di perforazione: si tratta di un basamento in c.a. che verrà realizzato intorno al manufatto di alloggiamento pozzo, ha forma rettangolare con dimensioni in pianta di 54.0 x 18.0 m e spessore 30 cm. Verrà realizzato tramite una gettata in opera con calcestruzzo C20/25, lisciata superficialmente al quarzo, armata con ferro di armatura B450C e posata su uno strato di magrone dello spessore di 10 cm;
 - Vasca deposito gasolio e olio: questo manufatto sarà realizzato in calcestruzzo con dimensioni in pianta pari a 12,4 x 6,6 m e alta 0.85 m;
 - Paltea per impianto prove di produzione: si tratta di un box a forma di U in cemento armato delle dimensioni in pianta di 2,9 x 3,3 m e alto 1,5 m;
 - Cunicoli: si prevede di realizzare tre cunicoli in elementi prefabbricati in calcestruzzo vibrocompresso a sezione rettangolare dimensioni interne di 1,5 x 1,5 m e lunghezza totale di 24 m;
 - Vasca di raccolta reflui di perforazione: si tratta di una vasca in cemento armato di dimensioni in pianta di 14,5 m x 14,5 m e altezza di 2 m;
 - Vasche per deposito acqua di perforazione: si tratta di due vasche ognuna delle quali ha dimensione in pianta di 15.0 x 28.3 m e altezza di 3.0 m realizzate in cemento armato.



Figura 1-1. Layout postazione di perforazione Lucignano 1.



Figura 1-2. Layout postazione di perforazione Lucignano 2.

Impianto geotermoelettrico

3

L'impianto geotermoelettrico occuperà un'area di circa 4397 m² su un unico piano livellato per ottenere il quale sono necessarie operazioni di scavo e reinterro. L'impianto consiste nelle seguenti parti (Figura 1-3):

- Impianto ORC;
- Sistema di air-cooler;
- Edificio ospitante gli uffici e il locale di consegna dell'energia prodotta al gestore;
- Area parcheggio;
- Impianto e serbatoio antincendio;
- Piazzale.

Per ospitare le varie parti dell'impianto sarà necessario eseguire le seguenti opere in cemento armato:

- Per l'alloggiamento dell'impianto ORC verrà realizzata una platea in c.a. di spessore pari a 0,5 m e con dimensioni massime in pianta pari a 35 m x 27 m. Su di essa verranno realizzati dei plinti in c.a. la cui funzione è trasferire i carichi alla struttura di fondazione. Tale manufatto poggerà su uno strato di magrone di spessore pari a 10 cm. Lungo il bordo della platea saranno realizzate delle canalette prefabbricate in cemento armato con griglia carrabile di sicurezza per la regimazione delle acque piovane.

- Il condensatore poggerà su 27 plinti a base quadrata di 2,5 m di lato alla base e 0,8 m di lato nella parte superiore unita reciprocamente da una serie di travi sempre in cemento armato di dimensioni in sezione 0.3 m x 0.3 m.
- Per l'alloggiamento del serbatoio e del locale antincendio verrà realizzata una platea in c.a. a forma rettangolare di dimensioni in pianta pari a 10.4 m x 16 m e spessore 0,5 m, che poggeranno su uno strato di magrone avente spessore di 10 cm.
- Il locale adibito ad ufficio e a locale di consegna poggerà invece su 9 plinti in c.a. di altezza pari a 1,0 m, con base quadrata di 1,0 m di lato alla base e 0,3 m di lato nella parte superiore e posti su uno strato di magrone di spessore pari a 10 cm. Sul perimetro delle opere sopra descritte verrà realizzato idoneo drenaggio con materiale inerte 4/7.



Figura 1-3. Layout centrale geotermoelettrica.

Rete trasporto fluidi geotermici

La rete di trasporto dei fluidi risulta composta da una serie di tubazioni che collegano il polo di produzione e di reiniezione alla centrale geotermoelettrica.

A fianco di tali condotte è prevista l'installazione di uno o più cavidotti, nei quali saranno alloggiati i cavi di segnale e di potenza necessari per la gestione e il controllo remoto degli impianti.

Rete di produzione

La rete di trasporto dei fluidi dal polo di produzione verso l'impianto ORC ha una lunghezza di circa 217 m ed è posizionata fuori terra su sostegni di altezza pari a 0.5 m. La tubazione a partire dalle teste pozzo attraversa parte dell'area pozzo all'interno di un cunicolo fino a ad arrivare nei pressi dell'impianto di prove di produzione da dove prosegue in areo. Appena al di fuori della recinzione della postazione si dirige verso est per circa 78 m fino a raggiungere la recinzione dell'impianto ORC. Una volta nel piazzale della centrale si immette in un cunicolo fino a raggiungere la flangia dell'Impianto ORC.

I sostegni saranno di tipo a traliccio con altezza variabile e con due modalità di vincolo: appoggio semplice o cerniera; verranno montati sul terreno mediante bullonatura su plinti di fondazione in calcestruzzo, appositamente realizzati in opera e gettati in scavi nel terreno cercando di limitare al minimo la parte emergente dal piano di campagna. La distanza massima tra gli appoggi sarà di circa 10÷12 metri.

Il cavo a fibra ottica e quello di potenza saranno invece collocati a fianco della rete di produzione all'interno di tubi in PVC.

Rete di reiniezione

La rete di trasporto dei fluidi di reiniezione dall'impianto ORC verso il polo di reiniezione ha una lunghezza di circa 4067 m e sarà completamente interrata all'interno di uno scavo. Si tratta di due tubazioni di piccolo diametro contenute all'interno di un tubo in PEAD del diametro di 200 mm

La condotta sarà alloggiata all'interno di uno scavo di forma trapezoidale rovesciata di profondità variabile da 1.5 m a 1.8 m e larghezza alla base di circa 80 cm. La tubazione poggerà su un letto di sabbia dello spessore di circa 10 cm e sarà ricoperta, per i primi 20 cm, di sabbia, e i successivi con materiale inerte derivante dalle operazioni di scavo. L'estradosso del tubo sarà posizionato ad una profondità di circa 100 cm a partire dal piano campagna. Al lato della condotta di trasporto dei fluidi, nel medesimo cassonetto di scavo, saranno posizionati anche i tubi per il passaggio del cavo di fibra ottica e di quello di potenza.

2 UBICAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'intervento è situato a circa 1.5 km a sud del centro abitato di Radicondoli, in Provincia di Siena, tra le località di Podere Le Costaglie e il Podere Pitena a quote comprese tra 270 e 370 m slm (Tabella 2-1, Figura 2-1, Figura 2-2, Figura 2-3, Figura 2-4).

Opera	X (Roma 40-Gauss Boaga fuso ovest)	Y (Roma 40-Gauss Boaga fuso ovest)	Quota (m s.m.l.)
Centrale geotermica	1665243.43	4790198.56	270
Polo di produzione Lucignano 1	1665102.21	4790269.69	270
Polo di reiniezione Lucignano 2	1668353.34	4789652.53	370

Tabella 2-1. Ubicazione delle opere in progetto.

Nella cartografia tecnica Regionale l'intervento è presente nel Foglio 296 elemento 130 alla scala 1:10.000.

Nel proseguo della presente relazione le opere previste nel progetto sono così raggruppate:

- Polo di produzione Lucignano 1 (LCG1): comprende la piazzola di perforazione, le vasche acqua, l'area parcheggio e i nuovi tratti di strada di accesso nonché tutta l'area interessata dalla movimentazione terra necessaria alla preparazione della postazione stessa per un'area complessiva di circa 28217 m².
- Polo di produzione Lucignano 2 (LCG2): comprende la piazzola di perforazione, le vasche acqua, l'area parcheggio i nuovi tratti di strada di accesso nonché tutta l'area interessata dalla movimentazione terra necessaria alla preparazione della postazione stessa per un'area complessiva di circa 18318 m².
- Centrale geotermoelettrica: comprende il piazzale ospitante l'impianto ORC, gli air-cooler, l'edificio adibito ad uffici e il parcheggio nonché tutta l'area interessata dalla movimentazione terra necessaria alla preparazione della postazione stessa per un'area complessiva di circa 12335 m².
- Rete trasporto fluidi di produzione di lunghezza pari a 217 m.
- Rete di trasporto fluidi di reiniezione di lunghezza pari a 4067 m.

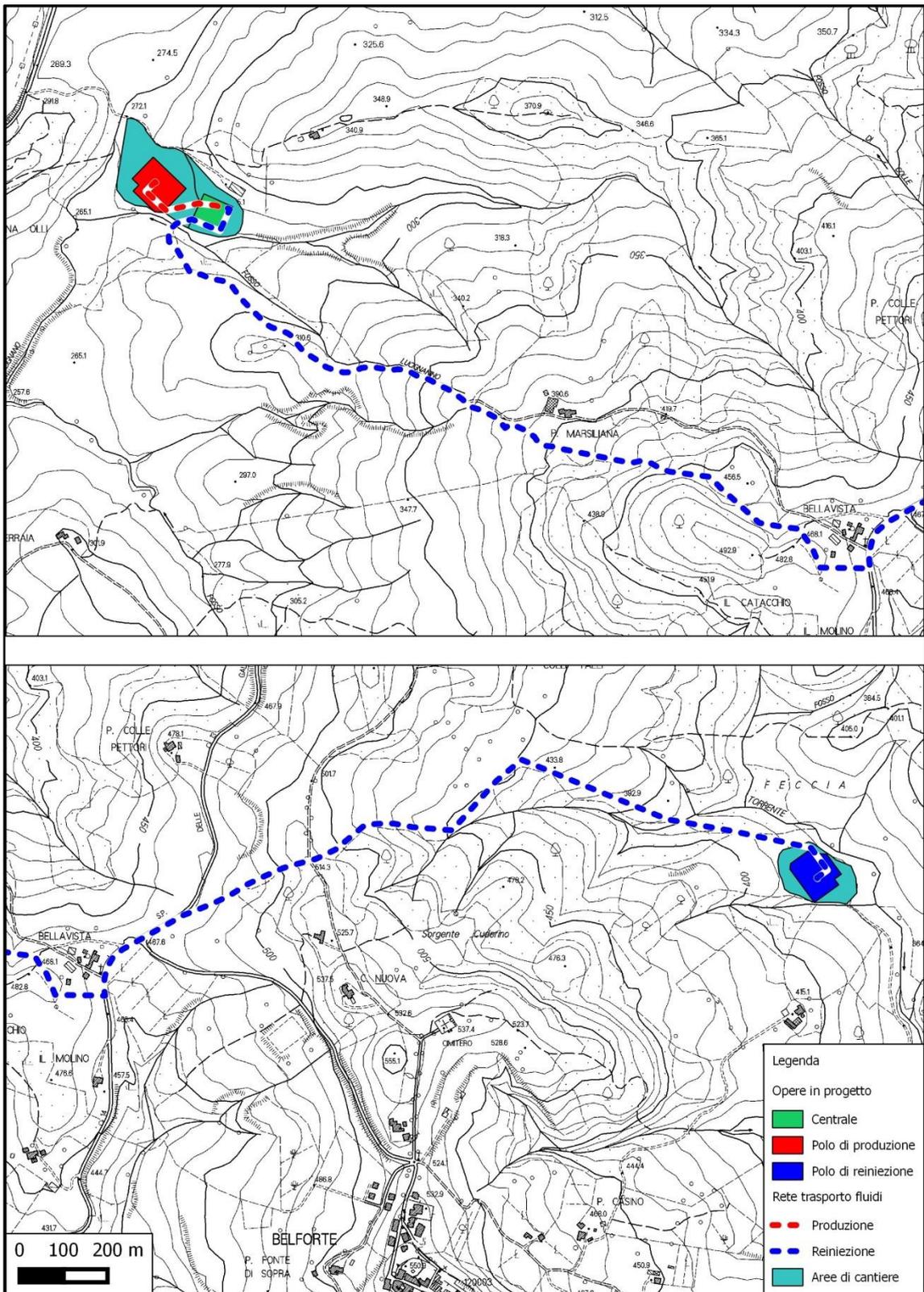


Figura 2-1. Ubicazione delle opere in progetto su CTR scala 1:10.000.



Figura 2-2. Area di ubicazione della centrale geotermoelettrica.

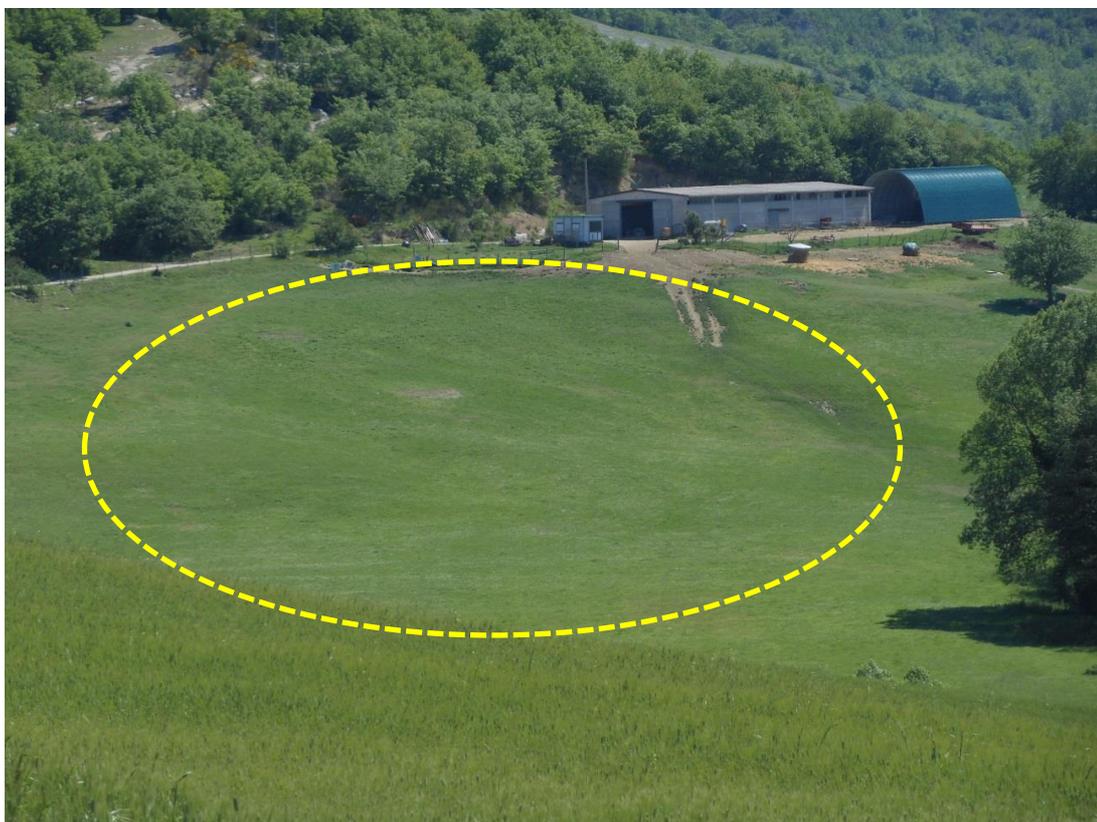


Figura 2-3. Area di ubicazione del polo di produzione Lucignano 1.



Figura 2-4. Area di ubicazione del polo di produzione Lucignano 2.

3 QUADRO NORMATIVO

9

La presente relazione geologica viene redatta ai sensi di quanto prescritto dalla normativa attualmente vigente di Tabella 3-1.

Legge Regionale 3 Gennaio 2005 n. 1	Norme per il governo del territorio
Decreto del Ministero delle infrastrutture del 14 Gennaio 2008 n 1401	Nuove norme tecniche per le costruzioni
Circolare del Ministero LL.PP. del 2 febbraio 2009 n. 617	Istruzione per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 Luglio 2009 n. 36/R	Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 Gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
Decreto del Presidente della Giunta Regionale 27 Aprile 2007 n. 26/R	Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 Gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche
Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011 n. 53/R	Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n. 3274	Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
Deliberazione G.R.T. 19 giugno 2006 n. 431	Riclassificazione sismica del territorio regionale: Attuazione del D.M: 14/9/2005 e O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/5/2006

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 28 aprile 2006, n. 3519	Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
Delibera della Giunta Regionale 26 novembre 2007 n. 841	Aggiornamento dell'elenco dei comuni a maggior rischio sismico della Toscana
Delibera della Giunta Regionale del 8 ottobre 2012 n. 878	Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008-Revoca della DGRT 431/2006
R.D.L. 30 Dicembre 1923 n. 3267	Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani
Legge Regionale 21/03/2000 n. 39	Legge Forestale della Toscana
D.P.G.R.T. 8/8/2004 n. 48/R	Regolamento forestale dello stato
D.P.G.R.T. 16/3/2010 n. 32/R	Modifiche al regolamento emanato con decreto del Presidente della Giunta regionale 8 Agosto 2003 n. 48/R (Regolamento forestale della Toscana)
Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42 e s.m.i.	Codice dei beni culturali e del paesaggio ai sensi dell'art. 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137
Legge 6 dicembre 1991 n. 394	Legge quadro sulle aree protette
Legge 9 dicembre 1998 n. 426	Nuovi interventi in campo ambientale
Legge Regionale 11 aprile 1995 n. 49	Norme sui parchi, le riserve naturali e le aree naturali protette di interesse locale

Tabella 3-1. Normativa di riferimento.

4 VINCOLI E PIANIFICAZIONE

4.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

10

Le opere previste nel progetto ricadono all'interno dei territori di competenza dell'Autorità del Bacino Toscana Costa e dell'Autorità del Bacino del Fiume Ombrone. Sebbene la Legge Regionale 24 dicembre 2013 n. 77 abbia soppresso le Autorità di Bacino Regionali, per completezza si riporta ugualmente la cartografia disponibile per questi bacini considerando le informazioni in essa riportate ugualmente importanti per la caratterizzazione dei siti di progetto.

In particolare la postazione LCG1, la centrale geotermoelettrica, la rete di produzione dei fluidi e il tratto di rete di reiniezione di fluidi compreso tra la centrale e la località Bellavista ricadono nel Bacino Regionale Toscana Costa, la postazione LCG2 e il tratto della rete di reiniezione dei fluidi compreso tra la località Bellavista e la postazione LCG2 ricadono nel Bacino del Fiume Ombrone.

4.1.1 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) del Bacino Regionale Toscana Costa

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Regionale Toscana Costa è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n.13 del 25 gennaio 2005. Dalla Carta di Tutela del Territorio (Figura 4-1) è possibile ricavare che:

- tutte le opere ricadenti all'interno di questo bacino si trovano ubicate in aree a particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici

e aree di particolare attenzione per la prevenzione da allagamenti.

- La rete di trasporto di reiniezione dei fluidi attraversa zone classificate come aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.).
- Parte del cantiere della postazione LCG1 e della centrale si trova in aree classificate a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.E.), e in aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.E.) e molto elevata (P.F.M.E.).

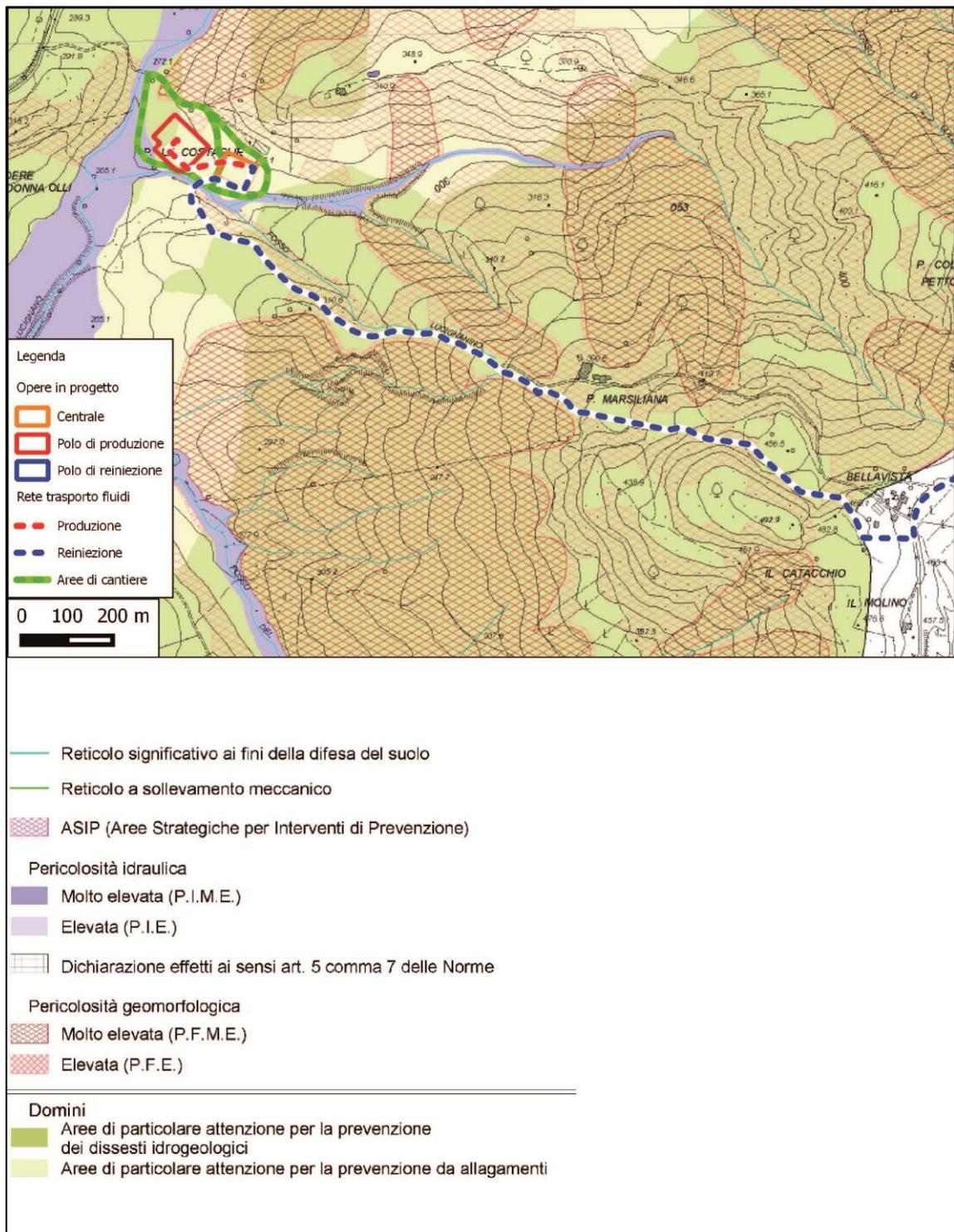


Figura 4-1. Stralcio della carta di tutela del territorio del PAI Toscana Costa.

Secondo le norme di PAI risulta che:

Nell'area P.F.M.E. la realizzazione di nuovi interventi pubblici o privati, previsti dai vigenti strumenti di governo del territorio alla data di entrata in vigore del presente Piano è subordinata alla preventiva realizzazione degli interventi di messa in sicurezza. Gli interventi, definiti sulla base di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici, che documentano la dinamica complessiva del versante e l'areale potenzialmente coinvolgibile, dovranno essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Nelle aree P.F.E. la realizzazione di nuovi interventi pubblici o privati, previsti dai vigenti strumenti di governo del territorio alla data di approvazione del presente Piano è subordinata alla verifica dello stato di stabilità dell'area sulla base di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnica ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza.

Nelle aree di particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici, al fine di garantire la conservazione dei suoli, la riduzione dei rischi idrogeologici, la tutela dell'ambiente, l'aumento del tempo di corruzione, il controllo del trasporto solido, gli strumenti per il governo del territorio individuano discipline finalizzate a tener conto della necessità di secondo le seguenti direttive di non convogliare acque di pioggia nelle aree a pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata.

12

Nelle aree di particolare attenzione per la prevenzione da allagamenti, al fine di garantire il mantenimento/restituzione ai corsi d'acqua gli ambiti di respiro naturale, nonché di mantenere e recuperare la funzionalità e l'efficienza delle opere idrauliche e di bonifica e di non rendere inefficaci gli interventi strutturali realizzati o da realizzare in funzione dei livelli di sicurezza definiti dal Piano, gli strumenti per il governo del territorio individuano discipline secondo le seguenti direttive:

- nel territorio rurale la rete di drenaggio delle acque di pioggia dovrà comunque garantire una volumetria di accumulo non inferiore a 200 mc. per Ha;
- sono vietati la copertura ed il tombamento dei corsi d'acqua ricompresi nel reticolo di riferimento del presente PAI e comunque anche in caso di attraversamento non potrà essere ridotta la sezione idraulica di sicurezza relativa alla portata con tempo di ritorno duecentennale.

