



STUDIO PER LA REALIZZAZIONE DI UN INVASO ARTIFICIALE IN LOC. PIAN DI GORO

ANALISI DELLE IPOTESI ALTERNATIVE

GETAS-PETROGEO s.r.l.

PISA

Giugno 2011

Emesso da:

Ing. Paolo Ghezzi

Dr. C. Damiano Porsia

Rivisto e Approvato da:

Dr. Giuseppe Ghezzi

INDICE

	<u>Pagina</u>
1 – PREMESSA	3
2 - DOCUMENTAZIONE ACQUISITA E INDAGINI ESEGUITE	6
3 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	9
3.1 - Geologia	9
3.2 - Cenni di tettonica.....	11
3.3 - Geomorfologia.....	11
3.4 - Idrogeologia.....	12
3.5 - Geotecnica	13
3.5.1 - Quadro geolitologico e parametrico	13
3.5.2 - Sismicità	16
3.5.3 - Parametri idrogeologici	18
4 – AREA A. IPOTESI DI SBARRAMENTO 1, 2, 3.....	20
4.1 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico di riferimento	20
4.2 – Geofisica.....	27
4.2.1 – Tomografia elettrica	27
4.2.2 – Tomografia sismica	28
4.3 – Commento e valutazione	30
5 – AREA B. IPOTESI DI SBARRAMENTO 4.....	31
6 – AREA C. IPOTESI DI SBARRAMENTO 5 e 6.....	32
6.1 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico.....	33
6.2 – Geofisica. Tomografia sismica	37
6.3 – Commento e valutazione	38
7. – IPOTESI DI INVASO SGHIAIATORE A MONTE	40
DEL PONTE ALLA SPINETA	40
7.1 – Ricostruzione topografica e metodologia di calcolo.....	40
7.2 – Soluzione sghiaiatore ponte alla Spineta.....	43
7.2.1. – Elementi di vaso.....	43
7.2.2 – Considerazioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche	45
7.3 – Soluzione sghiaiatore Casa ai Poveri.....	51
7.3.1 – Elementi di vaso.....	51
7.3.2 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico	53
8. – ELEMENTI DI COSTO.....	56
9. – CONCLUSIONI.....	58

1 – PREMESSA

Nell'area di Pian di Goro, a cavallo delle Province di Pisa e Siena, fra gli abitati di Monteguidi (Comune di Casole d'Elsa - SI) e Cerbaiola/Lanciaia (Comune di Castelnuovo di Val di Cecina - PI) ASA ha valutato la possibilità di realizzare un invaso per immagazzinare acqua da destinare ad uso idropotabile.

ASA ha valutato e proposto alle amministrazioni locali varie soluzioni progettuali, Fig. 1.1, di cui una con due bacini separati. In particolare:

Soluzione 1: invaso avente altezza di sbarramento di 25 metri e volumetria di circa 12 milioni di mc;

Soluzione 2: due invasi aventi altezza di sbarramento di 10 metri e volumetria totale di circa 6 milioni di mc,

Soluzione 3: un solo invaso, quello più a valle dei due proposti con la soluzione 2, con altezza di sbarramento di 10 metri e volumetria di 2.5 milioni di mc o con altezza 15 metri e volumetria leggermente superiore.

Soluzione 4: una diga di grandi dimensioni con altezza dello sbarramento variabile fino a consentire un invaso fino a 30 milioni di mc, con sezione di sbarramento a valle della confluenza del T. Pavone nel F. Cecina:

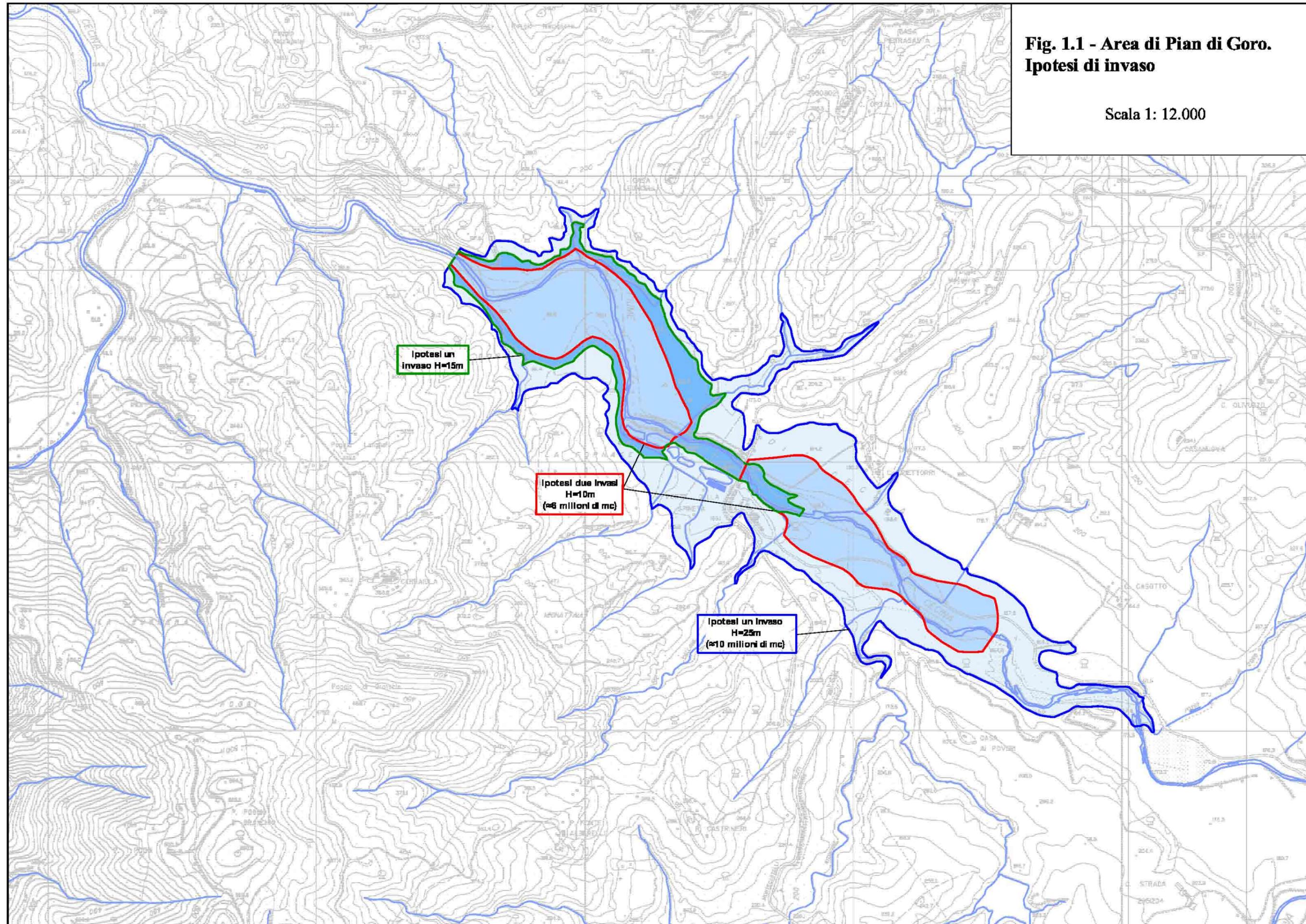
Dall'esame preliminare delle quattro proposte, ASA concludeva che la soluzione con un lago di almeno 6 milioni di metri cubi sarebbe stata quella minima e ottimale in termini di costi/benefici in quanto avrebbe garantito da un lato il prelievo per gli usi previsti, dall'altro i rilasci defluenti in alveo a valle per soddisfare le diverse esigenze di tipo idraulico ed ambientale e cioè:

- 80 l/s, prelevati dal bacino per l'approvvigionamento idrico;
- 200 l/s, da rilasciare a valle per garantire il riempimento dell'invaso di Puretta;
- 100 l/s, da rilasciare a valle per garantire il DMN (deflusso minimo naturale);
-

totale approssimato a circa 1000 l/s, sostenibili sulla base delle valutazioni idrologiche preliminari.