Nelle aree classificate P.I.E. la realizzazione di nuovi interventi pubblici o privati, previsti dai vigenti strumenti di governo del territorio alla data di entrata in vigore del presente Piano, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 8, è subordinata alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni. Gli interventi, definiti sulla base di idonei studi idrologici e idraulici, tenendo anche conto del reticolo di acque superficiali di riferimento del presente P.A.I.,

non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle.

4.1.2 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Ombrone

Secondo la Tav-18 della "Carta di tutela del territorio" disponibile all'interno del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del Bacino del Fiume Ombrone risulta che tutte le opere in progetto si trovano all'interno del Dominio geomorfologico e idraulico-forestale (Figura 4-2).

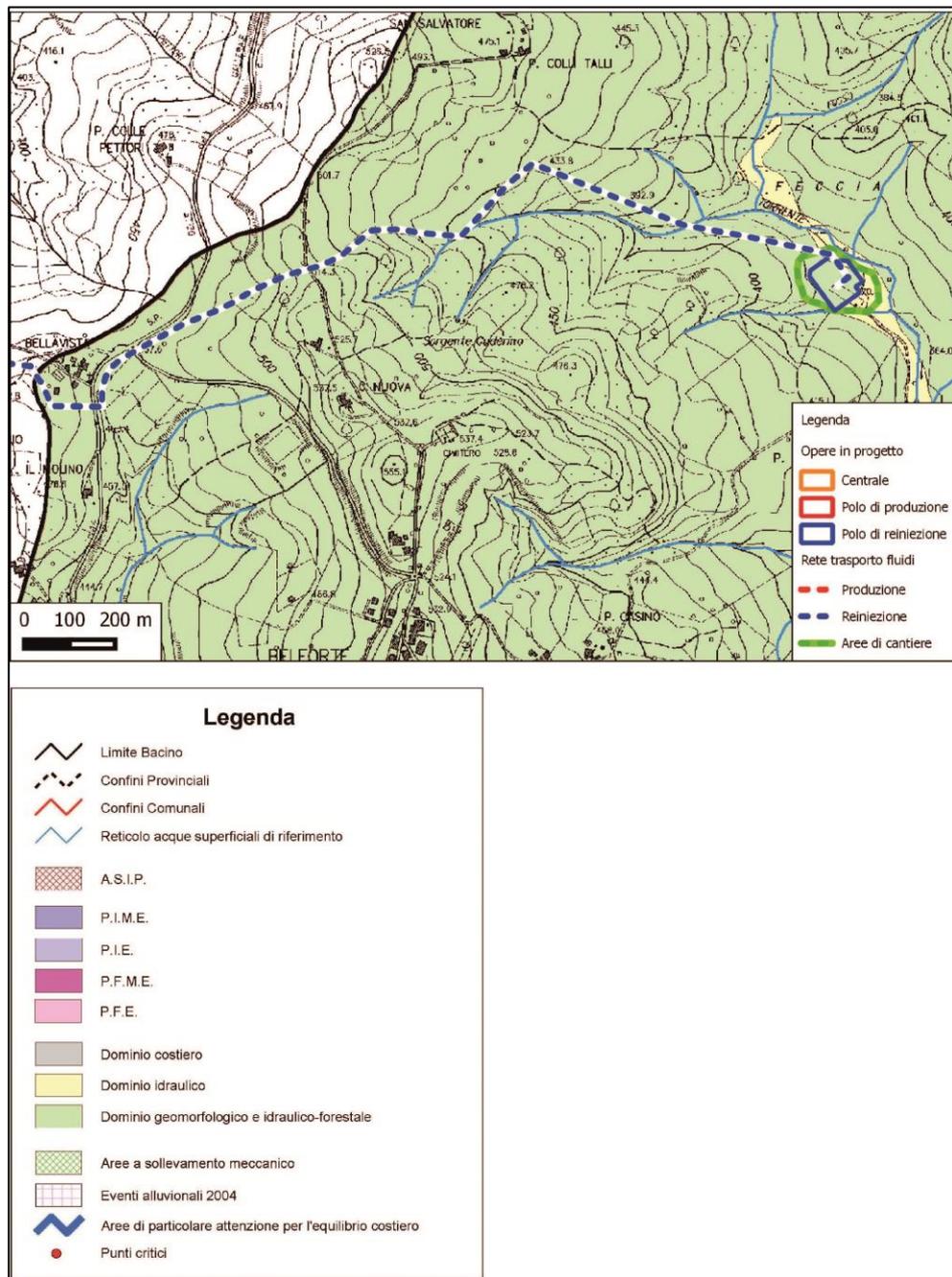


Figura 4-2. Stralcio della Tav-18 della "Carta di tutela del territorio" del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del Bacino del Fiume Ombrone.

4.2 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI SIENA

In questo paragrafo viene esaminata la cartografia disponibile nel PTC della Provincia di Siena.

Tav QC IG 3-Carta della stabilità potenziale dei versanti. Secondo la cartografia disponibile risulta che (Figura 4-3):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree a instabilità media;
- Polo di produzione: ricade in aree a instabilità media;
- Polo di reiniezione: ricade in aree in frana;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree a instabilità media, forte e in frana.

Tav QC IG 9-Carta della vulnerabilità intrinseca. Secondo la cartografia disponibile risulta che (Figura 4-4):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree a vulnerabilità 4-bassa;
- Polo di produzione: ricade in aree a vulnerabilità 4-bassa e 2-medio-alta;
- Polo di reiniezione: ricade in aree a vulnerabilità 4-bassa e 2-medio-alta;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree a vulnerabilità 4-bassa e 2-medio-alta.

Tav ST IG 1-Carta della sensibilità degli acquiferi. Secondo la cartografia disponibile risulta che (Figura 4-5):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree a sensibilità 3-nessun vincolo;
- Polo di produzione: ricade in aree a sensibilità 2-vincolo medio;
- Polo di reiniezione: ricade in aree a sensibilità 2-vincolo medio e 3-nessun vincolo;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree a sensibilità 2-vincolo medio e 3-nessun vincolo.

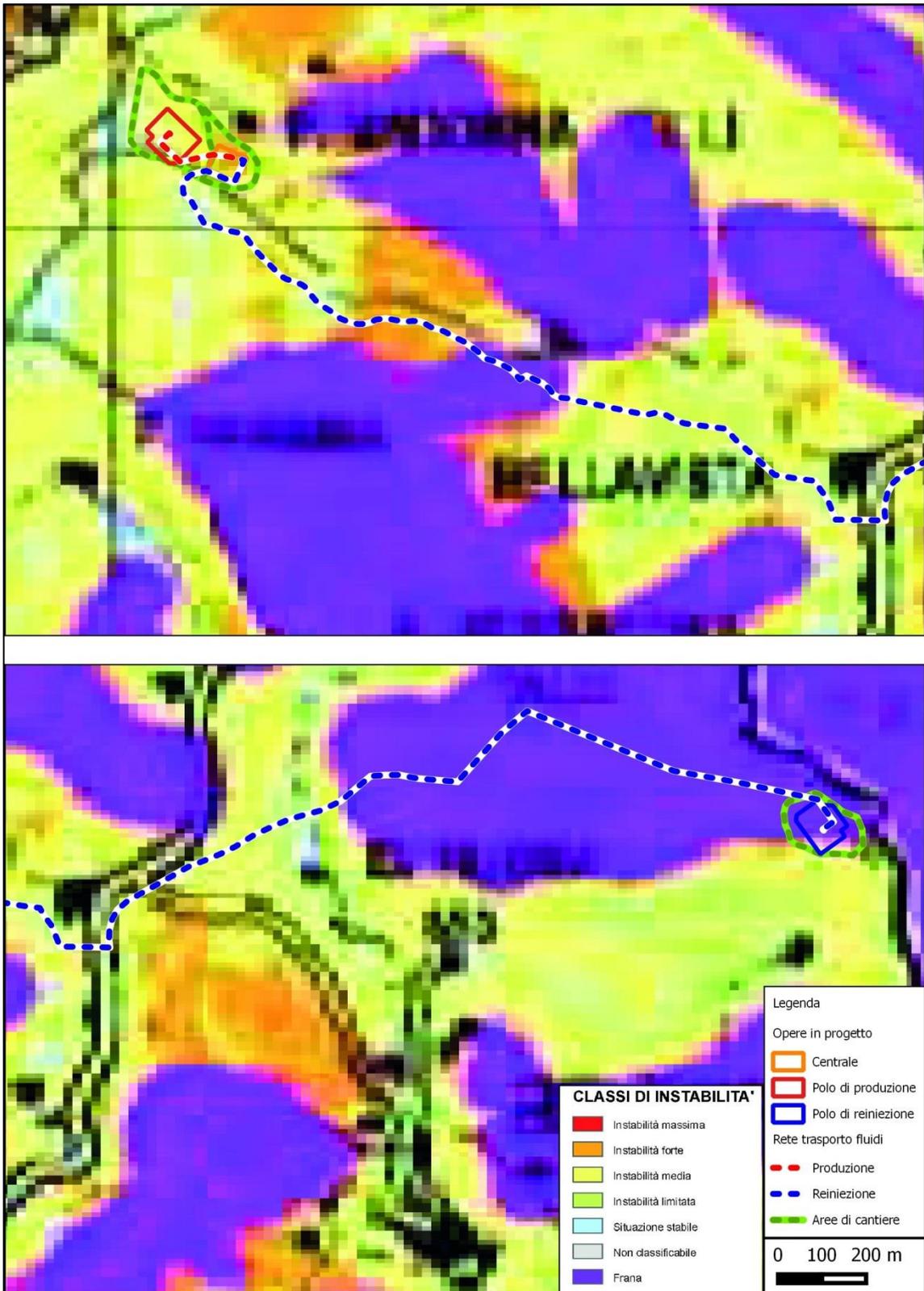


Figura 4-3. Stralcio della carta della Tav QC IG 3-Carta della stabilità potenziale dei versanti del PTCP della Provincia di Siena.



Figura 4-4. Stralcio della carta della Tav QC IG 9- Carta della vulnerabilità intrinseca del PTCP della Provincia di Siena.



Figura 4-5. Stralcio della carta della Tav QC IG 1-Carta della sensibilità degli acquiferi del PTCP della Provincia di Siena.

4.3 PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI RADICONDOLI

Il Piano Strutturale del Comune di Radicondoli è stato approvato con Delibera di Consiglio n.12 del 20.04.2009 ed è stato pubblicato sul B.U.R.T. n.22 del 04.06.2009 ed all'Albo Pretorio del Comune nella stessa data. Il territorio comunale di Radicondoli rientra nei bacini del fiume Ombrone e Cecina, le cui prescrizioni relative al rischio idraulico nei rispettivi PAI sono state integrate nel Piano Strutturale.

Tav12b-Carta di adeguamento al PAI Toscana Costa. Secondo questa cartografia risulta che (Figura 4-6):

- Centrale geotermoelettrica: solo una parte minima del cantiere ricade in aree a pericolosità idraulica elevata (PIE);
- Polo di produzione: ricade in parte in aree a pericolosità idraulica elevata (PIE), un parte del cantiere interessa un'area classificata come PFME, una parte minima del cantiere ricade in aree a pericolosità idraulica elevata (PIE);
- Polo di reiniezione: ricade in parte in aree a pericolosità idraulica elevata (PIE);
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree classificata come PFME.

Tav11b-Carta della vulnerabilità degli acquiferi. Secondo questa cartografia risulta che (Figura 4-7):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree a vulnerabilità 3-medio-bassa e 4-bassissima o nulla;
- Polo di produzione: ricade in aree a vulnerabilità 3-medio-bassa e 2-alto-medio e 4-bassissima o nulla;
- Polo di reiniezione: ricade in aree a vulnerabilità 3-medio-bassa e 4-bassissima o nulla;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree a vulnerabilità 3-medio-bassa, 2-alto-medio e 4-bassissima o nulla.

La carta inoltre mette in evidenza che nelle vicinanze delle aree di progetto non sono presenti pozzi o sorgenti captate ad uso idropotabile.

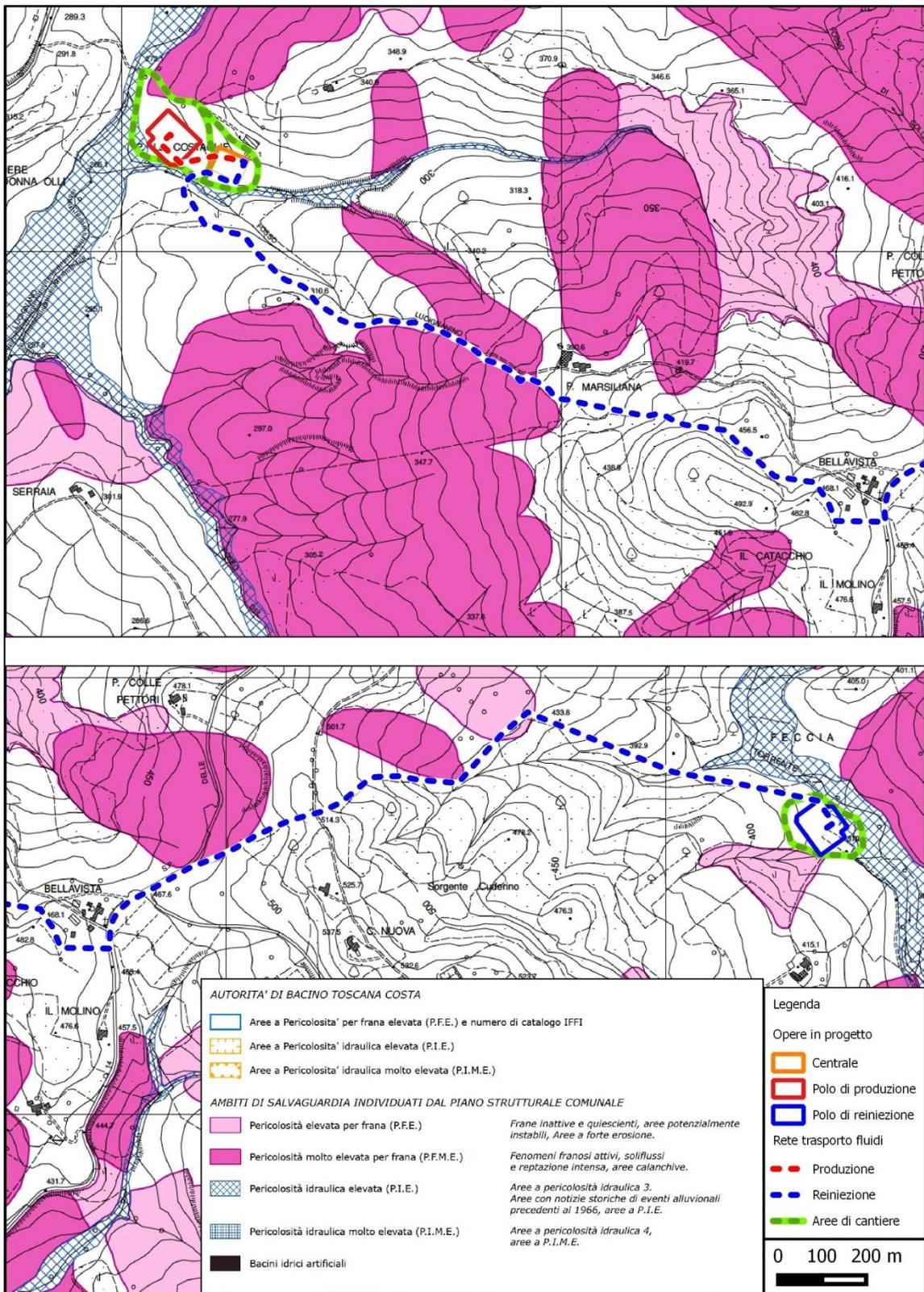


Figura 4-6. Stralcio della Tav12b-Carta di adeguamento al PAI Toscana Costa del PS del Comune di Radicondoli.

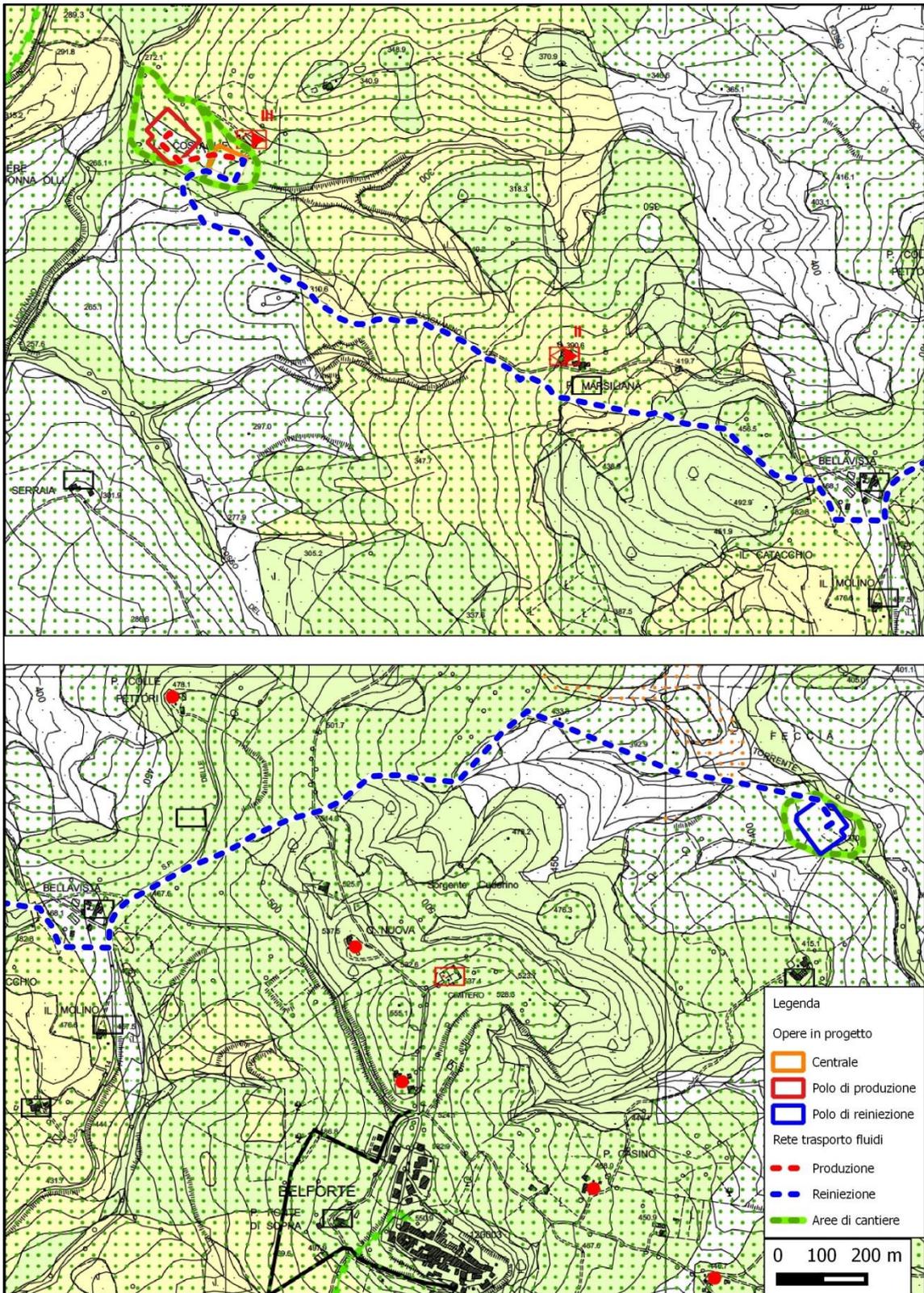


Figura 4-7. Stralcio della Tav11b-Carta della vulnerabilità degli acquiferi del PS del Comune di Radicondoli.

LEGENDA

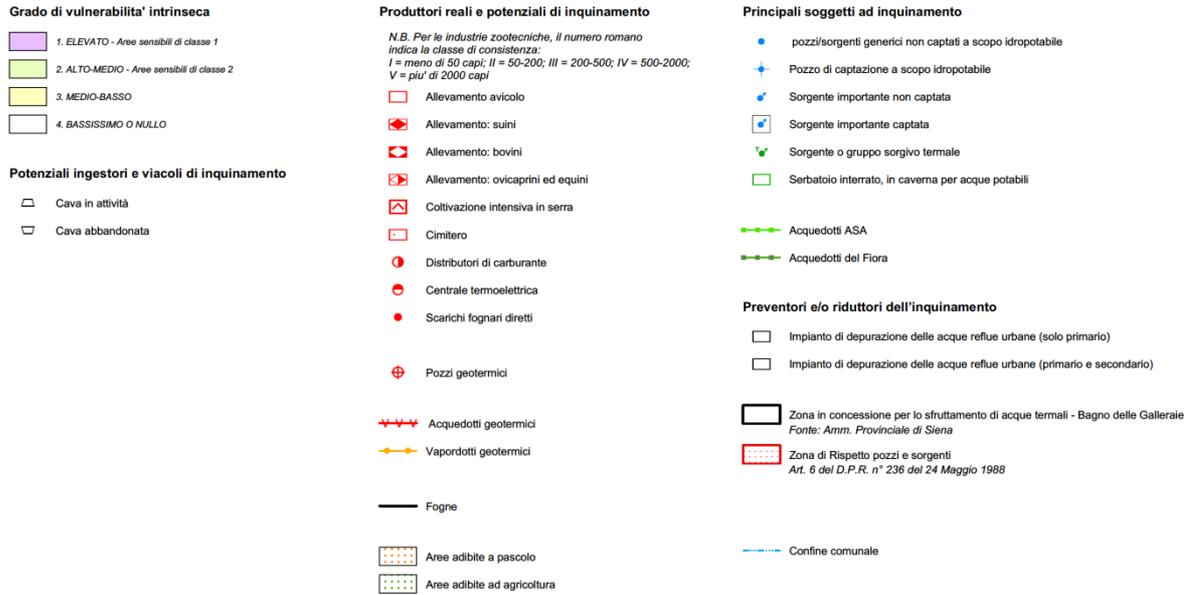


Figura 4-8. Legenda di Figura 4-7.

Tav6-Carta degli aspetti particolari per le zone sismiche. Secondo questa cartografia risulta che (Figura 4-9):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree soggette a instabilit  dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali dovuti a contatti tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse;
- Polo di produzione: ricade in aree soggette a instabilit  dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali dovuti a contatti tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse e per la presenza di depositi di ghiaie e sabbie a granulometria eterogenea, poco addensati suscettibili di densificazione;
- Polo di reiniezione: ricade in aree soggette a instabilit  dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali dovuti a contatti tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse e per la presenza di depositi di ghiaie e sabbie a granulometria eterogenea, poco addensati suscettibili di densificazione;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree soggette a instabilit  dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali dovuti a contatti tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse.

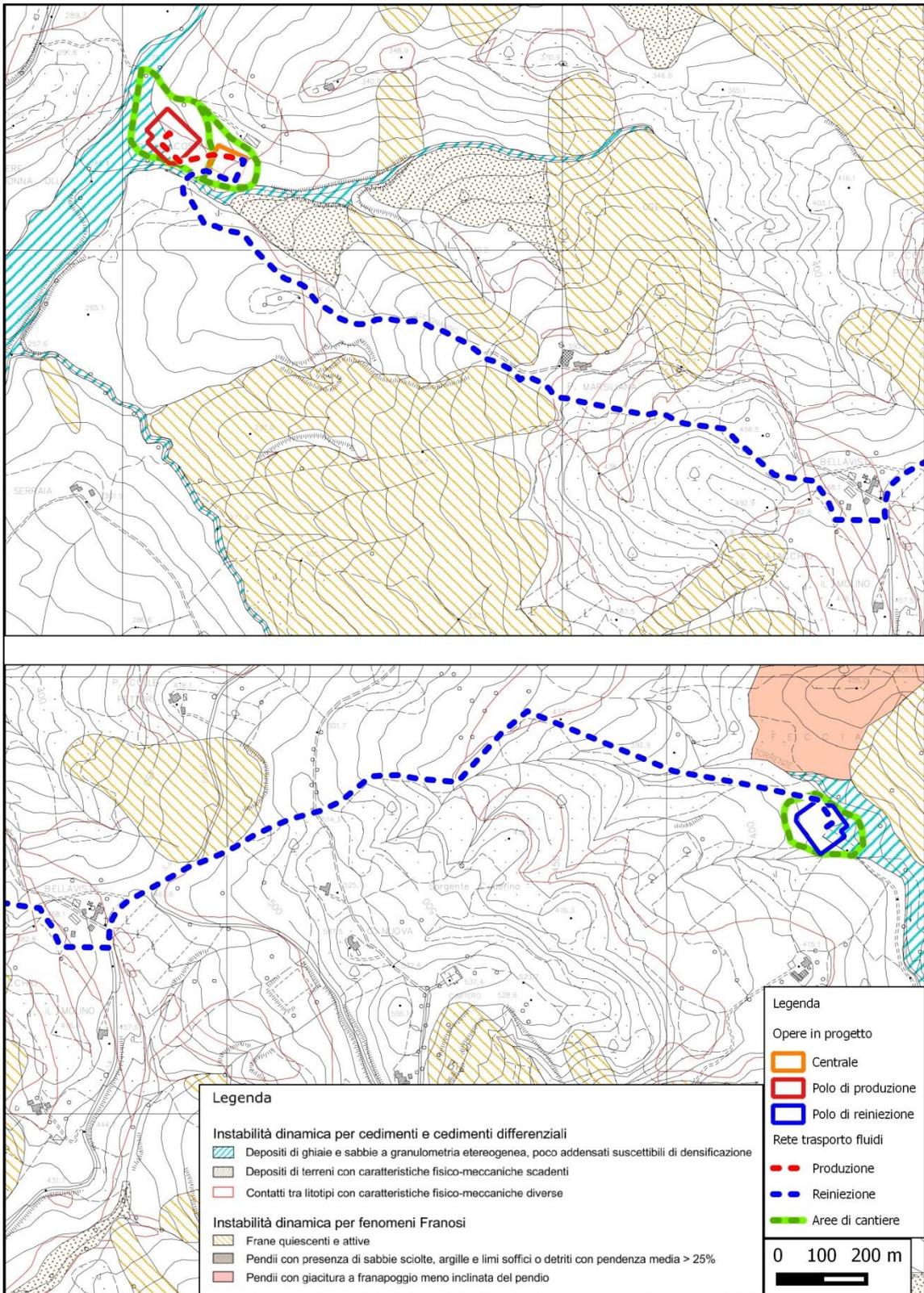


Figura 4-9. Stralcio della Tav6- Carta degli aspetti particolari per le zone sismiche del PS del Comune di Radicondoli.

4.3.1 Classificazione urbanistica del Comune di Radicondoli

Secondo il piano strutturale del Comune di Radicondoli le aree dove andranno a insistere le opere previste dal progetto sono classificate come:

- Polo di produzione Lucignano 1: Zone a prevalente funzione agricola;
- Polo di reiniezione Lucignano 2: Zone a prevalente funzione agricola;
- Centrale geotermoelettrica: Zone a prevalente funzione agricola;
- Rete di trasporto dei fluidi: prevalentemente zone a prevalente funzione agricola, ma saranno attraversate anche aree boscate .

4.4 VINCOLO IDROGEOLOGICO

Secondo la cartografia disponibile attraverso il servizio Geoscopio della Regione Toscana risulta che tutte le opere in progetto ricadono in aree classificate a vincolo idrogeologico (Figura 4-10).

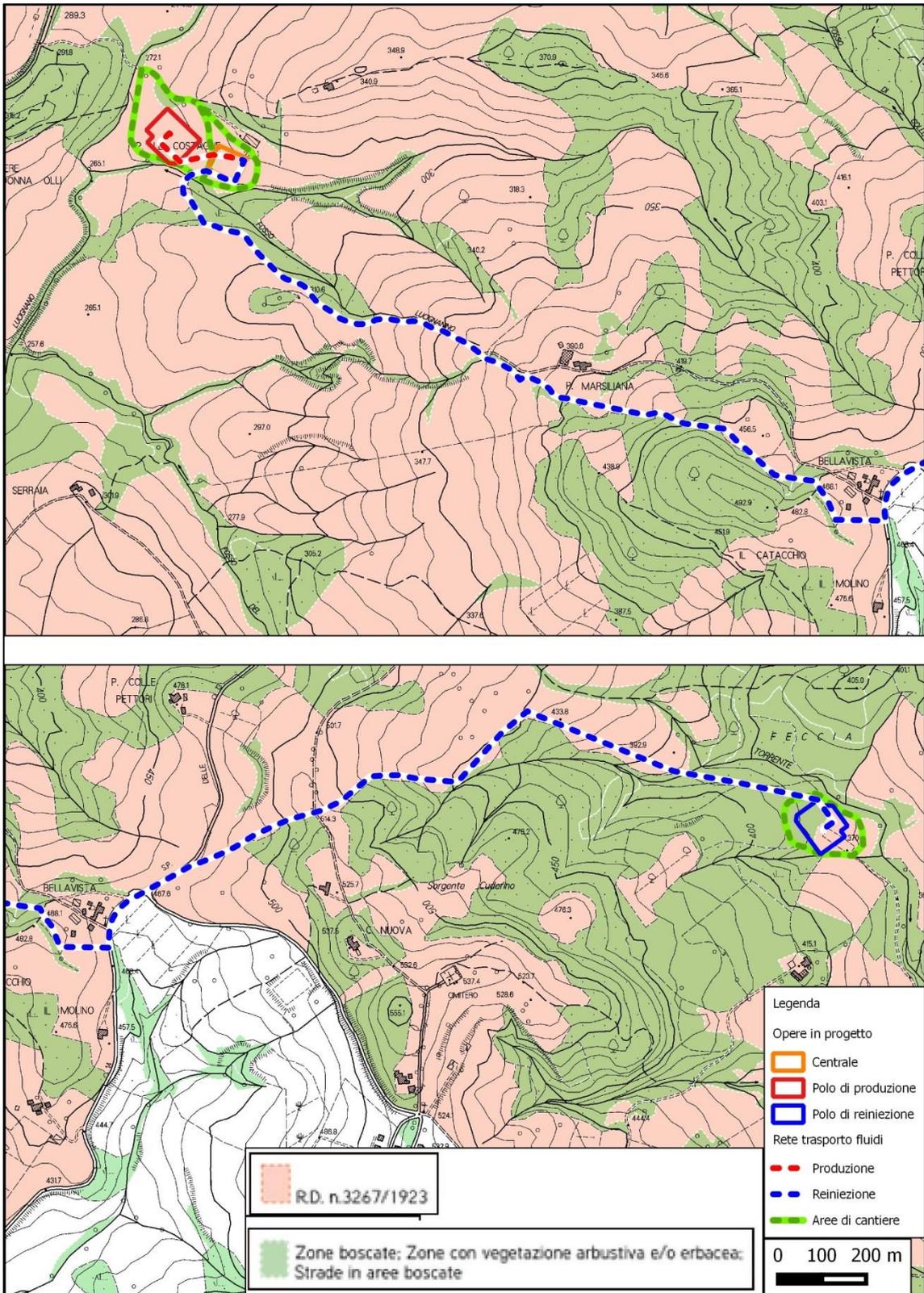


Figura 4-10. Carta del vincolo idrogeologico (Geoscopio Regione Toscana).

In merito alla regimazione delle acque superficiali a seguito dell'esecuzione delle opere in progetto si riporta quanto previsto dal progetto definitivo:

Il polo di produzione e di reiniezione sono dotati di un sistema di regimazione idrica impostato secondo il seguente criterio:

- le acque meteoriche ricadenti dentro le aree pavimentate con solette di cemento armato, vengono raccolte all'interno di canalette in calcestruzzo (sezione 40 x 30 cm) presenti lungo tutto il perimetro della struttura che convogliano all'interno di un pozzetto di raccolta e da lì portate verso la vasca dei reflui di perforazione;
- le acque meteoriche o i fanghi che cadono all'interno della cantina vengono accumulati in tre pozzetti ubicati sul fondo. Dai pozzetti l'acqua o il fango vengono prelevati attraverso un tubo collegato ad una pompa e inviati alle vasche fanghi. In caso sul fondo della cantina fosse presente dell'olio, questo verrà allontanato mediante l'utilizzo di tappeti oleoassorbenti che poi saranno smaltiti a norma di legge. In caso di esito positivo della ricerca le acque piovane ricadenti nella cantina verranno allontanate attraverso i cunicoli verso le vasche per il deposito dell'acqua di perforazione;
- le acque meteoriche ricadenti dentro l'area del piazzale di perforazione e del parcheggio vengono raccolte all'interno di canalette prefabbricate di 30 x 25 cm presenti lungo tutto il perimetro della piazzola e convogliate verso le vasche di stoccaggio delle acque per la perforazione o verso le linee naturali di deflusso;
- le acque meteoriche ricadenti dentro l'area esterna al piazzale di perforazione dove è presente la zona di stoccaggio dello scotico vengono raccolte all'interno di canalette in mezzo tubo prefabbricate presenti lungo tutto il perimetro e convogliate verso le naturali linee di deflusso

25

L'area della centrale geotermoelettrica è provvista invece di un sistema di regimazione idrica impostato secondo il seguente criterio:

- a monte della postazione è stata predisposta una canaletta per la raccolta delle acque meteoriche provenienti dalle aree morfologicamente più elevate, in modo da intercettarle e convogliarle verso i compluvi naturali preesistenti;
- le acque meteoriche ricadenti dentro le aree pavimentate con solette di cemento armato, vengono raccolte all'interno di canalette in calcestruzzo (sezione 40 x 30 cm) presenti lungo tutto il perimetro della struttura che convogliano all'interno di un pozzetto di raccolta e da lì portate verso la vasca di prima pioggia;
- le acque meteoriche ricadenti dentro l'area degli air-cooler vengono raccolte all'interno di alcuni pozzetti e convogliate verso i compluvi

naturali preesistenti;

- le acque meteoriche ricadenti dentro l'area del piazzale e del parcheggio, vengono raccolte all'interno di pozzetti collegati tramite tubi prefabbricati, e convogliate verso i compluvi naturali preesistenti. La postazione è dotata anche di canalette prefabbricate presenti lungo tutto il perimetro della piazzola;
- gli scarichi civili provenienti dai servizi igienici contenuti nell'edificio adibito ad uffici, per un carico totale di 8 abitanti equivalenti, vengono raccolti all'interno di una vasca interrata. Con cadenza settimanale, si provvederà allo svuotamento mediante aspirazione con pompa mobile; i liquami saranno caricati su autobotte e avviati all'impianto di depurazione per il successivo smaltimento.

5 PERICOLOSITÀ DEL SITO IN ESAME AI SENSI DEL PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI RADICONDOLI

Il Comune di Radicondoli si è dotato all'interno del Piano Strutturale dei seguenti elaborati inerenti la pericolosità:

Tav5c-Carta degli ambiti e della pericolosità idraulica. Secondo questa cartografia risulta che (Figura 5-1):

- Centrale geotermoelettrica: solo parte dell'area di cantiere ricade in aree classificate a pericolosità 3-media; 26
- Polo di produzione: ricade in aree classificate in classe 2-pericolosità bassa, parte dell'area di cantiere ricade in aree classificate a pericolosità 3-media;
- Polo di reinizione: ricade in aree classificate in classe 2-pericolosità bassa e pericolosità 3-media;
- Rete di trasporto dei fluidi: alcuni tratti della rete attraversano aree ricadenti in classe 3-pericolosità media.

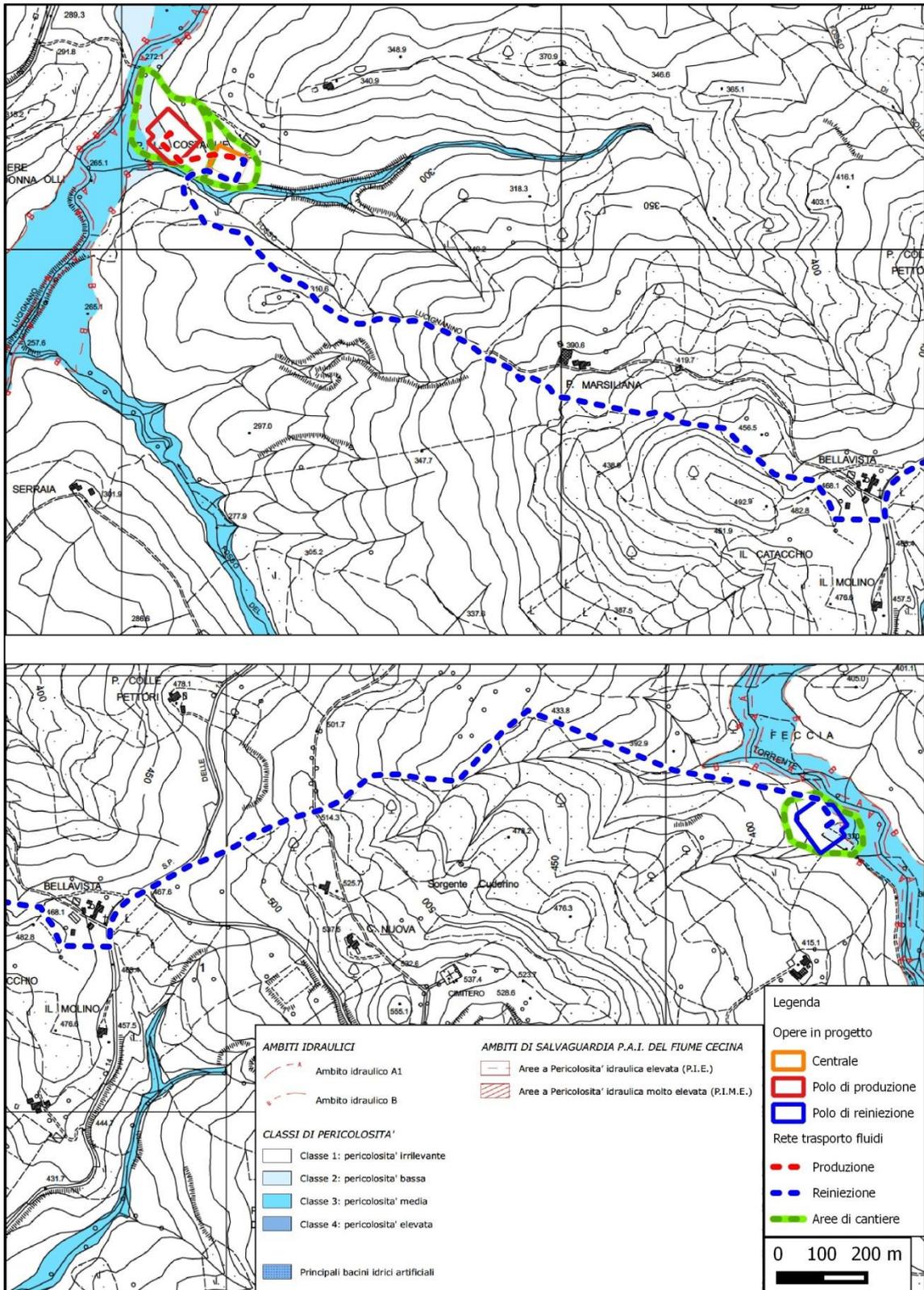


Figura 5-1. Stralcio della Tav5c-Carta degli ambiti e della pericolosità idraulica del PS del Comune di Radicondoli

Tavola 10-“Carta della pericolosità” ottenuta combinando le indicazioni provenienti dalla carta della stabilità potenziale con i vari aspetto di degrado in atto o quiescenti dei versanti. Secondo questa cartografia risulta che (Figura 5-2):

- Centrale geotermoelettrica: ricade in aree classificate 2-pericolosità bassa, una parte del cantiere ricade in classe 3-pericolosità media per fattori geomorfologici e in classe 3i-pericolosità media per fattori idraulici;
- Polo di produzione ricade in aree classificate 2-pericolosità bassa, una parte del cantiere ricade in classe 3-pericolosità media per fattori geomorfologici e in classe 3i-pericolosità media per fattori idraulici, un piccola parte del cantiere edile rientra in classe 4-pericolosità elevata per fenomeni geomorfologici attivi;
- Polo di reinizione: ricade in aree classificate 2-pericolosità bassa, una parte del cantiere ricade in classe 3-pericolosità media per fattori geomorfologici e in classe 3i-pericolosità media per fattori idraulici;
- Rete di trasporto dei fluidi: ricade in aree classificate 2-pericolosità bassa, una parte del cantiere ricade in classe 3-pericolosità media per fattori geomorfologici.

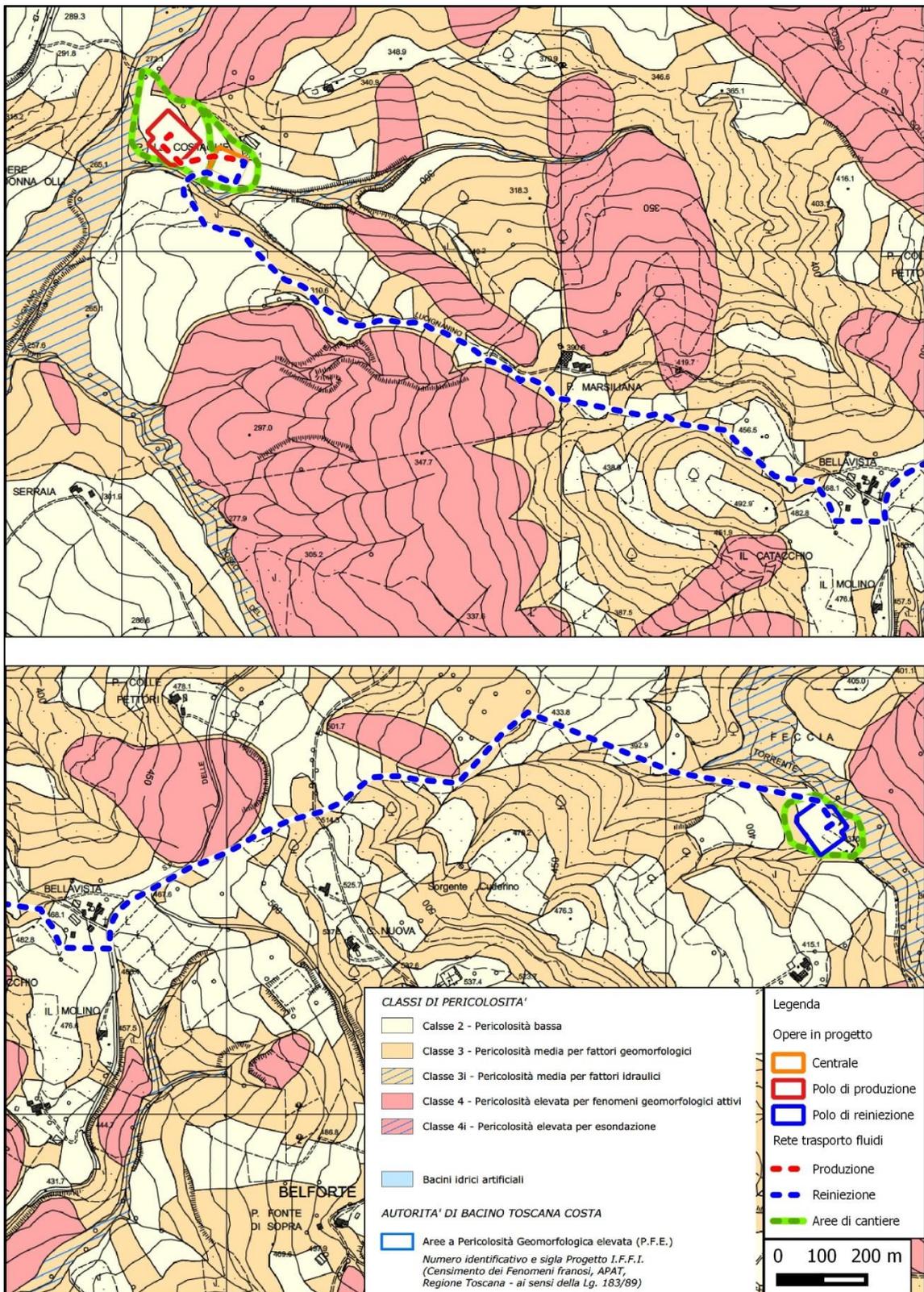


Figura 5-2. Stralcio della Tav10- Carta della pericolosità del PS del Comune di Radicondoli.

All'interno della relazione "Integrazione alle indagini geologico-tecniche di supporto alla redazione del Piano Strutturale" del Comune di Radicondoli viene data la seguente definizione per le varie classi:

Classe 2-Pericolosità bassa. Corrisponde a situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili sulle quali però permangono dubbi che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.

Classe 3-Pericolosità media. Non sono presenti fenomeni attivi, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trova al limite dell'equilibrio e/o può essere interessato da fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica o di liquefazione o interessato da episodi di alluvionamento o difficoltoso drenaggio delle acque superficiali. In questa zona ogni intervento edilizio è fortemente limitato e le indagini di approfondimento dovranno essere condotte a livello dell'area nel suo complesso, sono inoltre da prevedersi interventi di bonifica e miglioramento dei terreni e/o l'adozione di tecniche fondazionali di un certo impiego.

Classe 4-Pericolosità elevata. In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto attivi o fenomeni di elevata amplificazione della sollecitazione sismica e liquefazione dei terreni. Questo grado di pericolosità pone quindi forti limitazioni d'interventi che comunque dovrà essere giustificato, preliminarmente, da studi geologici, geotecnici ed idraulici di dettaglio intesi a fornire programmi di bonifica, etc., tali da consentire gli eventuali interventi programmati.

30

6 FATTIBILITÀ AI SENSI DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI RADICONDOLI

Per le aree extraurbane, secondo il RU del Comune di Radicondoli, valgono le pericolosità individuate dal PS comunale approvato con Del. n° 12 del 20.04.2009 ai sensi del D.C.R. 94/1985; in adeguamento al D.P.G.R. 53/R 2011 le aree individuate nelle TAVV. 5a/b/c/d e 10a/b/c/d seguono le corrispondenze riportate in Tabella 6-1.

Pericolosità ai sensi del DCR 94/1985	Pericolosità ai sensi del DPGR 53/R 2011
Pericolosità geologica elevata (classe 4)	Pericolosità geomorfologica molto elevata (G.4)
Pericolosità geologica media (classe 3)	Pericolosità geomorfologica elevata (G.3)
Pericolosità geologica bassa (classe 2)	Pericolosità geomorfologica media (G.2)
Pericolosità idraulica elevata (classe 4)	Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)
Pericolosità idraulica media (classe 3)	Pericolosità idraulica elevata (I.3)
Pericolosità idraulica bassa (classe 2)	Pericolosità idraulica media (I.2)
Pericolosità idraulica bassa (classe 1)	Pericolosità idraulica bassa (I.1)

Tabella 6-1. Classi di pericolosità.

Le opere in progetto ricadono nelle classi di pericolosità di Tabella 6-2.

Opera in progetto	Pericolosità ai sensi nel Piano Strutturale	Pericolosità ai sensi del DPGR 53/R 2011
Centrale geotermoelettrica	3-pericolosità media per fattori geomorfologici 3i-pericolosità media per fattori idraulici	G.2 I.2
Polo di produzione	3-pericolosità media per fattori geomorfologici 4-pericolosità elevata per fenomeni geomorfologici attivi 3i-pericolosità media per fattori idraulici	G.2 G.4 I.2
Polo di reiniezione	3-pericolosità media per fattori geomorfologici 3i-pericolosità media per fattori idraulici	G.2 I.2
Rete trasporto fluidi	3-pericolosità media per fattori geomorfologici.	G.2

Tabella 6-2. Corrispondenza tra le classi di pericolosità del PS del Comune di Radicondoli e quelle del DPGR 53/R 2011.

Secondo il RU del Comune di Radicondoli nel territorio extraurbano l'assegnazione della fattibilità in relazione alla trasformazione in progetto e alle condizioni di pericolosità geomorfologica e idraulica riscontrate avviene secondo i criteri riportati nella seguente Tabella 6-3

31

Tipo di intervento	Fattibilità						
	Pericolosità idraulica				Pericolosità geologica		
	I.1	I.2	I.3 PIE	I.4 PIME	G.2	G.3 PFE	G.4 PFME
Nuova edificazione ed interventi sul patrimonio edilizio esistente con ampliamenti, sopraelevazioni ed altri interventi che comportino sovraccarichi sul terreno e/o sulle fondazioni. Demolizione e ricostruzione configurabile come Sostituzione Edilizia.	F.1	F.2	na ⁽³⁾	na ⁽³⁾	F.2	F.3	na ⁽⁴⁾

Tabella 6-3. Classi di fattibilità.

Pertanto le opere in progetto ricadono nelle classi di fattibilità della Tabella 6-4

Opera in progetto	Fattibilità
Centrale geotermoelettrica	F.2
Polo di produzione	F.2 na ⁽⁴⁾
Polo di reiniezione	F.2
Rete trasporto fluidi	F.2

Tabella 6-4. Classi di fattibilità per le opere in progetto.

Secondo il RU del Comune di Radicondoli risulta che:

Classe na⁽⁴⁾

Non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o di nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica e sistemazione.

Classe di Fattibilità F.2-Fattibilità con normali vincoli

1. La classe di fattibilità F.2 si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
2. Le Relazioni geologica e geotecnica sono parte integrante della documentazione da presentare ai fini del rilascio del titolo abilitativo dell'attività edilizia e la loro presentazione è condizione essenziale per ottenere il parere delle Commissioni e degli Enti preposti. Le relazioni geologica e geotecnica e le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche dovranno essere realizzate secondo le modalità espresse nelle NTC e nel DPGR 36/R 2009 e successive integrazioni e modifiche normative.
3. Per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria che non comportino sovraccarichi sul terreno e/o sulle fondazioni, la caratterizzazione geologico-tecnica dell'area di intervento sarà ricostruita attraverso profili stratigrafici ottenuti per mezzo di scavi in trincea o pozzetti di ispezione; i parametri geotecnici necessari possono essere derivati anche indirettamente attraverso i risultati di indagini geognostiche condotte in aree limitrofe e già note per assetti geologici assimilabili.
4. Per gli interventi di restauro, ristrutturazione edilizia e nuova costruzione, la caratterizzazione e modellazione geologica, litotecnica ed idrogeologica dell'area di intervento dovrà essere ottenuta tramite opportune indagini geognostiche che riguarderanno il volume significativo di terreno influenzato direttamente o indirettamente dal manufatto stesso. La campagna delle indagini geognostiche dovrà essere programmata in funzione dell'intervento in progetto, in numero e disposizione tale da ottenere un modello geotecnico attendibile del sottosuolo. I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni

dovranno essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e/o attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito. La realizzazione di scavi/riporti di terreni, anche temporanei, con fronti verticali o subverticali deve essere effettuata nel rispetto delle verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e delle analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE); per i fronti di altezza superiore ai 2 mt. dovranno essere previste armature di sostegno delle pareti.

5. Nelle aree destinate a verde, compatibilmente con le destinazioni progettuali, la sistemazione morfologica dovrà contribuire alla stabilità generale dei terreni, attraverso il rimodellamento del versante, piantumazione di specie vegetali stabilizzanti, regimazione delle acque superficiali.

Fattibilità degli interventi nelle aree a pericolosità idraulica

1. Nelle aree di fondovalle interessate da Pericolosità Idraulica Media I.2, tutti gli interventi sul patrimonio edilizio esistente o nuova edificazione dovranno essere tali da non modificare negativamente il normale deflusso delle acque superficiali, attraverso il mantenimento e, ove ritenuto necessario, il potenziamento del reticolo di drenaggio esistente. La progettazione dovrà essere realizzata in modo da non favorire ristagni ed accumuli di acque superficiali che dovranno essere raccolte in apposite opere di contenimento o allontanate separatamente dalle acque reflue.
2. Nelle aree di fondovalle, interessate da Pericolosità Idraulica Elevata e Molto Elevata, in cui non sono stati effettuati studi idraulici o per le quali non esistono attualmente progetti di messa in sicurezza, non sono ammissibili nuove edificazioni o trasformazioni dell'esistente fino all'esecuzione di specifici studi idraulici sulla base della piena con tempo di ritorno duecentennale; tali studi dovranno costituire elemento di base per la progettazione e il dimensionamento degli interventi di messa in sicurezza delle aree in trasformazione e l'attribuzione della classe di fattibilità. Gli studi idraulici e gli eventuali interventi di messa in sicurezza previsti dovranno costituire Variante al vigente Strumento Urbanistico.
3. Nelle aree di fondovalle, interessate da Pericolosità Idraulica Molto Elevata ed Elevata in cui sono stati effettuati studi idraulici specifici valgono le disposizioni di cui agli Art.62.1 e 62.2.

33

Secondo l'art 62.2-prescrizioni per le aree a Pericolosità idraulica elevata risulta che:

6. Non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture, compresi i parcheggi con dimensioni superiori a 500 metri quadri e/o i parcheggi in fregio ai corsi d'acqua, per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni. Fanno eccezione i parcheggi a raso con dimensioni inferiori a 500 mq e/o i parcheggi a raso per i quali non sono necessari interventi di messa in sicurezza e i parcheggi pertinenziali privati non eccedenti le dotazioni minime obbligatorie

di legge, purché sia dimostrato che non determinino pericolo per persone e beni, non aumentino le pericolosità in altre aree; ove necessario, dovranno essere adottate idonee misure per ridurre la vulnerabilità.

7. Gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle. Ai fini dell'incremento del livello di rischio, laddove non siano attuabili interventi strutturali di messa in sicurezza, possono non essere considerati gli interventi urbanistico-edilizi comportanti volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 200 metri cubi in caso di bacino sotteso dalla previsione di dimensioni fino ad 1 chilometro quadrato, volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 500 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni comprese tra 1 e 10 kmq, o volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 1000 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni superiori a 10 kmq.

7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'Appennino meridionale è storicamente ritenuta una catena a falde generata dalla deformazione delle unità derivate dal Dominio oceanico ligure e dal margine continentale Apulo.

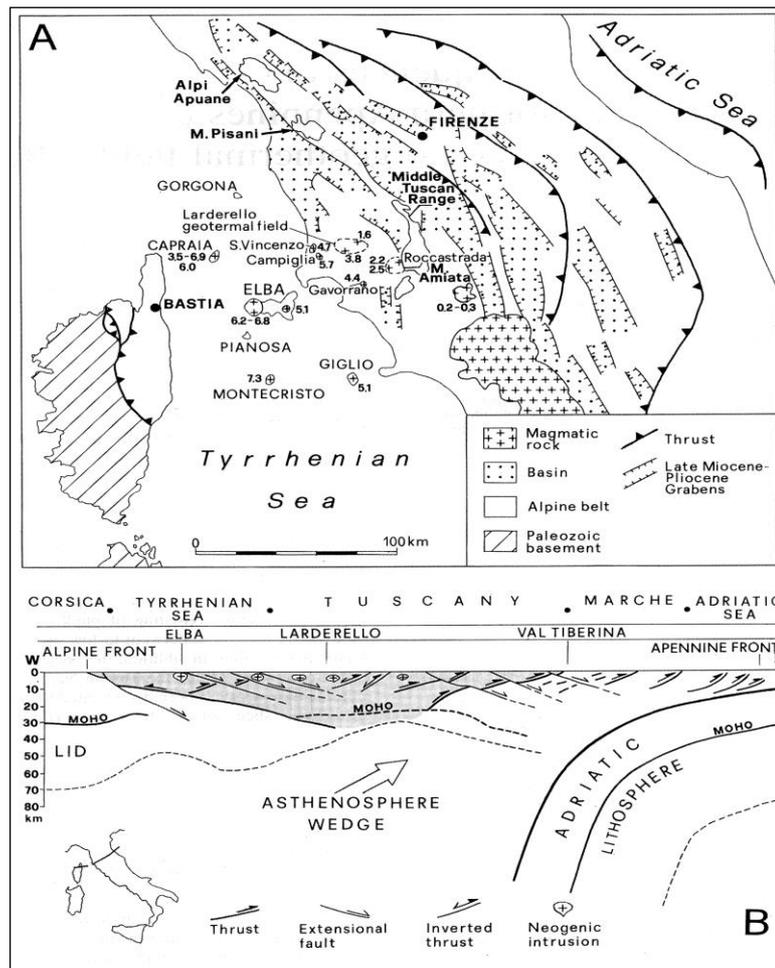


Figura 7-1. Quadro strutturale dell'Appennino Settentrionale (tratto da Carmignani et al., 1995; Doglioni et al., 1998).

A partire dal Cretacico superiore la Placca Europea (Blocco Sardo-Corso) ha incominciato ad avvicinarsi alla Placca Africana (Microplacca Adriatica) con formazione di un cuneo d'accrezione in cui è coinvolto il Dominio Oceanico Ligure e Subligure che porta ad alla formazione di importanti e complesse strutture tettoniche e al rovesciamento di tutta la successione sedimentaria. Nell'Oligocene superiore si ha la definitiva collisione tra la Placca Europea e la Microplacca Adriatica determinando l'accavallamento delle unità ofiolitiche e delle loro coperture sul paleomargine continentale apulo con formazione di una catena a pieghe e sovrascorrimenti con direzione di movimento verso nord-est (cuneo orogenetico dell'Appennino Settentrionale). Nel contempo si ha la migrazione dell'avampaese verso nord-est e attualmente è ubicato in corrispondenza della Pianura Padana e del Mare Adriatico (Figura 7-1)

A partire dal Tortoniano si instaura una fase distensiva con faglie dirette a basso e ad alto angolo che porta alla formazione nella Toscana settentrionale dei graben del Serchio e della Versilia, nella Toscana meridionale ai bacini neogenici di Volterra e Radicondoli. La tettonica distensiva Miocenica porta ad un sollevamento isostatico ed

erosione delle unità stratigraficamente più alte con conseguente esumazione del complesso metamorfico apuano (Figura 7-2).

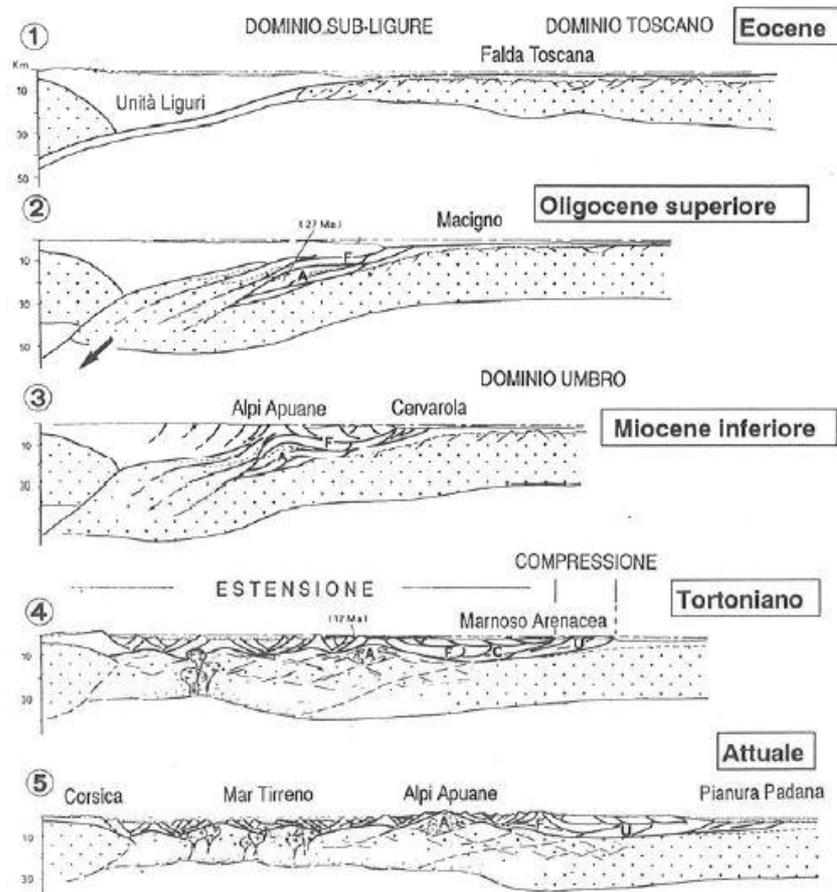


Figura 7-2. Evoluzione della catena Appenninica.

All'interno della catena appenninica settentrionale vengono tradizionalmente distinti i seguenti domini paleogeografici: Dominio Ligure e Subligure e il Dominio Toscano (interno e esterno) che sono sovrapposti a formare un edificio a falde (Figura 7-2).

Il Dominio Ligure comprende un basamento oceanico e le sovrastanti coperture pelagiche risalenti al Giurassico-Cretacico inferiore e i flysh cretacico-paleogenici scollati dal loro substrato. Il Dominio Subligure invece comprende successioni risalenti al Cretacico-Eocene in *melange* con elementi di ofioliti e flysh a dominante calcarea completamente scollati dal loro substrato.

Il Dominio Toscano interno (Unità tettonica della Falda Toscana) è rappresentata da una successione stratigrafica di terreni sedimentari non metamorfici di età dal Triassico superiore al Miocene. Il Dominio Toscano esterno (Unità Toscane metamorfiche) rappresentano le unità più profonde dell'edificio orogenico (Alpi Apuane) e sono costituite principalmente da filladi e quarziti del basamento cristallino paleozoico e dai soprastanti metaconglomerati quarzosi, filladi e quarziti del Triassico medio-superiore.

La tettonica estensionale che si sviluppa a partire dal Miocene Superiore porta allo sviluppo di ampi bacini sedimentari delimitati da faglie dirette ad alto angolo che progressivamente vengono colmati da successioni del Miocene Superiore – Pliocene. A questa tettonica distensiva è associato un diffuso magmatismo che si sposta in modo progressivo da ovest verso est. I corpi magmatici, sia intrusivi che effusivi, si sviluppano a partire dal Miocene Superiore (6.2-6.8 ma - Isola d'Elba) fino al magmatismo più recente (800 K), rappresentato dall'edificio vulcanico del Monte Amiata e di Radicofani. E' in relazione a questo processo di estensione crostale e all'associato magmatismo, che in Toscana meridionale si origina un alto flusso di calore, come nella zona Larderello-Travale e del Monte Amiata, che ha permesso lo sviluppo dei campi geotermici che sono attualmente in coltivazione.

7.1.1 Faglie capaci

L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) ha sviluppato la banca dati ITHACA (Italy HAZard from CAPable faults) che raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardanti le strutture tettoniche attive in Italia che potrebbero creare deformazioni in superficie. Secondo questo database nell'area di realizzazione del progetto non sono presenti faglie capaci (Figura 7-3).

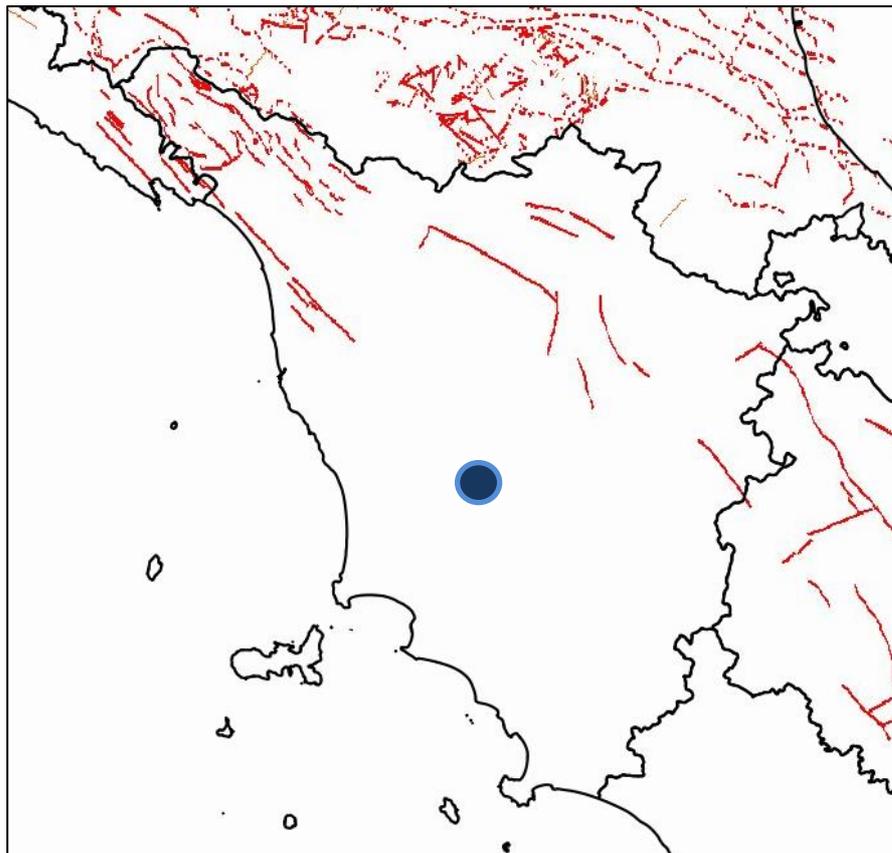


Figura 7-3. Banca dati ITHACA. Faglie capaci (linee rosse), Sito di progetto: cerchio blu.

7.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'area oggetto di questa relazione si trova a sud dell'abitato di Radicondoli. Le formazioni geologiche che affiorano nell'area dove saranno realizzate le opere in progetto sono derivabili dalla carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Toscana foglio 296130 (Figura 7-4). Questa cartografia è stata verificata durante i sopralluoghi effettuati nell'ambito di questo lavoro.

L'area di studio ricade all'interno del Bacino di Radicondoli che è uno dei principali bacini sedimentari medio-tardo-Miocenici della Toscana meridionale. Il Bacino di Radicondoli è delimitato ad oriente dal *Middle Tuscan Range* ed ad occidente dalle Colline Metallifere e consta di una depressione tettonica orientata NNO-SSE lunga circa 60 Km e larga 14-18 Km. Si tratta quindi di una depressione strutturale con una forma concava verso l'alto che è stata colmata da sedimenti Miocenici che affiorano principalmente nel settore meridionale del bacino. Successivamente questi depositi sono stati sepolti dai sedimenti Pliocenici del Bacino di Volterra a Nord e dai sedimenti Pliocenici e Villafranchiani a Sud.

L'area dove verrà realizzato l'intervento è caratterizzata dalla presenza prevalente di depositi afferenti alle unità neogeniche in particolare quelli della Formazione del Torrente Raquese (RAQ), del Torrente Foschi (FOS) e dei Conglomerati di Lago Boracifero (CLB).

Il sopralluogo ha messo in evidenza che le unità del substrato sono ricoperte da depositi di versante (a) e da alcuni depositi di frana (a1) che testimoniano una certa dinamica di versante, nonché da una copertura detritica diffusa derivante in parte dal disfacimento delle unità del substrato ad opera di agenti atmosferici e in parte dovuta alla attività agricola e/o pastorizia. Lungo i bordi dei corsi d'acqua principali si rinvengono depositi alluvionali e alluvioni terrazzate.

Sia la cartografia ufficiale che le foto aeree mostrano la presenza di numerose lineazioni riconducibili verosimilmente a strutture tettoniche (faglie). La carta geologica mostra che nell'area di intervento sono presenti due strutture con direzione appenninica, una in corrispondenza del polo di produzione e una che interseca la rete di trasporto di reiniezione dei fluidi all'altezza della località Bellavista dove è presente anche una faglia con andamento antiappenninico. Durante il sopralluogo non sono stati riscontrati segni o forme che possono fare ritenere come attive queste strutture.

Di seguito viene fornita una descrizione delle unità geologiche del substrato e di copertura affioranti nell'area di indagine.

Depositi olocenici

a-depositi di versante (Olocene). Si tratta di depositi detritici spigolosi a varia granulometria accumulati per gravità alla base e sopra i versanti rocciosi più acclivi. Sono prevalentemente costituiti da blocchi privi di matrice oppure immersi in sedimento sabbioso-limoso.

a1-Depositi di frana (Olocene). Sono depositi generati dall'accumulo caotico di elementi litoidi eterometrici ed eterogenei mal classati sciolti privi di matrice oppure immersi in matrice sabbioso-limosa. Sono distribuiti sia sulle aree di fondovalle sia sui pendii con forme sia concave che convesse. Si riconoscono forme sia attive che quiescenti con varie tipologie di meccanismo di formazione.

b-depositi alluvionali (Olocene). Si tratta di depositi costituiti da ghiaie, talora embricate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, generalmente incoerenti e caotici con clasti eterometrici ed eterogenei, da arrotondati a subarrotondati, la cui distribuzione e granulometria è soggetta alle variazioni della dinamica fluviale.

bn1-Depositi alluvionali terrazzati (Olocene). Sono costituiti da ciottoli e/o ghiaie, sabbie e limi, con clasti imbricati e hanno dimensioni centimetriche fino a decimetriche. Si trovano ubicati a quote maggiori rispetto all'attuale livello del corso d'acqua.

Successione Neogenica

CLB-Conglomerati di Lago Boracifero (Piacenziano). Questi depositi sono composti da conglomerati di colore grigio, talvolta mal stratificati e ben cementati, talaltra in strati di 30-40 cm di spessore e poco cementati. I ciottoli, generalmente di dimensioni contenute (2-15 cm), possono arrivare anche a diametri di 30 cm. Essi sono costituiti da calcari appartenenti alle formazioni liguri s.l..

EMO-Argille e gessi del F. Era Morta (Messiniano Sup.). Sono caratterizzati principalmente da una litofacies argillosa-sabbiosa e subordinatamente da livelli e lenti di gesso (EMO_g).

ULI-Conglomerati di Ulignano (Messiniano Sup.). Si tratta di conglomerati in strati (spessi 50-100 cm) alternati a livelli arenacei; sono prevalentemente grano-sostenuti, con elementi eterometrici (da 1 a 15 cm) principalmente derivanti dal disfacimento delle unità liguri.

RAQ-Formazione del Torrente Raquese (Messiniano Inf.). La formazione si compone di tre litofacies: una parte inferiore costituita da gessi (RAQ_g), una intermedia da argille debolmente sabbiose alle quali si intercalano arenarie a grana medio-fine (RAQ_a), una medio-superiore essenzialmente argillosa (RAQ). I gessi della porzione inferiore costituiscono un livello rappresentato da selenite e gessoareniti, riferibili rispettivamente a deposizione chimica e clastica, o da alabastro, derivato da processi diagenetici. Il gesso selenitico si presenta in banchi dello spessore di alcuni metri; i cristalli lunghi fino a 30 cm, sono geminati "a ferro di lancia" con punta di norma rivolta verso il basso. Le gessoareniti, di colore grigio-nocciola e a grana media prevalente, affiorano in banchi in stati di limitato spessore (12-20 cm); esse sono caratterizzate da una generale struttura laminitica e si accompagnano a livelli di argilla da millimetrici a decimetrici. L'alabastro, di colore ceruleo e dell'aspetto nodulare, affiora in banchi di spessore anche superiore al metro. La parte intermedia della formazione è caratterizzata da una litofacies costituita da argille debolmente sabbiose di colore grigio o grigio-nocciola, alle quali si intercalano arenarie calcaree marroni o giallastre, a grana

medio-fine (RAQ_a). Le argille costituiscono intervalli spessi fino ad 1 metro, mentre le arenarie si presentano generalmente in strati dello spessore medio di 10 centimetri. Lo spessore massimo di questa litofacies è di circa 40 metri. La porzione medio-superiore della formazione è rappresentata da argille e argille sabbiose all'interno delle quali si rinvengono lenti di gesso di dimensioni variabili (di norma gessoarenti ed alabastro). Le argille si presentano in genere massicce, mal stratificate e di colore grigio cenere. In questa porzione, spessa fino a circa 40 m, si osservano anche strati centimetrici di arenarie e piccole lenti di ciottoli, prevalentemente calcarei e di dimensioni medie di 1,5 cm.

FOS-Argille del T. Fosci (Tortoniano Sup.-Messiniano Inf.). La formazione è costituita da argille grigie massicce, talvolta caratterizzate da sottili intercalazioni di arenarie, di conglomerati minuti e, più raramente, di marne. Non è infrequente rinvenire sottili lenti e livelli di lignite.

SLE-Formazione del Torrente Sellate (Tortoniano Sup.-Messiniano Inf.). I depositi di questa unità si presentano come lingue e lenti all'interno delle Argille del Torrente Fosci (FOS). Sono state cartografate due litofacies: le arenarie della Caprareccia (SLE_r) e i conglomerati di M. Soldano (SLE_c). La prima litofacies è costituita da arenarie poco coerenti, di colore giallo-ocra, più raramente grigio. A granulometria da media a grossolana e gradazione sia normale sia inversa. Lo spessore massimo delle arenarie della Caprareccia è valutato dell'ordine di circa 100 m. La seconda litofacies si presenta in pacchi di strati lenticolari e tabulari, talora parzialmente amalgamati, in sequenze positive e negative. I conglomerati di M. Soldano sono clasto-sostenuti e la matrice è arenacea. I clasti mostrano dimensioni generalmente comprese tra pochi centimetri e qualche decimetro e forma da arrotondata a sub-arrotondata e provengono quasi esclusivamente da formazioni del Dominio Ligure. Lo spessore massimo dei conglomerati di Monte Soldano è di circa 60 m.

40

Dominio Ligure

APA-Argille a Palombini (Cretacico Inf.). Questa formazione costituisce la parte più cospicua del Complesso ofiolitifero. Sono costituite da argilliti (80-60%) e subordinatamente, da siltiti e marne di colore grigio scuro o nocciola. A questi litotipi sono intercalati calcari, calcari silicei e calcari marnosi, di colore variabile dal grigio piombo al grigio chiaro. In maniera del tutto subordinata sono presenti arenarie e calcareniti a grana fine, di colore grigio. Gli strati calcarei hanno una potenza variabile da dieci centimetri a circa 1 metro mentre gli intervalli argillosi mostrano, in genere, spessori superiori al metro.

MTV-Formazione di Monteverdi (Cretaceo Sup.-Paleocene). Si tratta di un flysch ad Helmintoidi costituito da sequenze torbidity arenaceo-calcareo-marnose, anche molto potenti, in cui sono scarsamente o affatto rappresentati i litotipi a granulometria grossolana. La base delle sequenze è sovente caratterizzata da calcareniti o arenarie calcarifere, da fini a molto fini, che presentano laminazione piano parallela o debolmente

ondulata. La gradazione non è molto evidente come pure sono scarse le impronte di fondo. Gli strati arenacei, di spessore raramente superiore a 1-2 m, passano verso l'alto a marne o a calcari marnosi e, subordinatamente, a siltiti laminate che sfumano ad argilliti.

RCH-Argilliti e calcari di Poggio Rocchino (Albiano-Cenomaniano). La formazione è costituita principalmente da argilliti varicolori mangesifere e, subordinatamente, da marne, calcari marnosi e calcareniti. La porzione calcareo marnosa è localmente più sviluppata, con strati che raggiungono anche i 2 metri.

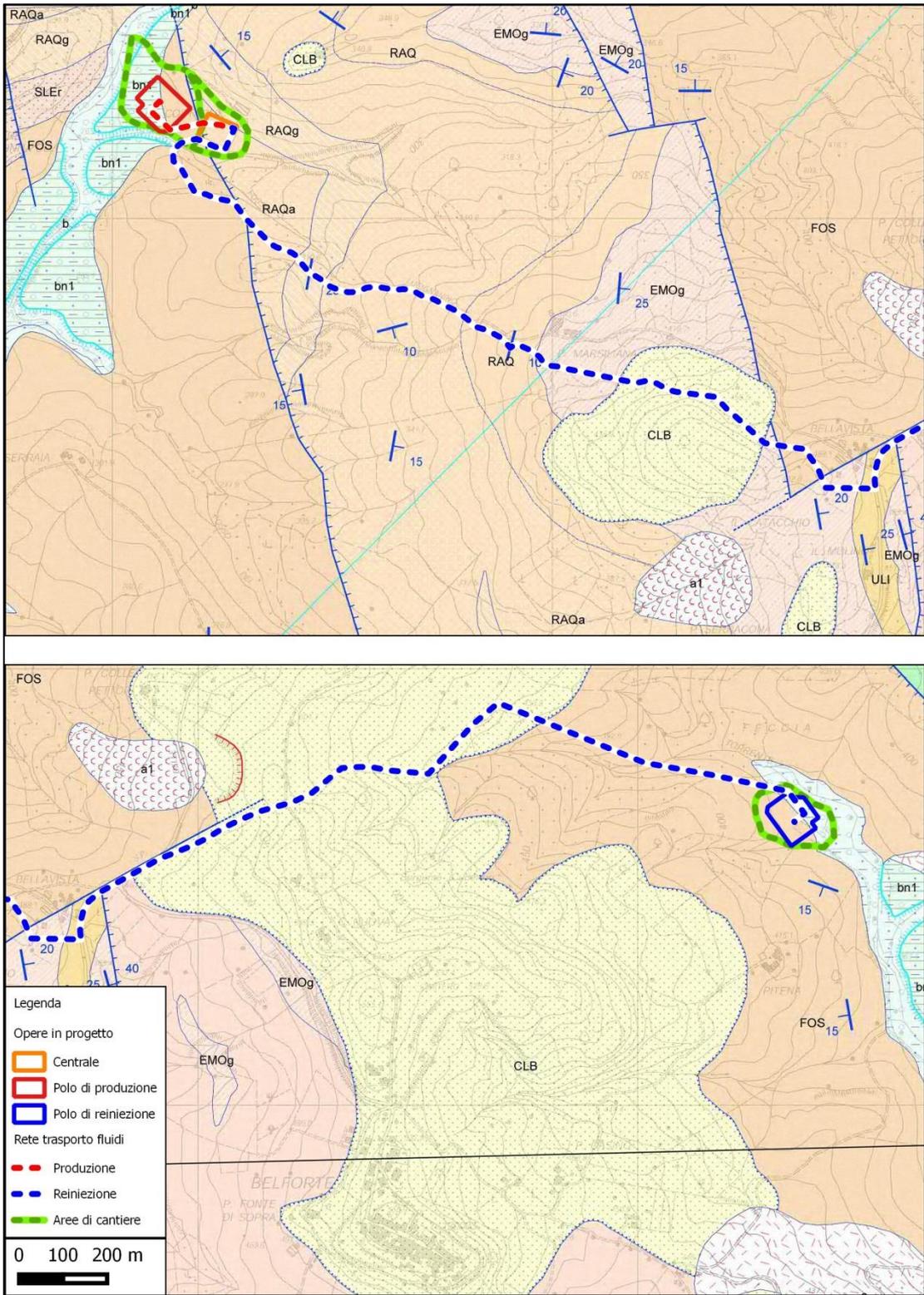


Figura 7-4. Stralcio della Carta Geologica scala 1:10000 della Regione Toscana foglio 296130.

LEGENDA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA Carta Geologica Regionale della Regione Toscana

Depositi Quaternari

	a1	Depositi di frana attiva
	a1q	Depositi di frana senza indizi di evoluzione
	a	Depositi detritici di versante
	b (GS)	Depositi alluvionali attuali
	b (GSs)	Depositi alluvionali attuali
	bn1 (GS)	Depositi alluvionali terrazzati
	bn1 (GSs)	Depositi alluvionali terrazzati
	bn1 (GsS)	Depositi alluvionali terrazzati
	b2	Depositi eluvio-colluviali

DEPOSITI NEOGENICI

	CHD	Formazione di Chiusdino
	CHD1	Conglomerati di M. Capino
	SDA1	Calcere di Pomarance
	CLB	Conglomerati di Lago Boracifero
	EMO	Argille e Gessi del F. Era Morta
	EMOg	Livelli e lenti di gessi
	ULI	Conglomerati di Ulignano
	RAQ	Formazione del T. Raquese
	RAQa	Arenarie della Spicchiaiola
	RAQg	Livelli e lenti di gessi
	FOS	Argille del Torrente Fosci
	SLEc	Conglomerati di M. Soldano
	SLEr	Arenarie della Caprareccia

DOMINIO LIGURE

	APA	Argille a Palombini
	beta	Basalti
	MTV	Formazione di Monteverdi M.no
	RCH	Argilliti e calcari di Poggio Rocchino
		Contatto stratigrafico e/o litologico
		Contatto stratigrafico inconforme
		Contatto tettonico
		Faglia
		Faglia diretta
		Contatti tettonici incerti o sepolti
		Sovrascorrimento secondario
		Stratificazione diritta
		Stratificazione orizzontale diritta
		Cava attiva
		Sondaggio per ricerca geotermica
		Orlo di scarpata
		Orlo di terrazzo
		Superficie di terrazzo
		Traccia di sezione geologica

Figura 7-5. Legenda della carta geologica di Figura 7-4.

7.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto dell'intervento è contraddistinta da una morfologia collinare con quote che variano da 240 a 490 m s.l.m., caratterizzata dai bacini dei fossi Lucignano, Lucignanino e del Torrente Feccia.

Il paesaggio si presenta come una alternanza tra paesaggi collinari e pianeggiati che è da mettere in relazione alle caratteristiche litologiche delle formazioni geologiche affioranti. Infatti il paesaggio collinare corrisponde agli affioramenti delle formazioni mio-plioceniche argillose-sabbiose, con le sommità dei rilievi caratterizzate da affioramenti di rocce coerenti, conglomeratiche e arenacee che offrono maggiore resistenza all'erosione con conseguente formazione di morfologie con pendenze più accentuate.

I terreni prevalentemente argillosi che formano il substrato delle colline generano morfologie dolci con pendenze in genere minore del 25% che solo in corrispondenza di forme calanchive o erosive assumono pendenze più accentuate. La forma delle valli si fa più accentuata dove affiorano i depositi conglomeratici raggiungendo pendenze dell'ordine del 35%.

All'interno dei sistemi vallivi affiorano con continuità i sedimenti alluvionali in prevalenza argillosi e ghiaiosi derivanti dall'erosione delle unità affioranti organizzati in vari ordini di terrazzi.

Un elemento determinante nella formazione della morfologia attuale del paesaggio è determinato dalla gravità e le principali forme di evoluzione gravitativa sono rappresentate da frane attive, inattive e quiescenti mostrate in Figura 7-6 che riporta un estratto della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale del Comune di Radicondoli. Questi depositi sono principalmente ubicati in corrispondenza dei depositi neogenici e in alcuni casi occupano interi versanti come nel caso del versante nord-ovest della SP della Gallarie nel tratto compreso tra Montingegnoli e Radicondoli.

La causa principale della formazione di questi dissesti è legata a fenomeni di scalzamento al piede dei versanti ad opera dei corsi d'acqua principali tanto che su molti dei corsi d'acqua sono state realizzate opere di regimazione idraulica (briglie) finalizzate ad arrestare i fenomeni erosivi. Inoltre la scarsa copertura vegetale e la mancanza di un adeguato sistema di drenaggio dei versanti può portare, durante eventi piovosi particolarmente intensi, all'imbibimento delle unità argillose con conseguente perdita di qualità delle caratteristiche geomeccaniche e quindi innescare lo scorrimento delle stesse lungo superfici di rottura. Un altro fenomeno che porta alla formazione di soliflussi o creeping sui versanti è l'attività pastorizia che induce il denudamento dei versanti stessi.

Le caratteristiche geomorfologiche appena descritte insieme alla variabilità litologia delle formazioni del substrato ha portato alla formazioni di un'ampia tipologia di fenomeni di versante presenti in modo diffuso nell'area di studio.

Depositi di Frana. Sono costituiti da amassi detritici incoerenti aventi una tessitura caratterizzata da clasti litologicamente eterogenei e granulometricamente eterometrici, supportati da matrice pelitica più o meno abbondante; la struttura è generalmente di aspetto caotico. Per quanto riguarda la morfodinamica di questi corpi, sono stati distinte sulla cartografia ufficiale: frane in evoluzione (attive), quando mostrano segni di attività in atto o recente, frane quiescenti quando risultano attualmente stabilizzate o temporaneamente inattive e frane inattive. Nel territorio comunale sono state distinte due tipologie di frane: frane per scorrimento rotazionale e frane per colamento. Le prime si hanno quando il dissesto si attua attraverso una superficie concava e il movimento avviene per scivolamento lungo una superficie di neoformazione, di tipo rotazionale o di tipo traslazionale, lungo piani definiti. Le frane per colamento, che sono le più diffuse nell'area di indagine, sono caratterizzate da lenti movimenti che danno luogo a corpi di frana generalmente di piccole dimensioni, identificabili in base a dossi, avvallamenti e contropendenze. L'innescò è generalmente legato alla caduta di coesione conseguente all'ammollimento dovuto a piogge o infiltrazioni d'acqua in terreni coesivi. Le nicchie di distacco non sono sempre individuabili in quanto spesso sono rimodellate dalle acque di scorrimento superficiale e dalle attività agricole.

Altri depositi presenti nell'area sono i detriti di versante. Il sopralluogo ha evidenziato che questi depositi, sono spesso presenti in modo diffuso al di sopra delle unità del substrato roccioso al tal punto da non renderle più visibili. I detriti di versante sono caratterizzati da clasti litoidi sostenuti da matrice pelitica che si sono accumulati per lenti movimenti gravitativi superficiali e talora anche per ruscellamento; non presentano uno spessore omogeneo risentendo della conformazione del substrato di cui tendono a colmare, ispessendosi, contropendenze o discontinuità morfologiche. Altri fenomeni che concorrono al modellamento del paesaggio sono quelli legati a fenomeni di creeping e soliflusso che interessano la parte più superficiale delle coltri detritiche, la parte alterata della roccia in posto o il suolo di copertura. Tali depositi sono molto diffusi lungo tutti i versanti dell'area di studio. I soliflussi sono riconoscibili in quanto sul versante si riconoscono lobi, ondulazioni, decorticazioni e terrazze e si formano principalmente per assunzione idrica da parte delle rocce o detriti. I fenomeni di creeping sono invece legati al movimento di singoli elementi detritici di una roccia non coerente che avviene su pendii anche di pochi gradi e il movimento può essere legato a fenomeni di gelo-disgelo, umidificazione ed essiccazione, dilatazioni e contrazioni termiche, sono riconoscibili in quanto formano piccole scarpate e decorticazioni nelle parti alte e medie dei pendii, tale fenomeno è ben riconoscibile da alberi ricurvi alla base e da pali inclinati.

Dalla carta geomorfologica emerge quindi che quasi tutti i versanti interessati dalle opere in progetto mostrano fenomeni geomorfologici cartografati in evoluzione. Principalmente si tratta di frane per colamento classificate come attive la cui formazione è legata all'azione di scalzamento al piede dei corsi d'acqua. Subordinatamente sono stati cartografati ampie zone soggette a fenomeni di erosione diffusa e reptazione

intensa. Inoltre si può osservare come tutti i corsi d'acqua minori siano caratterizzati da scarpate di erosione fluvio-torrentizia.

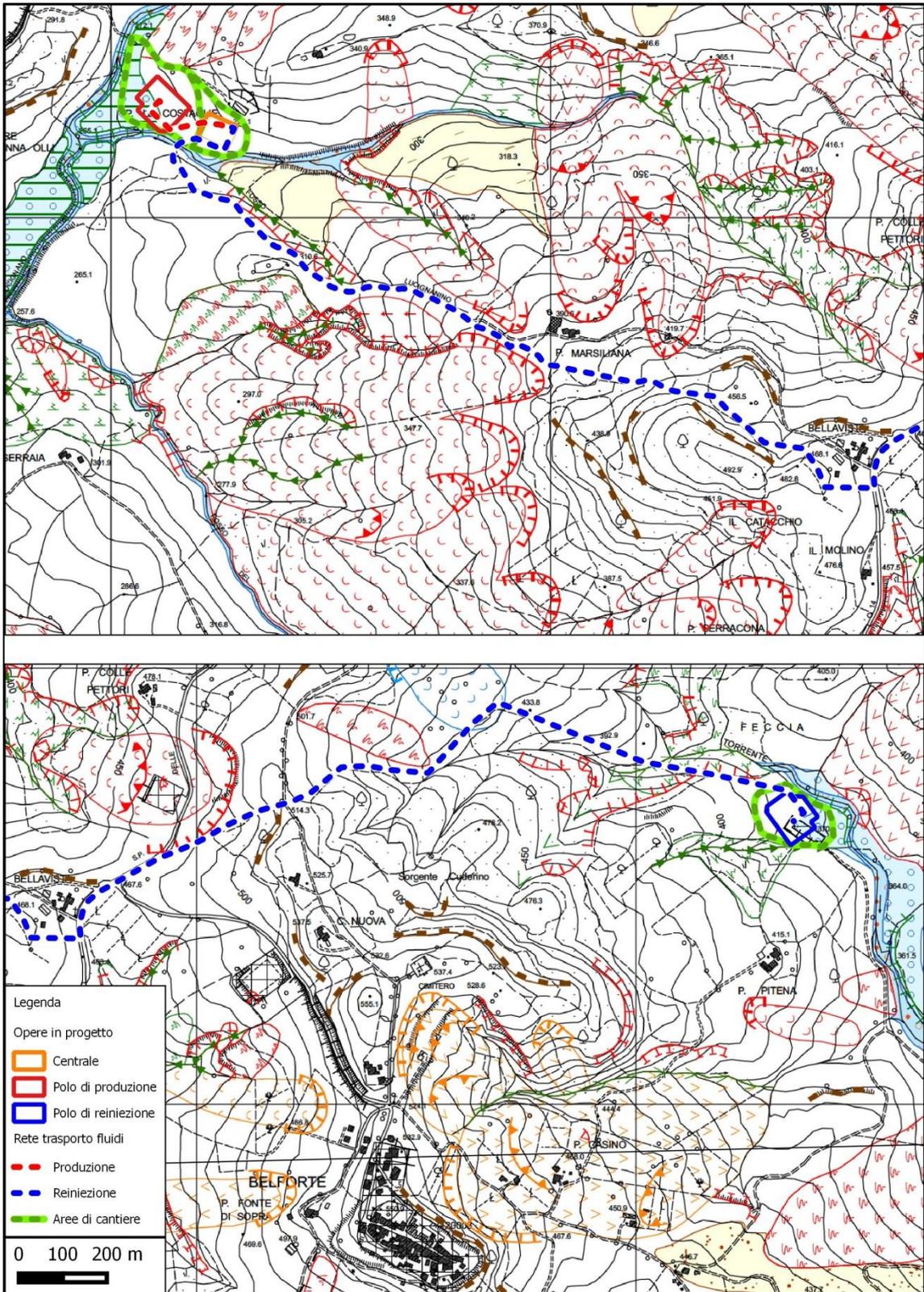


Figura 7-6. Stralcio della carta geomorfologica del PS del Comune di Radicondoli.

Legenda geomorfologica

1 - Forme e processi gravitativi

- Contropendenza
- Piccola frana
- Soliflusso
- Nicchia di distacco di frana attiva
- Nicchia di distacco di frana quiescente
- Nicchia di distacco di frana inattiva
- Nicchia di distacco di paleofrana
- Gradino di frana
- Gradino di frana quiescente
- Gradino di frana inattivo
- Scarpata di degradazione di origine mista
- Scarpata di degradazione potenzialmente instabile
- Frana per scivolamento attiva
- Frana per scivolamento quiescente
- Frana per scivolamento inattiva
- Frana per colamento attiva
- Frana per colamento quiescente
- Frana per colamento inattiva
- Soliflusso
- Reptazione intensa
- paleofrane

2 - forme e processi di dilavamento

- Erosione prevalentemente concentrata in rivoli
 - Erosione prevalentemente diffusa
 - Vallecicola a U
 - Vallecicola a V
 - Traccia di paleovalvei e meandri abbandonati
 - Orlo di terrazzo alluvionale
 - Fosso con alveo in approfondimento
 - Fosso di ruscellamento concentrato
 - Erosione di sponda
 - Scarpata di erosione fluvio-torrentizia
 - Area con forme di erosione concentrata
 - Area con forme di erosione diffusa
 - Calanchi / biancane e forme di erosione intensa
 - Superficie di terrazzo alluvionale
- #### 3 - Forme strutturali
- Hog back
 - Cresta in roccia
 - Scarpata strutturale
 - Scarpata di linea di faglia

4 - Forme e processi antropici

- Cava o miniera dismessa
 - Briglia fluviale
 - Argini artificiali
 - Scarpata di origine antropica
 - Modellazioni e forme antropiche
 - Sbancamenti
 - Discariche ed accumuli di detrito
 - Terrazzamenti
 - Terrapieni, rilevati e dighe in terra
 - Bacini idrici artificiali
- #### Depositi fluvio torrentizi e di versante
- Alluvioni attuali del greto fluviale
 - Alluvioni terrazzate recenti
 - Alluvioni terrazzate antiche
 - Detrito di versante
 - Cono di detrito
 - Depositi eluvio-colluviali

Figura 7-7. Legenda della carta geomorfologica di Figura 7-6.

7.4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Il territorio è caratterizzato principalmente dalla presenza di unità pelitiche o argillitiche con scarsa permeabilità che hanno contribuito alla formazione di un reticolo idrografico molto sviluppato che incide le formazioni neogeniche generando valli con fianchi generalmente acclivi.

La rete idrografica è costituita da fossi d'erosione che compongono nei terreni argillosi un pattern dendritico sub-parallelo con bacini d'alimentazione di prevalente sviluppo longitudinale.

I corsi d'acqua principali hanno in generale una direzione NO-SE e NE-SO che segue l'andamento delle strutture geologiche, mentre gli affluenti secondari hanno direzioni perpendicolari a quelli dei corsi d'acqua principali.

Il corso d'acqua principale è il Fosso Lucignano che, nell'area in esame, scorre con andamento NE-SO e va a confluire nel Fiume Cecina. I principali affluenti del Fosso Lucignano si inseriscono in sinistra idrografica e sono il Fosso Lucignanino e il Fosso del Merlo. Questi fossi derivano a loro volta da tutta una serie di fossi minori che scendono principalmente dal versante che degrada da località il Catacchio e Bellavista. Invece in destra idrografica si riconosce il Fosso dei Ponti Olli che va a confluire direttamente nel

Fosso di Riverderello. L'altro corso d'acqua principale è il Torrente Feccia che scorre verso sud con una direzione circa NO-SE. Il T. Feccia, nell'area di progetto, è alimentato da una serie di fossi minori che scendono sia in sinistra che destra idrografica dai versanti con andamento perpendicolare o comunque ad alto angolo rispetto al corso d'acqua principale.

In generale le capacità di deflusso dei fossi principali appaiono nel complesso buone con alvei ben incisi in rapporto al quantitativo d'acqua di deflusso, il cui regime è in stretta connessione con la distribuzione stagionale delle precipitazioni.

La natura impermeabile delle unità del substrato favorisce il ruscellamento superficiale delle acque meteoriche che non infiltrandosi nel terreno acquistano rapidamente velocità con conseguente formazione di fenomeni erosivi lungo i versanti.

Da un punto di vista idrogeologico, le unità geologiche sono state suddivise in classi (1→4) di permeabilità tenendo conto della litologia, della fratturazione e della maggiore o minore propensione ai fenomeni carsici. La carta della permeabilità della Regione Toscana Foglio n. 296130 così ottenuta (Figura 7-8) mette in evidenza che i terreni affioranti hanno una permeabilità media, medio-bassa, o sono impermeabili; tale comportamento rispecchia la litologia di tipo argilloso dei depositi. Tuttavia localmente la presenza di fratturazione legata a faglie o a contatti tettonici può portare ad un aumento della permeabilità secondaria e alla formazione di acquiferi locali.

Vista la natura prevalentemente impermeabile dei depositi nell'area di indagine non sono presenti sorgenti o falde superficiali. Un comportamento idrogeologico diverso invece hanno i depositi olocenici e quaternari in particolare i depositi alluvionali o le alluvioni terrazzate la cui permeabilità varia da alta a medio-alta. Proprio per queste caratteristiche idrogeologiche è possibile che all'interno di questi depositi possa essere presente una falda di subalveo alimentata in parte dalle acque meteoriche e in parte dalle acque dei vari corsi d'acqua. E' ragionevole ritenere che il livello di questa falda risenta delle variazioni stagionali del livello dei corsi d'acqua che rappresenta il livello di base. La presenza e la profondità di una falda all'interno dei depositi alluvionali dove sono ubicate le opere in progetto verrà verificata a seguito di specifiche indagini geognostiche.

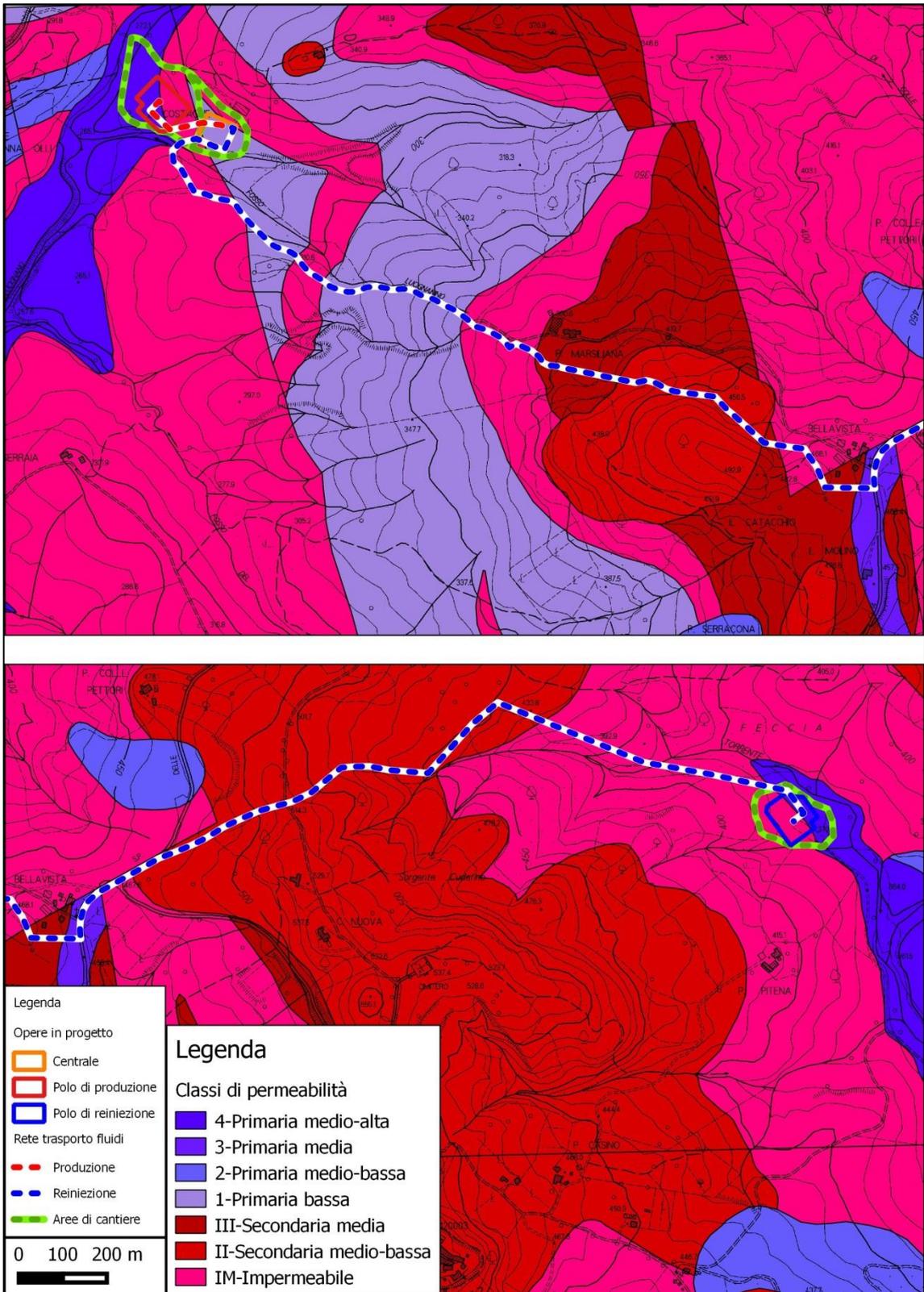


Figura 7-8. Carta della permeabilità scala 1:10000 della Regione Toscana.

7.5 LE OPERE IN PROGETTO NEL CONTESTO GEOLOGICO

Nel presente paragrafo vengono descritti nel dettaglio gli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici delle aree dove andranno ad impostarsi le opere.

Considerando che il polo di produzione, la centrale geotermoelettrica e la rete di trasporto di produzione dei fluidi geotermici si trovano ubicati nel medesimo ambito e all'interno della stessa area di cantiere, nella presente relazione sono stati analizzati come facenti parte dello stesso sito.

Si deve precisare anche che non è stato possibile accedere all'area del polo di produzione e della centrale in quanto la Lucignano Pilot Project srl, al momento della redazione della presente relazione, non era in possesso dei relativi permessi. Pertanto la caratterizzazione dei vari aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici è stata effettuata solo attraverso una osservazione a distanza dell'area di lavoro.

Inoltre si deve evidenziare che al momento del sopralluogo la presenza diffusa di una fitta vegetazione di tipo erbaceo nelle aree di progetto non ha permesso di caratterizzare con precisione alcuni aspetti di natura geomorfologica dei versanti interessati dalle opere. Pertanto si è fatto riferimento alle foto aeree disponibili per l'area di indagine al fine di individuare le eventuali forme e processi che caratterizzano i versanti oggetto della presente relazione.

7.5.1 Polo di produzione-Centrale geotermoelettrica-rete di produzione

Il sito dove saranno realizzati il polo di produzione, la centrale geotermoelettrica e la rete di trasporto di produzione dei fluidi geotermici si trova all'interno del Comune di Radicondoli, in Provincia di Siena, a circa 1500 m a sud delle prime case dell'abitato di Radicondoli ad una quota di 270 m s.l.m. e occuperà un'area complessiva di circa 40552 m² (Figura 7-10).

50

Le opere saranno realizzate nell'area di raccordo tra il versante che sale a partire dal fosso Lucignanino verso il Podere Le Costaglie e il terrazzo alluvionale delimitato dal Fosso Lucignano e dal Fosso Lucignanino. L'area quindi presenta nella parte bassa una spianata morfologica avente un leggera pendenza verso sud-ovest (10-15%) per poi congiungersi al versante con pendenze dell'ordine del 20-30% (Figura 7-9).

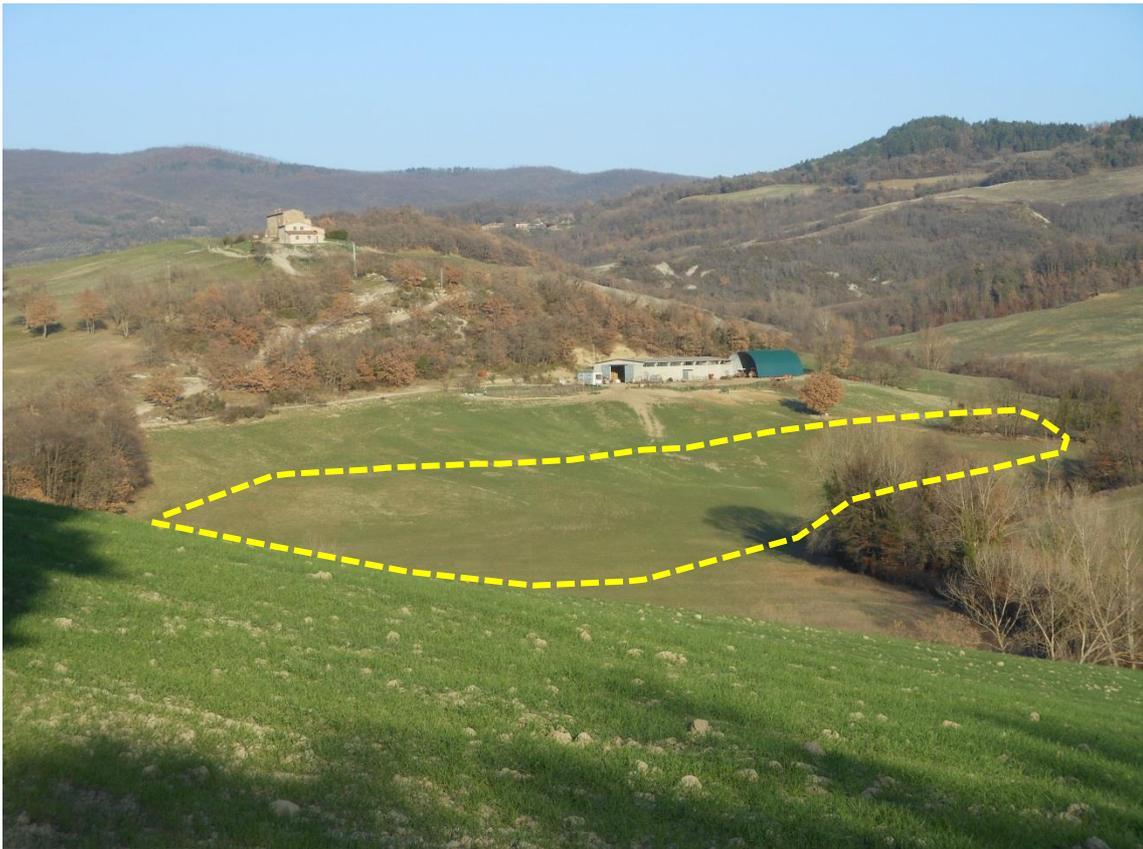


Figura 7-9. Area di ubicazione (in giallo) del polo di produzione, della centrale geotermoelettrica e della rete di trasporto di produzione dei fluidi.

51

Da un punto di vista geologico, la cartografia ufficiale riporta che le opere rientrano nell'area di pertinenza in parte dei depositi della Formazione delle Argille del Torrente Foschi (FOS), in parte delle alluvioni terrazzate del Fosso Lucignano (bn1) e in parte su quelli della Formazione del Torrente Raquese (RAQ_a). Salendo di quota al di sopra delle Argille del Torrente Foschi si trovano i depositi della Formazione del Torrente Raquese afferenti alle litofacies RAQ_g e RAQ. Queste unità presentano una giacitura a reggipoggio con inclinazione di circa 15° verso nord-est.

Procedendo da ovest verso est si ha quindi il passaggio da depositi costituiti da ghiaie e sabbie (bn1) ad argille di colore grigio-plumbeo massicce (FOS) per poi arrivare ad arenarie calcaree marroni a grana medio-fine (RAQ_a). Il sopralluogo ha messo in evidenza che le unità del substrato nell'area di intervento non sono affioranti in quanto ricoperte da una coltre detritica derivante dalle attività agricole e da processi gravitativi. Alcuni affioramenti afferenti alla litofacies RAQ_g costituiti da gessi sono stati rinvenuti lungo il taglio della strada bianca che dalla Strada Provinciale conduce al Podere le Costaglie (Figura 7-10).



Figura 7-10. Affioramenti di gessi lungo la strada bianca del Podere Le Costaglie.

La cartografia geologica e quella geomorfologica ufficiali per l'area in esame non riportano la presenza di fenomeni gravitativi di versante. Anche il sopralluogo non ha evidenziato la presenza di segni di dissesto profondi, tuttavia sono presenti forme ondulate sia concave che convesse che interessano la parte più superficiale del suolo a testimonianza che sono presenti alcuni fenomeni di rimobilizzazione superficiale (soliflusso o creeping). Queste tipologie di fenomeni d'altro canto sono diffusi lungo tutti i versanti del Fosso Lucignano e Lucignanino e sono da mettere in relazione a fenomeni di assunzione idrica da parte del suolo o della parte più superficiale delle unità del substrato durante periodi di piogge intense con conseguente perdita di coesione. L'area di progetto è attualmente dedicata alla pastorizia, questo tipo di attività può essere una ulteriore causa innescante di tali fenomeni in quanto induce il denudamento dei versanti.

Da un punto di vista idrogeologico gran parte dell'area in esame è costituita da depositi con caratteristiche di bassa permeabilità se non impermeabili. La natura poco permeabile dei depositi quindi favorisce i fenomeni di ruscellamento diffuso delle acque piovane che durante eventi particolarmente intensi possono dar luogo a canalizzazioni e piccoli fenomeni erosivi nei tratti in cui il versante è più acclive. Questi fenomeni sono mal controllati sia per la mancanza di un sistema di regimazione delle acque superficiali sia per l'assenza di una copertura boscata con la conseguenza che il reticolo idrografico è caratterizzato da una rete irregolare e disorganizzata di piccoli solchi di erosione.

Inoltre vista la bassa permeabilità dei depositi, con i dati a disposizione in questo momento, si ritiene che non siano presenti falde superficiali.

Un discorso a parte deve essere fatto per la parte di sito che ricade nell'ambito dei depositi alluvionali e delle alluvioni terrazzate. Tali depositi hanno caratteristiche di permeabilità sicuramente variabili in funzione della granulometria e della percentuale di materiale fine, tuttavia si tratta sempre di depositi con permeabilità media o medio-alta nel caso in cui si tratti di ghiaie e sabbie prevalenti. Per questo motivo e vista la vicinanza al fiume, non si può escludere al momento che tali depositi possano ospitare una falda di subalveo alimentata in parte dalle acque meteoriche e in parte dalle acque del Fosso Lucignano e Lucignanino. E' ragionevole ritenere che il livello di questa falda risenta delle variazioni stagionali del livello del fiume che rappresenta il livello di base. La presenza e la profondità di una falda all'interno dei depositi alluvionali sarà verificata a seguito di specifiche indagini geognostiche.

Parte della postazione, secondo la carta delle pericolosità del PS del Comune di Radicondoli e del PAI Toscana Costa, ricade parzialmente in area classificata a pericolosità idraulica elevata. Come richiesto dalle norme dei piani consultati, in fase esecutiva, dovranno essere eseguite le opportune verifiche idrauliche e valutata l'ipotesi, se necessario, di realizzare interventi di messa in sicurezza. In merito all'area classificata G.4 dagli elaborati del PS del Comune di Radicondoli si deve precisare che, non potendo accedere alle aree, non è stato possibile verificare la presenza di eventuali segni di instabilità in atto o incipienti e quindi la situazione dovrà essere rivista in fase esecutiva. Dal layout di progetto tuttavia risulta che tale area non sarà interessata da operazioni di scavo e reinterro.

53

Considerando il fatto che i fenomeni di dissesto superficiali sono originati principalmente dalle acque meteoriche, si suggerisce di concentrare il cantiere nel periodo estivo in modo da ridurre la possibilità di infiltrazione e imbibimento delle masse detritiche. Inoltre si suggerisce di realizzare gli scavi per tratti successivi della minore lunghezza possibile predisponendo un adeguato sistema di regimazione e allontanamento delle acque superficiali e di infiltrazione, lungo tutto il versante a valle dell'area di lavoro, da non escludere che possa diventare permanente.

Sebbene attualmente tutto il settore risulti sufficientemente stabile, la situazione geomorfologica dovrà comunque essere rivista a seguito dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche che si consiglia di eseguire in fase esecutiva.

7.5.2 Polo di reiniezione

Il polo di reiniezione si trova all'interno del Comune di Radicondoli, in Provincia di Siena, a circa 1000 m a nord-est delle prime case dell'abitato di Belforte ad una quota di 370 m slm (Figura 7-11).



Figura 7-11. Area di ubicazione del polo di reiniezione (in giallo).

La postazione è ubicata al raccordo tra il versante che sale verso la località Casa Nuova e un piccolo terrazzo alluvionale del Torrente Feccia. L'area quindi presenta basse pendenze (5%) in corrispondenza della spianata morfologica del terrazzo alluvionale per poi passare a pendenze più pronunciate (15-25%) del versante.

La carta geologica ufficiale riporta che la postazione insiste in parte sui depositi della Formazione delle Argille del Torrente Foschi (FOS) che formano i versanti vallivi e in parte sui depositi alluvionali terrazzati (bn1) che costituiscono la piccola spianata morfologica e che sono posti al di sopra delle Argille del Torrente Foschi. Anche in questo caso tutta l'area di lavoro è caratterizzata dalla presenza di una copertura detritica derivante dalle lavorazioni agricole. Quindi la postazione di perforazione si troverà ad essere ubicata in parte su depositi argillosi e in parte su depositi costituiti da ghiaie e sabbie in matrice argilloso-sabbiosa.

Da un punto di vista geomorfologico la cartografia ufficiale non riporta la presenza di fenomeni gravitativi e anche il sopralluogo non ha evidenziato lungo il versante segni di movimenti in atto o incipienti. Anche i filari di alberi presenti lungo il versante non mostrano segni di inclinazione. Tuttavia sono state individuate alcune forme concave e convesse che possono essere messe in relazione a fenomeni gravitativi avvenuti nel passato probabilmente in condizioni climatiche diverse da quelle attuali e che in parte sono stati obliterati dagli eventi atmosferici e dalle attività agricole eseguite nell'area di progetto.

La natura argillosa dei depositi affioranti favorisce i fenomeni di ruscellamento superficiale con formazione di una fitta rete di piccoli rigagnoli che in caso di eventi piovosi di una certa intensità formano canalizzazioni che seguono le direzioni di massima pendenza. Nella zone più pianeggianti si possono anche formare ristagni di acqua.

Anche in questo caso, vista la vicinanza al fiume, è verosimile che i depositi alluvionali terrazzati possano ospitare una falda di subalveo alimentata in parte dalle acque meteoriche e in parte dalle acque del Torrente Feccia. La profondità della falda risente delle variazioni stagionali del livello del fiume che rappresenta il livello di base. La presenza e la profondità di una eventuale falda dovrà essere accertata in fase esecutiva attraverso specifiche indagini geognostiche.

Parte della postazione, secondo la Carta delle pericolosità del PS del Comune di Radicondoli e del PAI Toscana Costa, ricade parzialmente in area classificata a pericolosità idraulica elevata. Come richiesto dalle norme dei piani consultati, in fase esecutiva, dovranno essere eseguite le opportune verifiche idrauliche e valutata l'ipotesi, se necessario, di realizzare interventi di messa in sicurezza..

7.5.3 Rete di trasporto dei fluidi

7.5.3.1 Rete di reiniezione

La rete di trasporto dei fluidi di reiniezione dall'impianto ORC verso il polo di reiniezione ha una lunghezza di circa 4067 m e sarà completamente interrata.

55

La condotta sarà alloggiata all'interno di uno scavo di forma trapezoidale rovesciata di profondità variabile da 1.5 m a 1.8 m e larghezza alla base di circa 80 cm. La tubazione poggerà su un letto di sabbia dello spessore di circa 10-15 cm e sarà ricoperta, per i primi 20 cm, di sabbia, e i successivi con materiale inerte derivante dalle operazioni di scavo. L'estradosso del tubo sarà posizionato ad una profondità di circa 100 cm a partire dal piano campagna. Al lato della condotta di trasporto dei fluidi, nel medesimo cassonetto di scavo, saranno posizionati anche i tubi per il passaggio del cavo di fibra ottica e di quello di potenza.

Di seguito si fornisce una descrizione dei tratti di condotta dedicata alla reiniezione dei fluidi geotermici indicati nella Figura 7-12.

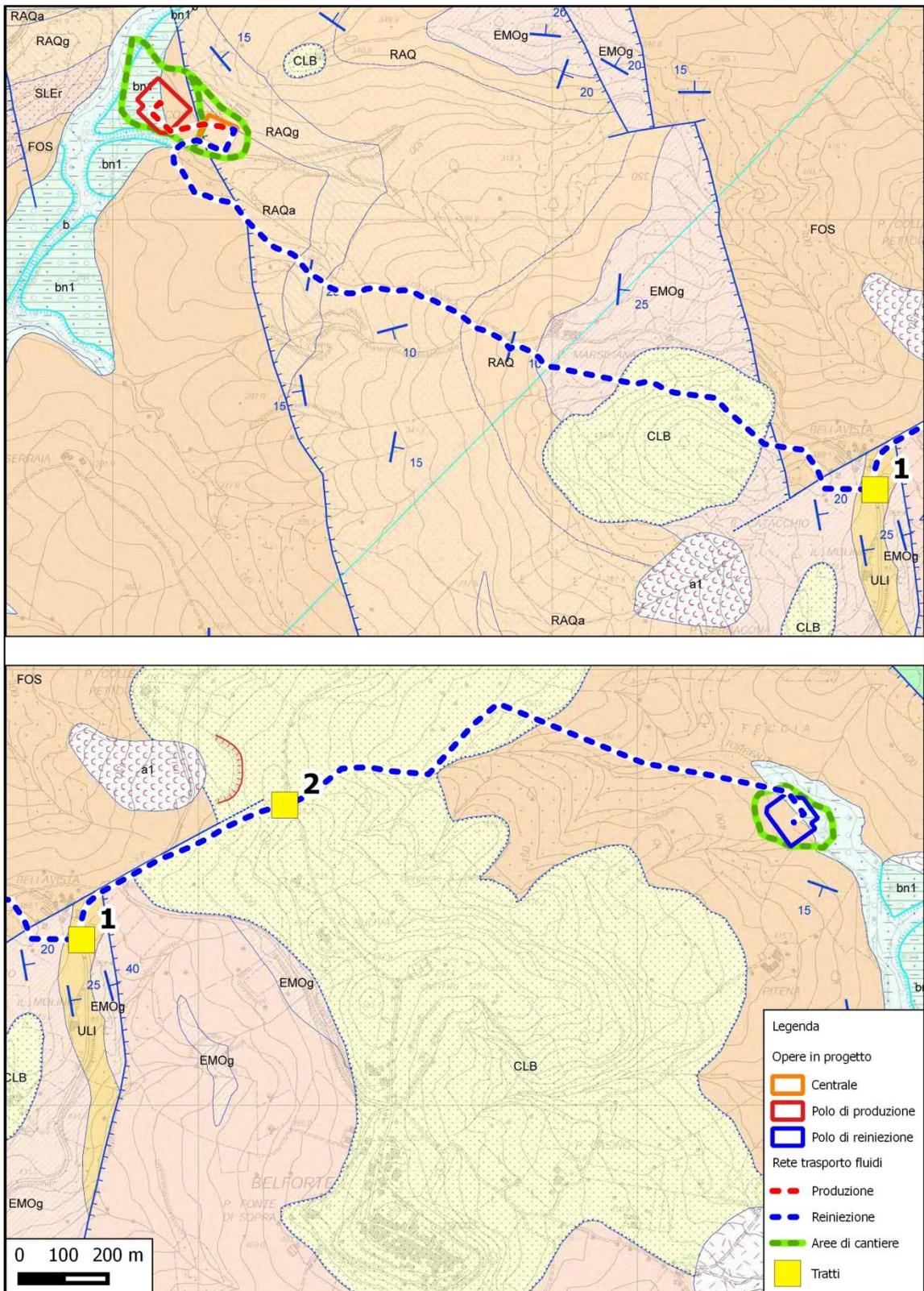


Figura 7-12. Ubicazione dei tratti della condotta analizzati nel testo.

Tratto Impianto ORC-1

La condotta attraversa il piazzale della centrale all'interno di un cunicolo in cemento armato, appena fuori della recinzione della postazione prosegue in direzione ovest lungo la recinzione stessa per poi attraversare il Fosso Lucignanino in corrispondenza di un'area dove è assente la vegetazione riparia. Superato il Fosso Lucignanino la condotta si dirige verso sud-est risalendo lungo il crinale lungo il margine di un'area boscata per circa 1100 m fino a raggiungere il Podere Marsiliana alla quota di circa 400 m s.l.m. (Figura 7-13).



Figura 7-13. Tratto impianto ORC-1 della rete di trasporto dei fluidi per la reiniezione (in giallo).

Da un punto di vista geologico la cartografia ufficiale mostra che questo tratto di rete di trasporto dei fluidi si sviluppa nella prima parte sui depositi della Formazione delle Argille del Torrente Fosci (FOS) e su quelli della Formazione del Torrente Raquese (RAQ, RAQ_a, RAQ_g), mentre in corrispondenza del Podere Marsiliana la cartografia riporta che la rete dei fluidi sarà alloggiata nei depositi della Formazione delle Argille e gessi del F. Era Morta (EMO_g). Queste unità tuttavia sono ricoperte da una coltre detritica o dal suolo attuale, di spessore variabile, derivanti dalla alterazione delle unità del substrato e dall'azione delle attività agricole.

La carta geomorfologica del Comune di Radicondoli riporta che sia il versante nord che quello sud sono interessati da frane per colamento classificate come attive e da aree interessate da forme di erosione diffusa e reptazione intensa. La banca dati DBGR-Frane e Depositi Superficiali della Regione Toscana (Figura 7-14) cartografa come attiva solo

una frana di colamento, ubicata lungo il versante nord e distante circa 30 m dalla condotta, riportando che “la frana è attualmente in movimento, o si è mossa negli ultimi cicli stagionali”. Altri due fenomeni franosi attivi sono cartografati sempre lungo il versante nord a valle del Podere Marsiliana ma distanti circa 170 e 100 dal tracciato della condotta. Per quanto riguarda il versante sud invece la condotta si troverà a passare nelle immediate vicinanze, proprio in corrispondenza del Podere Marsiliana, di un deposito di frana che però è classificato come stabilizzato nella banca dati DBGR-Frane e Depositi Superficiali della Regione Toscana, inoltre viene riportato che “la frana non è attiva e non si ritiene possibile una sua riattivazione, in quanto protetta naturalmente o artificialmente dalle sue cause originarie”. Le altre frane che interessano il versante sud, tutte di scorrimento, sono state classificate come quiescenti ed è stato annotato che “la frana non si è mossa negli ultimi cicli stagionali, ma può essere riattivata dalle sue cause originali”.

Nel tratto in esame, il versante al momento del sopralluogo, non presentava segni di instabilità profondi. Si deve tuttavia precisare che le attività agricole hanno obliterato quasi completamente la presenza di questi corpi di frana dei quali rimangono soltanto delle forme concave o convesse lungo i versanti, e degli eventuali segni di movimento in atto o incipienti. Verosimilmente tali morfologie sono legate a movimenti franosi superficiali dovuti alla mobilitazione dei terreni argillosi a seguito di eventi piovosi particolarmente intensi. Inoltre sono state riconosciute sia in campagna che sulle foto aeree alcune linee di tensione probabilmente legate a fenomeni di creeping o soliflusso che interessano la coltre superficiale di suolo di alcuni settori di versante.

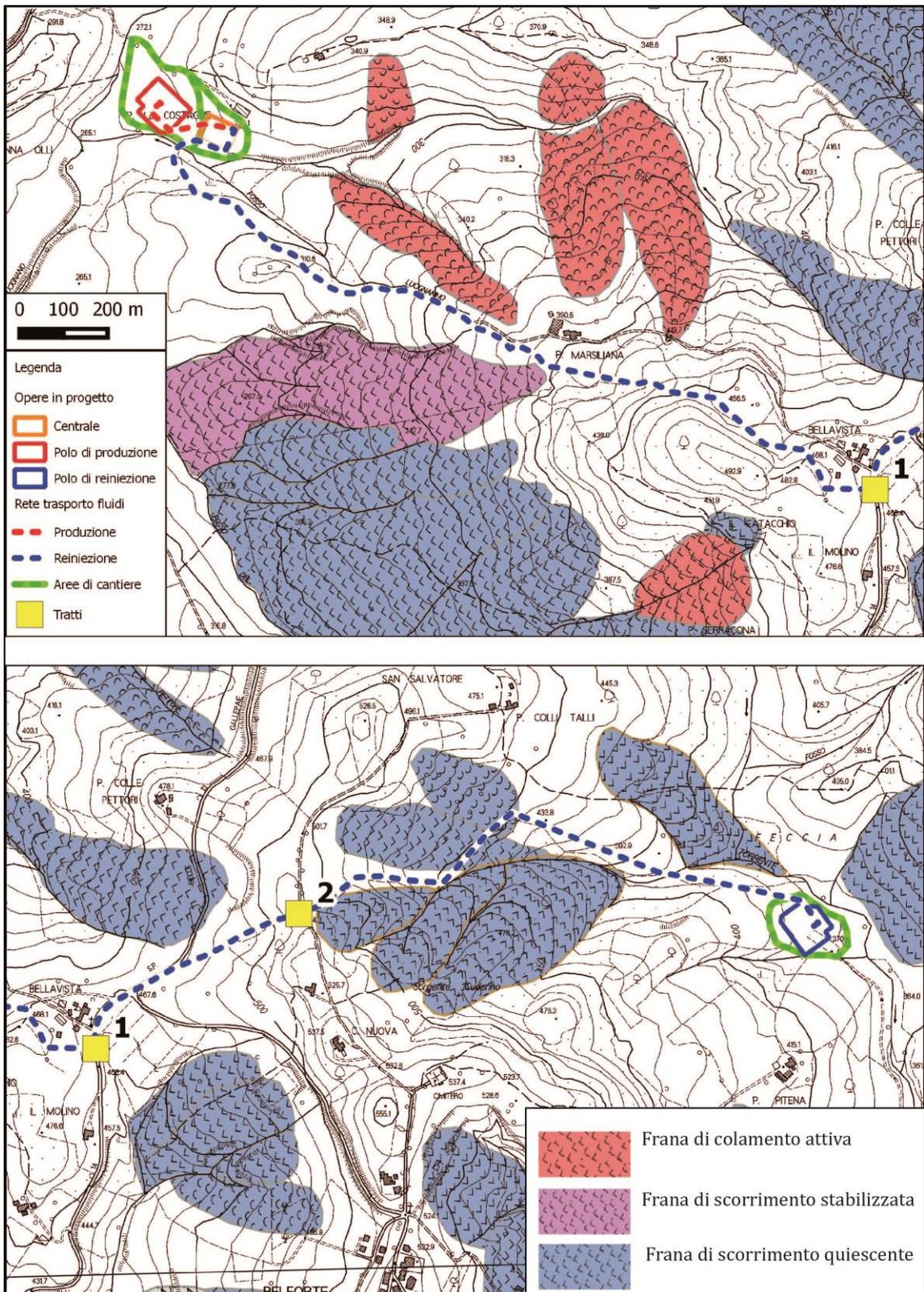


Figura 7-14. Depositi di frana come cartografati dalla banca dati DBGR-Frane e Depositi Superficiali della Regione Toscana.

Nei pressi del Podere Marsiliana, la rete dei fluidi si troverà a percorrere un campo adibito ad olivi e poi a prato pascolo sempre seguendo il limite del bosco fino a raggiungere la località Bellavista a quota 468 m slm (Figura 7-15); prosegue poi sempre su campi adibiti a prato pascolo fino a raggiungere la strada provinciale delle Gallerai.



Figura 7-15. Tracciato della rete dei fluidi di reiniezione (in giallo) nei pressi della località Bellavista.

Da un punto di vista geologico la cartografia ufficiale riporta che la rete dei fluidi si trova a passare sopra i depositi della Formazione dei Conglomerati di Lago Boracifero (CLB) e in parte sui depositi della Formazione delle Argille del Torrente Foschi (FOS) e della Formazione delle Argille e gessi del F. Era Morta (EMO_g), il tratto finale invece sarà ubicato sui depositi della Formazione dei Conglomerati di Uignano (ULI). Anche in questo caso tali depositi affiorano solo in modo discontinuo quando la coltre detritica superficiale o il suolo attuale hanno spessori ridotti.

La carta geomorfologica non riporta la presenza di forme gravitative di versante e anche il sopralluogo non ha evidenziato fenomeni di instabilità in atto o incipienti. Tuttavia si deve precisare che il tratto di condotta si troverà a passare, prima di giungere nei pressi del podere Bellavista, all'interno di un campo adibito ad uliveto alla base di un versante acclive. Questo tratto di versante non presenta segni di instabilità anche se, vista la pendenza (35-55%) non si escludono fenomeni di creeping o soliflusso che interessano la parte più superficiale di suolo, come testimoniato dagli alberi incurvati. Nel complesso il versante risulta abbastanza stabile, ma visto il fatto che i fenomeni di dissesto superficiali sono originati principalmente dalle acque meteoriche, si suggerisce di

concentrare il cantiere nel periodo estivo in modo da ridurre la possibilità di infiltrazione e imbibimento delle masse detritiche. Inoltre si suggerisce di realizzare gli scavi per tratti successivi della minore lunghezza possibile predisponendo un adeguato sistema di regimazione e allontanamento delle acque superficiali e di infiltrazione da non escludere che possa diventare permanente. Inoltre si consiglia ubicare la condotta quanto più possibile lontana dal versante e nel caso di prendere in considerazione eventuali opere ingegneristiche atte a stabilizzare il versante.

Tratto 1-2

La condotta percorre la strada Provinciale delle Gallaraie per circa 280 m in direzione nord-est per poi spostarsi lungo un campo adibito a prato pascolo fino a raggiungere la quota di 514 m slm dove attraversa la strada bianca che da Casa Nuova conduce a Podere Colli Talli (Figura 7-16).



Figura 7-16. Tracciato della rete di reiniezione dei fluidi (in giallo) lungo la SP della Gallaraie.

La cartografia ufficiale mostra che il tratto iniziale sarà ubicato sui depositi della Formazione dei Conglomerati di Ullignano (ULI), poi la condotta si sviluppa sopra i depositi della Formazione delle Argille del Torrente Fosci (FOS), della Formazione dei Conglomerati di Lago Boracifero (CLB) e in parte sui depositi della Formazione delle Argille e gessi del F. Era Morta (EMO_g). Escludendo la parte lungo la strada asfaltata, questi depositi presentano al tetto una coltra detritica e localmente un suolo agricolo.

La carta geomorfologica ufficiale non riporta fenomeni gravitativi ad eccezione del fatto che un tratto della rete dei fluidi si troverà a lambire il coronamento di una frana che interessa il versante a valle della SP delle Galleraie. Il coronamento della nicchia di distacco è attualmente evidenziato da una piccola scarpata morfologica associata ad una leggera contropendenza sulla quale ormai è cresciuta la vegetazione. Tele corpo di frana è anche riportato nella banca dati DBGR-Frane e Depositi Superficiali della Regione Toscana (Figura 7-14).

Per tutto questo settore il sopralluogo non ha messo in evidenza fenomeni di instabilità in atto o incipienti, l'asse stradale risulta intatto. La nicchia di distacco del corpo di frana è coperta da vegetazione erbacea ed arborea che non mostra segni di inclinazione se non quelli minimi legati alla acclività del pendio, pertanto si ritiene che il corpo di frana abbia raggiunto un certo equilibrio.

Il versante che sale dalla SP delle Gallarie fino alla strada bianca di crinale mostra la presenza una fitta rete di piccoli rigagnoli mal organizzati che vanno poi a confluire in fossi di erosione ad andamento sub parallelo dovuti alla natura poco permeabile della coltre detritica che facilita lo scorrimento superficiale delle acque meteoriche (Figura 7-17). Anche in questo caso l'imbibimento della parte più superficiale del suolo unito all'acclività del versante può portare alla formazione di fenomeni di creeping e/o soliflusso.



Figura 7-17, Tratto di versante attraversato dalla rete di trasporto dei fluidi (in giallo).

Tratto 2-polo di reiniezione

A partire dalla quota di 514 m slm la condotta discende il versante in direzione est lungo il limite del bosco (Figura 7-18) per una lunghezza di circa 980 m fino ad incrociare un piccolo affluente di destra del Torrente Feccia ad una quota di circa 375 m slm.

Attraversato questo fosso la rete dei fluidi percorre gli ultimi 280 m in parte in un'area boscata e in parte al margine di un campo adibito ad olivi fino a raggiungere il polo di reiniezione.



Figura 7-18. Versante est della cresta che unisce Casa Nuova con P. Colle Talli (in giallo la rete di reiniezione).

La cartografia geologica ufficiale mostra che il primo tratto si troverà sopra i depositi afferenti alla Formazione dei Conglomerati di Lago Boracifero (CLB), si tratta di conglomerati di colore grigio, talvolta mal stratificati e ben cementati, talaltra in strati di 30-40 cm di spessore e poco cementati. La seconda parte fino ad arrivare al polo di reiniezione invece sarà ubicata sui depositi della Formazione delle Argille del Torrente Foschi (FOS) quindi su depositi argillosi di colore grigio-plumbeo e grigio-nocciola, generalmente massicci, localmente siltosi. Questi depositi sono coperti da una coltre detritica derivante dal rimaneggiamento delle unità del substrato sia ad opera dalle attività agricole e pastorizie che vengono condotte nella zona sia dalle acque meteoriche.

A valle della strada bianca (punto 2 di Figura 7-12) la carta geomorfologica segna la presenza di due frane. Una classificata come frana per colamento inattiva, l'altra come area interessata da soliflusso. Tali corpi sono segnati anche nella Tav12-Carta di adeguamento al PAI Toscana Costa del PS del Comune di Radicondoli che classifica rispettivamente questi corpi a pericolosità elevata e molto elevata per frana. Anche la banca dati DBGR-Frane e Depositi Superficiali della Regione Toscana (Figura 7-14) cartografa questi due corpi ma con estensione maggiore e come frane di scorrimento e

di colamento quiescenti. Inoltre cartografa tutto il versante che scende dalla sorgente Cuderino come interessato da frane di scorrimento quiescenti.

Il sopralluogo ha effettivamente permesso di verificare la presenza dei due corpi di frana dei quali sono visibili, seppur in parte obliterati dalle attività agricole, i coronamenti delle nicchie di distacco sulle quali ormai è cresciuta la vegetazione. Inoltre alla base del pendio sono ancora visibile delle forme lobate probabilmente associata ai corpi di frana. Ad oggi tutto entrambe i corpi di frana risultano in parte obliterato dalle attività agricole e di lavorazione della terra che hanno anche cancellato eventuali segni di movimento. Tuttavia la presenza di alcuni pali della linea elettrica leggermente inclinati verso valle fanno ritenere che siano ancora presenti movimenti gravitativi superficiali.

L'origine di questi fenomeni gravitativi è probabilmente da mettere in relazione alla rimobilizzazione della copertura detritica lungo il versante a seguito di eventi piovosi intensi che portano ad un imbibimento delle masse detritiche stesse con la conseguente perdita di resistenza al taglio. Vista la posizione dei depositi di frana, tutti localizzati in corrispondenza di un corso d'acqua, è ipotizzabile come fenomeno innescante anche l'azione erosiva del corso d'acqua stesso che porta o portava ad un progressivo scalzamento al piede del versante.

Il tratto finale della rete fino al polo di reiniezione non presenta particolari problematiche geomorfologiche e anche le varie cartografie ufficiali non segnano fenomeni gravitativi. Solo nelle vicinanze del polo di produzione sono stati riconosciute forme legate a fenomeni di soliflusso della coltre più superficiale del terreno legati alla natura argillosa dei depositi che durante periodi particolarmente piovosi tende a imbibirsi e a muoversi lungo versanti acclivi. Tuttavia dalle foto aeree è emersa la presenza di fenomeni di ruscellamento diffuso che sono mal controllati per la mancanza di un sistema di regimazione delle acque superficiali con formazione di una rete irregolare e disorganizzata di piccoli solchi di erosione (Figura 7-19). Dove la presenza di vegetazione è maggiore le acque meteoriche tendono invece a confluire all'interno di piccoli solchi di erosione dando origine a forme di erosione concentrata.

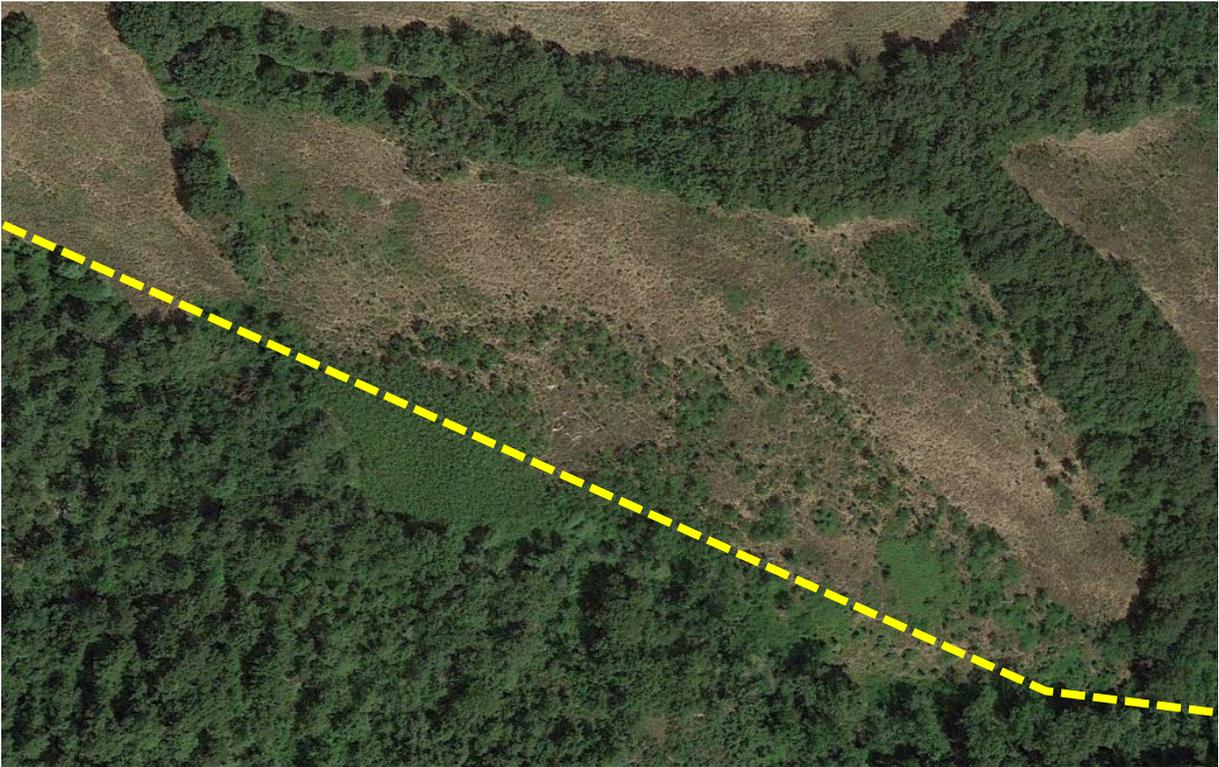


Figura 7-19. Tratto di versante dove sono presenti fenomeni di ruscellamento diffuso (in giallo la rete di trasporto dei fluidi).

In generale tutto il settore indagato per la messa in opera della rete di trasporto dei fluidi risulta sufficientemente stabile, il sopralluogo tuttavia ha evidenziato comunque che localmente i versanti vallivi sono interessati da movimenti gravitativi con formazione di depositi di frana alcuni dei quali presenti anche nelle carte geologiche e geomorfologiche a supporto della pianificazione territoriale. Pertanto, in corso d'opera, dovrà essere attentamente valutata la stabilità del pendio in relazione all'esecuzione dei lavori e se necessario saranno messi in opera opportuni interventi di stabilizzazione dei versanti.

65

Per la messa in opera della condotta si raccomanda di eseguire i lavori nel periodo estivo quando le precipitazioni sono minime in modo da ridurre la possibilità di infiltrazione e imbibimento delle masse detritiche. Si suggerisce, nel momento in cui saranno eseguiti i lavori, di predisporre un efficiente sistema di regimazione e allontanamento delle acque superficiali dallo scavo. Inoltre è buona prassi procedere alla stesura della condotta per piccoli tratti successivi e ridurre al minimo l'apertura degli scavi.

Pertanto sebbene il settore risulti nel suo complesso sufficientemente stabile, si ritiene di rivedere le effettive condizioni locali di stabilità dei versanti in fase esecutiva a seguito dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche che si consiglia di eseguire.

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Il comune di Radicondoli, nel quadro conoscitivo del Piano Strutturale, si è dotato di una carta litotecnica del territorio comunale nella quale le formazioni geologiche sono state organizzate in unità litotecniche in funzione delle caratteristiche litologiche e geotecniche.

Nella Tabella 8-1 sono riportate le unità litotecniche in cui ricadono le opere in progetto (Figura 8-1).

Opera	Classe litotecniche
Polo di produzione	Successioni sabbiose Successioni argillose Successioni ghiaiose
Polo di reiniezione	Successioni ghiaiose Successioni argillose
Centrale geotermoelettrica	Successioni sabbiose Successioni argillose Successioni ghiaiose
Rete di trasporto dei fluidi di produzione	Successioni sabbiose Successioni argillose Successioni ghiaiose
Rete di trasporto dei fluidi di reiniezione	Successioni ghiaiose Successioni argillose Successioni conglomeratiche Successioni conglomeratiche ed argillose Successioni sabbiose

Tabella 8-1. Unità litotecniche.

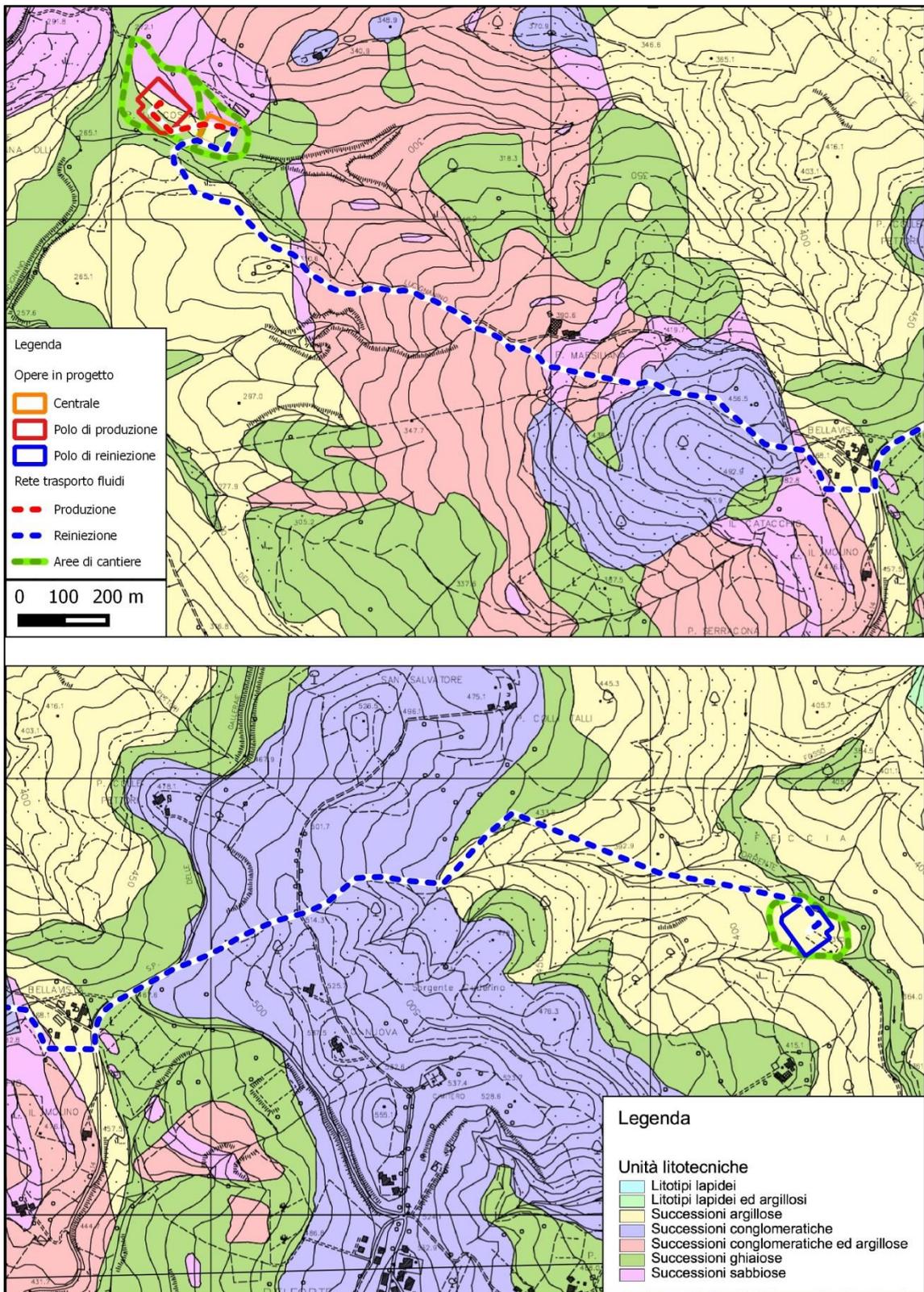


Figura 8-1. Stralcio della Tav3-Carta litotecnica del PS del Comune di Radicondoli.

Di seguito si riporta la definizione per le varie classi litotecniche:

Successioni argillose: in questa unità sono raggruppati tutti i litotipi a matrice predominante argillosa.

Successioni conglomeratiche: distinte sulla base della composizione, della granulometria e del grado di cementazione o compattezza.

Successioni conglomeratiche ed argillose: sono sempre distinte sulla base della composizione, granulometria e grado di cementazione o compattezza, ma al loro interno sono significative le presenze di materiali argillosi.

Successioni ghiaiose: si tratta di una unità caratterizzata dalla presenza di ghiaia in matrice limoso-argillosa e più raramente argillosa.

Successioni sabbiose: risulta essere caratterizzata praticamente dalla predominanza di litotipi sabbiosi più o meno cementati, nei quali è sicuramente trascurabile l'eventuale presenza di matrice di varia origine.

Il sopralluogo ha comunque evidenziato che le unità del substrato sono coperte da una coltre di materiale rimaneggiato superficiale derivante dalle attività agricole e pastorizie. Pertanto dalle informazioni fino ad ora disponibili si ritiene che in generale tutte le opere saranno alloggiate su litotipi incoerenti. Si tratta quindi di depositi eterometrici ed eterogenei con un comportamento che può variare da prevalentemente attritivo nel caso in cui i depositi presentano quantità elevate di sabbie e/o ghiaie, a coesivo dove invece è prevalente la frazione granulometrica limosa e/o argillosa.

68

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere in progetto, al momento, è stata fatta soltanto sulla base della cartografia geologica esistente e su dati disponibili su aree limitrofe o in letteratura. Dalla letteratura reperibile in merito ai suddetti depositi, è stato possibile estrapolare i valori relativi ai parametri geotecnici che meglio caratterizzano le varie classi litotecniche presenti nelle territorio in studio (Tabella 8-2).

Litotipo	Φ (°)	γ_{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)
Successioni argillose	16-20	18-19	2-4
Successioni sabbiose	24-25	19-20	-
Successioni ghiaiose	28-32	21-22	-

Tabella 8-2. Parametri geotecnici preliminari dei litotipi presenti nell'area di studio da bibliografia (Φ : angolo di attrito interno, γ_{sat} : peso di volume saturo, c' : coesione drenata).

Questa schematizzazione rappresenta un primo modello di riferimento per la pianificazione delle indagini volte alla definizione del modello geotecnico del sito e i parametri geotecnici forniti sono da considerare puramente indicativi. Una caratterizzazione più precisa potrà essere fornita solo al momento del progetto

esecutivo a seguito dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche che si consiglia di prevedere per la realizzazione delle opere.

9 SISMICITÀ

9.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il Comune di Radicondoli è inserito nella classe sismica 3 (accelerazione orizzontale $0.05g \leq a_g \leq 0,15g$). Nell'ambito del Rapporto Conclusivo (bozza - aprile 2004) sulla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica (nel seguito RC) ad opera dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale, denominata ZS9 (Figura 9-1), basata sui dati di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. Ogni Zona Sismogenetica (ZS) è corredata da una stima della profondità media dei terremoti.

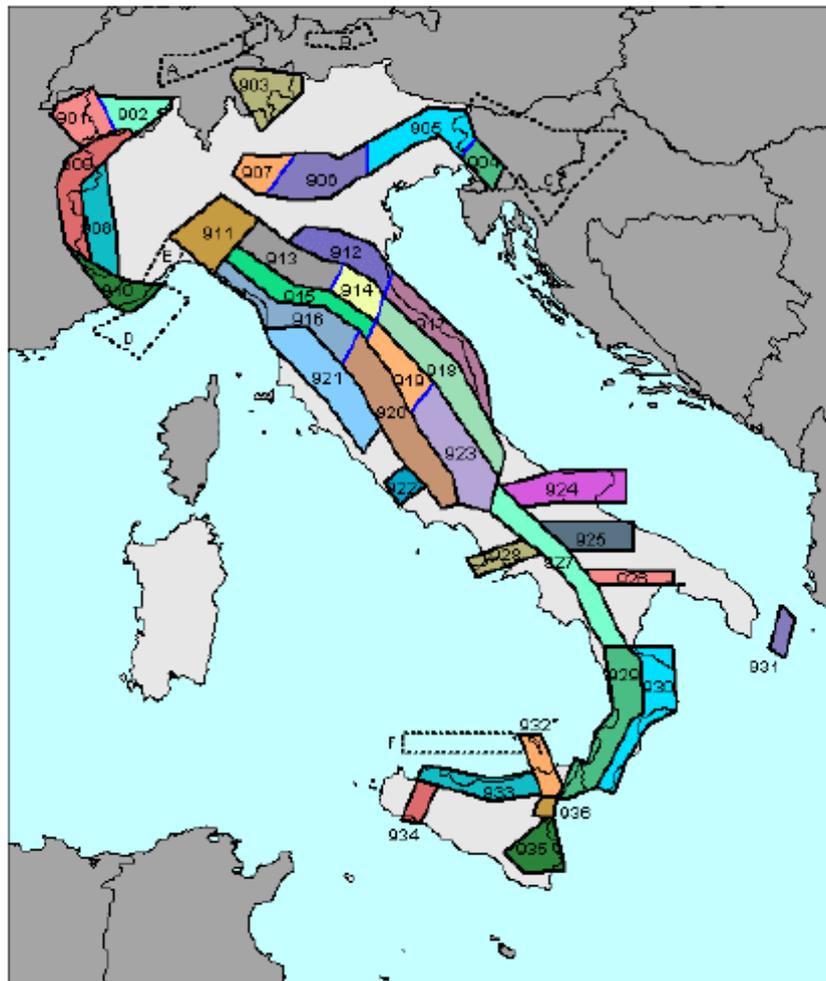


Figura 9-1. Zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto Conclusivo (bozza-aprile 2004) sulla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica-INGV).

Nel Rapporto Conclusivo (RC), ogni zona sismogenetica ha un valore di M_{max} (Magnitudo momento) che rappresenta un elemento di tipo cautelativo adottato per garantire le

determinazioni di a_{max} dalla possibilità che si verifichino, seppure con probabilità molto bassa, eventi di magnitudo superiore a quelle verificatisi nel corso del periodo di osservazione del catalogo. Questa scelta riflette ovviamente la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una data regione; non a caso, è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate.

Nel Rapporto Conclusivo sono stati definiti due insiemi di valori di M_{max} :

1. uno calibrato, in modo cautelativo, sui dati sismologici e geologici, definito M_{max1} (“osservata”);
2. uno maggiormente cautelativo definito M_{max2} (“cautelativa”), corrispondente al criterio di portare al valore $M_{w_{max}} = 6,14$ Mw tutte le ZS con $M_{maxCPTI2}$ inferiore a tale valore M_{max2} .

Secondo la mappa contenuta nel RC, il territorio del Comune di Radicondoli ricade nella zona sismogenetica **921** (Etruria) cui corrisponde una profondità “efficace”, definita come l’intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, di 1-5 (figura 13, RC) km e un meccanismo di fagliazione normale. Questa zona sismogenetica è caratterizzata da un valore $M_{w_{max1}}$ di 5.91 e, conseguentemente, da un valore $M_{w_{max2}}$ di 6.14 (tabella 6, RC).

9.2 AZIONE SISMICA

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08) D.M. 14.01.2008 introducono il concetto di “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La “pericolosità sismica di base”, nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A quale definita dal par. 3.2.2 delle NTC08), quindi viene definita mediante un approccio “sito dipendente”. In questo modo, la stima dei parametri spettrali necessari per definire l’azione sismica di progetto viene effettuata per ogni sito in esame a partire dalle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell’allegato B del NTC08).

Secondo le NTC08, una volta definita la vita nominale V_N , la classe d’uso CU e il periodo di riferimento V_R per le opere in progetto (Tabella 9-1), si possono determinare i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. Tali parametri, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, sono così definiti:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le NTC08 introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Per ciascuno nodo del reticolo di riferimento sono riportati nell'allegato B alle NTC08 i valori di a_g , F_0 e T_c^* relativi alla pericolosità sismica per diversi tempi di ritorno.

Per qualunque punto del territorio che non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in esame ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza dal punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

71

Coordinate area di intervento (UTM ED50)	Polo di produzione	Polo di reiniezione	Centrale geotermoelettrica
	Long: 11.03434 Lat: 43.24800	Long: 11.07417 Lat: 43.24173	Long: 11.03605 Lat: 43.24733
Vita nominale in anni (V_N)	≥50anni		
Classe d'uso (C_U)	II		
Coefficiente d'uso (C_0)	1		
Periodo di riferimento (V_R)	≥50		

Tabella 9-1. Parametri forniti dal progettista per la determinazione dell'azione sismica.

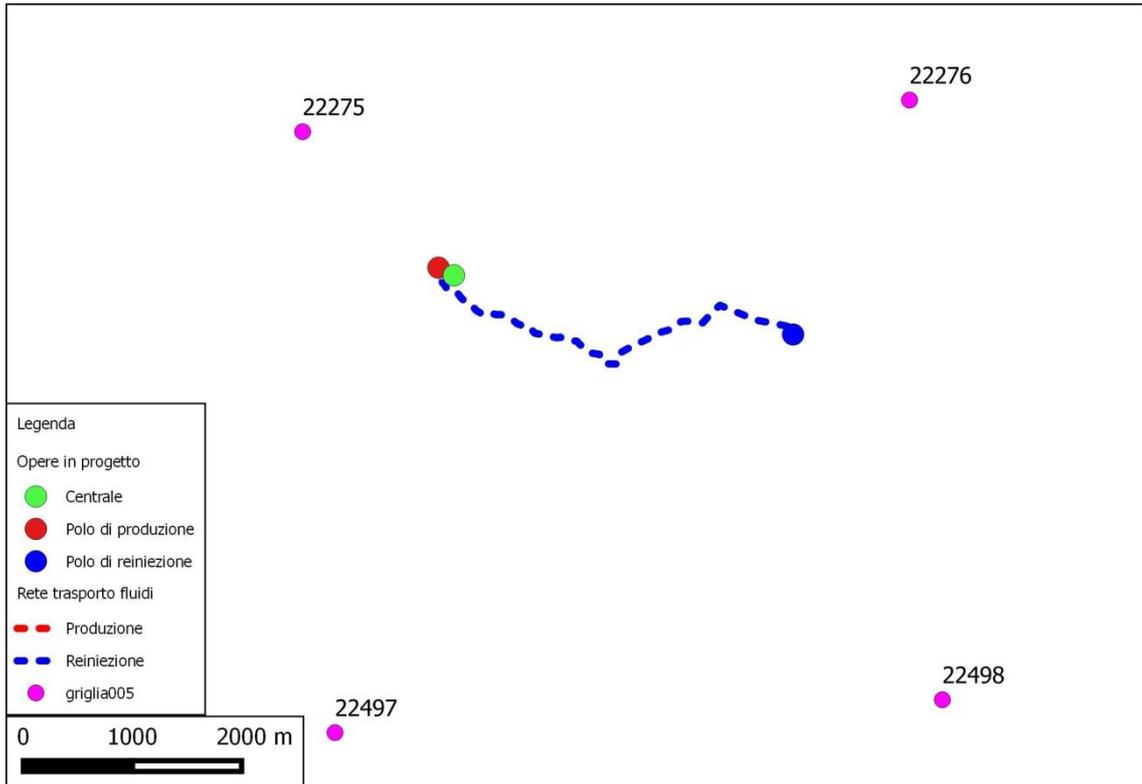


Figura 9-2. Ubicazione delle opere rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Per il calcolo dei parametri dell'azione sismica è stato utilizzato il software (*.xls) "Spettri-NTC ver.1.0.3" messo on-line sul sito del Consiglio dei Lavori Pubblici. Nella Tabella 9-2, Tabella 9-3 e Tabella 9-4 sono visibili i risultati ottenuti a partire dai parametri della Tabella 9-1. Ai sensi delle NTC08, gli SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) rappresentano gli Stati Limite di Esercizio (SLE), mentre gli SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso) rappresentano gli Stati Limite Ultimi (SLU) della costruzione.

72

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,047	2,472	0,232
SLD	50	0,059	2,504	0,246
SLV	475	0,140	2,491	0,274
SLC	975	0,175	2,522	0,281

Tabella 9-2. Valori dei parametri sismici in corrispondenza del polo di produzione.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,047	2,475	0,234
SLD	50	0,059	2,508	0,247
SLV	475	0,140	2,493	0,275
SLC	975	0,175	2,523	0,281

Tabella 9-3. Valori dei parametri sismici in corrispondenza del polo di reiniezione.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,047	2,472	0,232
SLD	50	0,059	2,504	0,246
SLV	475	0,140	2,491	0,274
SLC	975	0,175	2,522	0,281

Tabella 9-4. Valori dei parametri sismici in corrispondenza della centrale geotermoelettrica.

9.2.1 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

73

9.2.1.1 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere definita la categoria di sottosuolo. Sulla base dei dati disponibili in questo momento è possibile attribuire alle opere in progetto, in via cautelativa, la categoria di Tabella 9-5.

In fase di progetto esecutivo, al fine di ottemperare ai contenuti delle NTC08, si raccomanda l'esecuzione di una opportuna campagna geognostica e sismica finalizzata alla corretta definizione della categoria di sottosuolo.

Opera	Categoria di sottosuolo	Descrizione
Polo di produzione	C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
Polo di reiniezione	C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
Centrale geotermoelettrica	C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Tabella 9-5. Categorie di sottosuolo per le opere in progetto.

9.2.1.2 Condizioni topografiche

Ai sensi delle NTC08 ad ogni opera in progetto è stata assegnata la categoria topografica di riferimento contenuta in Tabella 9-6.

Opera	Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica
Polo di produzione	T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
Polo di reiniezione	T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
Centrale geotermoelettrica	T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$

Tabella 9-6. Categorie topografiche per le opere in progetto.

9.3 COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE K_H E COEFFICIENTE SISMICO VERTICALE K_V

La categoria di sottosuolo e la categoria topografica servono per la determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione e in spostamento, in quanto questi parametri sono legati ad alcuni coefficienti inseriti nelle espressioni che definiscono lo spettro di risposta delle componenti orizzontali e verticali.

Per tenere conto delle condizioni topografiche e di categoria di sottosuolo in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e il coefficiente topografico S_t . I valori assunti da tali coefficienti per lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali sono desunti dalla Tabella 9-7 e Tabella 9-8. In questo caso è stato scelto un valore di $S_t=1,2$.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 9-7. Tabella 3.2.V da NTC08-Espressioni di S_s .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_t
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 9-8. Tabella 3.2.VI da NTC08-Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_t .

I valori del coefficiente sismico orizzontale K_h e del coefficiente sismico verticale K_v sono ricavabili dalle seguenti formule:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t);

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono ricavabili dalla Tabella 7.11.I delle NTC08, e dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito e dalla categoria di sottosuolo (Tabella 9-9).

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tabella 9-9. Tabella 7.11.I da NTC08-Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Pertanto, per le opere in progetto si hanno i valori di Tabella 9-10, Tabella 9-11 e Tabella 9-12.

	S_s	C_c	S_t	K_h	K_v	a_{max}	a_g	β_s
SLO	1,500	1,700	1,2	0,017	0,008	0,085g	0,047g	0,2
SLD	1,500	1,667	1,2	0,021	0,011	0,106g	0,059g	0,2
SLV	1,490	1,609	1,2	0,060	0,030	0,250g	0,140g	0,24
SLC	1,435	1,596	1,2	0,072	0,036	0,301g	0,175g	0,24

Tabella 9-10. Coefficienti sismici per il polo di produzione.

	S_s	C_c	S_t	K_h	K_v	a_{max}	a_g	β_s
SLO	1,500	1,695	1,2	0,017	0,008	0,085g	0,047g	0,2
SLD	1,500	1,665	1,2	0,021	0,011	0,106g	0,059g	0,2
SLV	1,490	1,608	1,2	0,060	0,030	0,250g	0,140g	0,24
SLC	1,435	1,596	1,2	0,072	0,036	0,301g	0,175g	0,24

Tabella 9-11. Coefficienti sismici per il polo di reiniezione.

	S_s	C_c	S_t	K_h	K_v	a_{max}	a_g	β_s
SLO	1,500	1,700	1,2	0,017	0,008	0,085g	0,047g	0,2
SLD	1,500	1,667	1,2	0,021	0,011	0,106g	0,059g	0,2
SLV	1,490	1,609	1,2	0,060	0,030	0,250g	0,140g	0,24
SLC	1,435	1,596	1,2	0,072	0,036	0,301g	0,175g	0,24

Tabella 9-12. Coefficienti sismici per la centrale geotermoelettrica.

10 CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione è quel fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a modesta profondità dal piano campagna, sottoposti a sollecitazioni da azioni simiche cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Le NTC08 e successiva circolare danno le seguenti indicazioni in merito alla verifica di liquefazione: “La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kP e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kP;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$. (Figura 10-1)”

77

Nel caso specifico, considerazioni in merito al contenuto d’acqua e alla magnitudo raggiungibile presso l’area, ed eventuali verifiche di liquefazione, saranno effettuate in relazioni di progetto esecutivo.

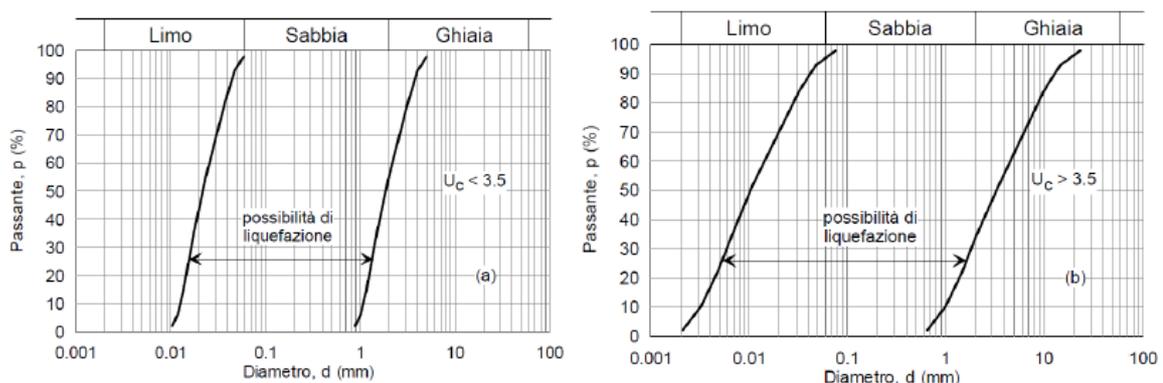


Figura 10-1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione NTC08.

11 CONCLUSIONI

Il presente studio ha riguardato l'analisi degli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e litotecnici delle aree interessate dalla realizzazione di due postazioni di perforazione per pozzi geotermici, di una centrale geotermoelettrica e della relativa rete di trasporto dei fluidi nel Comune di Radicondoli (SI) al fine di verificare la compatibilità delle opere con le caratteristiche del territorio.

L'area di intervento si trova ubicata a sud del centro abitato di Radicondoli compresa tra la località Podere Le Costaglie e il Podere Piterna. Il settore è caratterizzato da un substrato costituito dalle unità geologiche afferenti ai depositi Neogenici che hanno riempito il bacino di Radicondoli. Le unità arealmente più estese nel settore ovest sono quelle della Formazione delle Argille del Torrente Foschi e della Formazione del Torrente Raquese rappresentata da gessi, argille e argille sabbiose (litofacies RAQ, RAQ_g e RAQ_a). Nel settore est, verso il polo di reiniezione, invece dominano le unità afferenti alla Formazione del Torrente Foschi che formano i fianchi vallivi del Torrente Feccia ai quali si sovrappongono i depositi della Formazione dei Conglomerati di Lago Boracifero (CLB). I depositi del substrato neogenico sono ricoperti localmente da depositi detritici di versante e/o depositi di frana con spessore variabile che testimoniano una certa dinamica di versante. Lungo i fondovalle dei corsi d'acqua sono presenti depositi alluvionali e alluvioni terrazzate.

Da un punto di vista geomorfologico l'area si presenta come una alternanza di paesaggi collinari e pianeggianti che rispecchia le litologie affioranti. I rilievi collinari sono legati agli affioramenti delle formazioni mio-plioceniche a litologia argillosa e/o sabbiosa con le sommità dei rilievi caratterizzati da morfologie più aspre legate alla presenza di rocce più coerenti di natura conglomeratica e arenacea. Le aree pianeggianti sono invece legate ai depositi alluvionali dei corsi d'acqua principali.

78

Le aree direttamente interessate dalle opere in progetto non presenta particolari problematiche da un punto di vista geomorfologico anche se nei vari elaborati della pianificazione territoriale, consultati per questa relazione, lungo i versanti sono stati cartografati depositi di frana sia quiescenti sia attivi. La formazione di tali depositi in genere è da ricondurre sia alla natura delle unità affioranti sia a fenomeni di scalzamento al piede da parte dei corsi d'acqua. Oltre ai depositi di frana, lungo i versanti, sono stati individuate forme legate a fenomeni di creeping, soliflusso o frane superficiali generati dall'acclività del versante e dall'effetto delle piogge sui litotipi argillosi.

Da un punto di vista idrogeologico il settore vede la presenza di una rete di piccoli botri e fossi con andamento rettilineo. La natura poco permeabile delle formazioni affioranti fa sì che le acque piovane inizialmente danno origine ad un ruscellamento diffuso e poi vanno a formare una rete idrica costituita da fossi di erosione ad andamento sub-rettilineo che convogliano le acque nei torrenti principali (Fosso Lucignano, Lucignanino e Torrente Feccia).

Entrando nello specifico le aree dove sarà realizzata la centrale geotermoelettrica, il polo di produzione, la rete di trasporto di produzione dei fluidi e l'area del polo di reiniezione, al momento del sopralluogo, sembravano sufficientemente stabili e non erano presenti segni di movimenti in atto o incipienti fatta eccezione per i già menzionati movimenti legati alla parte più superficiale del versante.

Il tracciato della rete di reiniezione dei fluidi passa lungo la cresta del versante che si estende dal polo di produzione alla località Bellavista. L'esame della cartografia ufficiale e il sopralluogo hanno permesso di verificare che in generale le aree interessate direttamente dalla rete di trasporto dei fluidi sembrano sufficientemente stabili. Tuttavia i versanti prospicienti il tracciato della condotta sono contraddistinti dalla presenza di alcuni movimenti franosi sia attivi che quiescenti. A partire dalla località Casa Nuova il tracciato della rete di reiniezione discende il versante in direzione est fino al polo di reiniezione. Anche per questo settore il sopralluogo non ha evidenziato particolari problematiche legati a vari aspetti geomorfologici e l'unico elemento di particolare attenzione risulta essere il deposito franoso ubicato a valle della strada bianca del Podere Colle Talli e alla base del quale si troverà a passare la condotta. Per quanto esposto, in corso d'opera, dovrà essere attentamente valutata la stabilità dei versanti in relazione all'esecuzione dei lavori, specialmente lungo i tratti che si trovano a passare vicino ai depositi di frana.

Dalla relazione tecnica allegata al progetto, per la realizzazione delle opere sono previsti scavi di profondità di circa 5-6 dal piano campagna, mentre per la rete dei fluidi geotermici di circa 1.5-1.8 m. Durante lo scavo saranno attraversati depositi aventi per lo più caratteristiche geotecniche mediocri o scadenti, pertanto dovrà essere verificata la stabilità degli scavi facendo particolare attenzione all'angolo di scarpa da attribuire ai fronti di scavo. Queste verifiche dovranno essere effettuate utilizzando i risultati ottenuti da apposite indagini geognostiche da effettuare in fase esecutiva secondo quanto stabilito dalle NTC08.

79

L'esecuzione degli scavi dovrà essere eseguita in modo da evitare che avvengano dei distacchi lungo il suo fronte, inoltre gli scavi dovranno essere realizzati in modo graduale fino a raggiungere l'angolo di scarpa al fine di garantire le condizioni di sicurezza. In questa fase si deve precisare che la forma dei fronti di scavo potrà essere determinata solo a seguito dei risultati delle indagini geognostiche da prevedere in fase di progetto esecutivo, non è escluso che se i terreni attraversati risultassero avere caratteristiche geotecniche scadenti, dovranno essere previste delle opere di sostegno.

Durante le operazioni di scavo si dovranno adottate le dovute precauzioni al fine di evitare al massimo le infiltrazioni di acque meteoriche che possono andare a peggiorare le caratteristiche di resistenza dei materiali e nel caso in cui i cantieri subiscano una o più interruzioni di lunga durata, i fronti di scavo dovranno essere ricoperti mediante teli impermeabili a partire da almeno 2 m dal ciglio esterno del bordo dello scavo, al fine di limitare al massimo l'infiltrazione delle acque meteoriche. Inoltre è buona regola evitare

lo stazionamento di macchinari o mezzi pesanti sul bordo degli scavi al fine di non comprometterne la stabilità.

Durante la messa in opera della rete di trasporto dei fluidi di reiniezione, vista la natura granulare dei depositi, sarà opportuno realizzare gli scavi per tratti successivi della minore lunghezza possibile e di predisporre opportune accortezze per allontanare eventuali ristagni di acqua dagli scavi. Un altro accorgimento da prevedere è di operare in modo da ridurre al minimo il tempo tra l'apertura dello scavo e la realizzazione delle opere al fine di evitare il rilassamento delle pareti e/o del fondo degli stessi. Come accennato precedentemente, dovrà essere prestata in fase di progetto esecutivo particolare attenzione per la posa dei tratti in corrispondenza dei depositi di frana. Dovranno essere adottate le migliori e più idonee tecniche di fondazione prevedendo nel caso anche l'ancoraggio della condotta al substrato, nonché prevedere, se necessario, opere ingegneristiche per stabilizzare il versante.

Considerato il fatto che i fenomeni di dissesto superficiali sono originati principalmente dalle acque meteoriche, sarebbe opportuno effettuare il cantiere durante la stagione asciutta, quando le precipitazioni sono modeste e il livello dei corsi d'acqua è minimo. Si suggerisce inoltre di prevedere un adeguato sistema di regimazione delle acque meteoriche in modo da garantire il drenaggio e l'allontanamento delle stesse al fine di evitare l'instaurarsi di forme di ruscellamento libero evitando l'insorgere di fenomeni di erosione superficiale o ristagni.

I cantieri per le opere in progetto si trovano a lavorare nelle immediate vicinanze di alcuni corsi d'acqua pertanto si suggerisce in fase operativa, durante le varie operazioni di realizzazione delle opere, di adottare specifiche cautele per quanto concerne la tutela qualitativa delle acque; sarà pertanto necessario utilizzare macchine in perfetta efficienza, revisionate ed a norma, in modo da minimizzare i rischi di sversamenti accidentali.

Visto che le opere si trovano ubicate al contatto tra litotipi diversi in fase esecutiva dovranno essere prese in considerazione le migliori soluzioni costruttive al fine di evitare l'insorgere di cedimenti differenziati. La presenza di terreni argillosi comporta problemi legati alla compressibilità, al ritiro e al rigonfiamento di questi litotipi. Questi comportamenti dovranno essere considerati al momento del progetto esecutivo delle opere.

Sulla base di quanto esposto nella presente relazione, le aree studiate possono essere considerate idonee alla realizzazione degli interventi. Tuttavia in fase esecutiva, dovrà essere prevista una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla valutazione diretta della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche dei terreni dove andranno ad imporsi le opere. I dati acquisiti serviranno per effettuare le verifiche dei cedimenti e per il calcolo della capacità portante dei terreni, della stabilità dei fronti di scavo e dei versanti, e se necessario per la verifica alla liquefazione. Inoltre, come richiesto dal Decreto del Ministero delle infrastrutture del 14 Gennaio 2008 n 1401, si dovrà

effettuare una campagna di indagini geofisiche in modo da definire correttamente lo spessore e la velocità dei litotipi sepolti. A seguito delle indagini geognostiche puntuali si potranno avere anche informazioni circa la presenza e la profondità di eventuali falde.

Infine si raccomanda la gestione delle terre e rocce da scavo a norma di legge: riutilizzo in cantiere o extra-opera come sottoprodotto, previo accertamento dei requisiti necessari e predisposizione del Piano di Utilizzo, o smaltimento presso un impianto autorizzato.