**Fig. 1.1 - Area di Pian di Goro.
Ipotesi di invaso**

Scala 1: 12.000



Parallelamente, le Amministrazioni Locali ritenevano che la costruzione di un invaso/diga di 6 milioni di metri cubi avrebbe rappresentato un impegno finanziario ingente e, nell'immediato, non sostenibile per gli alti costi realizzativi, proponendo di valutare soluzioni alternative, meno onerose ma compatibili con un progetto generale più ampio come, ad esempio, un invaso con sbarramento nei pressi dell'attuale Ponte della Spineta da inquadrare come "sghiaiatore" nell'ambito di un invaso di grandi dimensioni da realizzare più a valle in un secondo momento.

Sono state quindi valutate sei possibili ipotesi di imposta e relativi bacini di invaso tenendo conto delle ipotesi precedenti (Fig. 1.2) e sviluppando un dettaglio di progetto preliminare per gli aspetti geologici, geomorfologici idrogeologici e geotecnici ricostruiti sulla base dei dati disponibili e dei risultati di indagini specifiche ed un'ulteriore ipotesi di invaso sghiaiatore che necessita, tuttavia, di ulteriori indagini di dettaglio per raggiungere un livello di progetto preliminare.

Delle prime 6 ipotesi studiate:

- quattro sono ubicate nelle aree **A** e **B** di Pian di Goro, rispettivamente la 1, 2 e 3 nella stretta incisione valliva alla chiusura del Piano di Goro e la 4 presso il Ponte della Spineta;
- la quinta e la sesta nell'area **C** a valle della confluenza del T. Pavone con il F. Cecina.

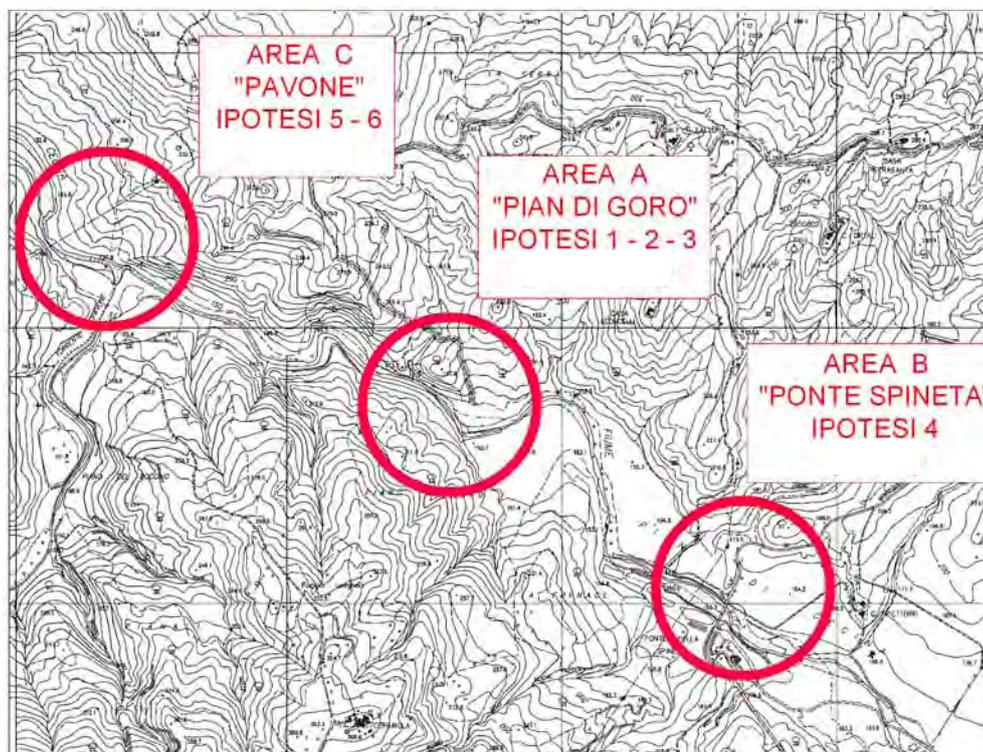


Fig. 1.2 - Pianta di posizione con ubicazione delle sei ipotesi di sbarramento

2 - DOCUMENTAZIONE ACQUISITA E INDAGINI ESEGUITE

Lo studio si è avvalso di tutta una serie di elementi disponibili in lavori e documenti precedenti, forniti dalla committenza e in parte reperiti in bibliografia tecnica. Si tratta prevalentemente di:

- ricostruzioni del quadro stratigrafico/tettonico geomorfologico e paleoambientale, eseguite in studi universitari degli anni settanta, integrati e aggiornati dal nuovo impianto della carta geologica e geomorfologica alla scala 1:10.000 (Regione Toscana e Provincia di Pisa) e recepite nei Piani Strutturali di Volterra, Pomarance, Casole d'Elsa, Radicondoli e Castelnuovo Val di Cecina;
- studi di fattibilità di possibili invasi sul T. Pavone e di sbarramenti collinari ubicati sulla rete idrografica minore tributaria del F. Cecina presso il Piano di Goro;
- studio di fattibilità di un campo pozzi integrativo a Puretta presso la località Casa Strada, alcune centinaia di metri a monte del sito di Pian di Goro.

Il quadro conoscitivo acquisito è stato integrato con studi specifici e con le seguenti indagini:

a) Geologia e geomorfologia

- foto interpretazione per un maggior dettaglio del quadro geologico-strutturale e geomorfologico delle aree in cui sono ubicate le ipotesi di sbarramento e dei versanti del futuro lago. Sopralluoghi in campagna per chiarire situazioni locali particolarmente complesse dove la foto interpretazione ha evidenziato criticità geologico - strutturali e geomorfologiche nuove o già osservate nei piani strutturali;

b) Geofisica

- prospezione geoelettrica (Ottobre 2007) consistita in 2 profili elettrici tomografici (Q-Q' e R-R' in Fig. 2.1). Profondità di indagine: 40 m circa;
- campagna di indagini sismiche a rifrazione (Settembre 2008) con profili lungo ognuna delle sei ipotesi di sbarramento, uno trasversale e due paralleli al F. Cecina per ciascuna spalla di appoggio del possibile sbarramento (Fig. 2.1) come da Tabella 2.1:

IPOTESI DI SBARRAMENTO 1					
Sigla Profilo	N° Geofoni	Lunghezza	Acquisizione con onde	Orientamento profilo	Distanza geofoni
PR-5	48	240 m	P	trasversale	5 m
PR-12	24	120 m	P	Longitudinale DX	5 m
PR-7	24	120 m	P	Longitudinale SX	5 m
IPOTESI DI SBARRAMENTO 2					
PR-6	48	240 m	P	trasversale	5 m
PR-11	24	120 m	P	Longitudinale DX	5 m
PR-8	24	120 m	P	Longitudinale SX	5 m
IPOTESI DI SBARRAMENTO 3					
PR-9	72	360 m	P e SH	trasversale	5 m
PR-4	24	120 m	P e SH	Longitudinale DX	5 m
PR-10	24	120 m	P e SH	Longitudinale SX	5 m
IPOTESI DI SBARRAMENTO 4					
PR-1	96	480 m	P e SH	trasversale	5 m
PR-2	24	120 m	P e SH	Longitudinale DX	5 m
PR-3	24	120 m	P e SH	Longitudinale SX	5 m
IPOTESI DI SBARRAMENTO 5					
PR-13	48	240 m	P	trasversale	5 m
PR-15	24	120 m	P	Longitudinale DX	5 m
PR-17	48	240 m	P	Longitudinale SX	5 m
IPOTESI DI SBARRAMENTO 6					
PR-16	48	240 m	P	trasversale	5 m
PR-14	24	120 m	P	Longitudinale DX	5 m

Tabella 2.1 – Sintesi delle indagini sismiche eseguite

c) Sondaggi geognostici

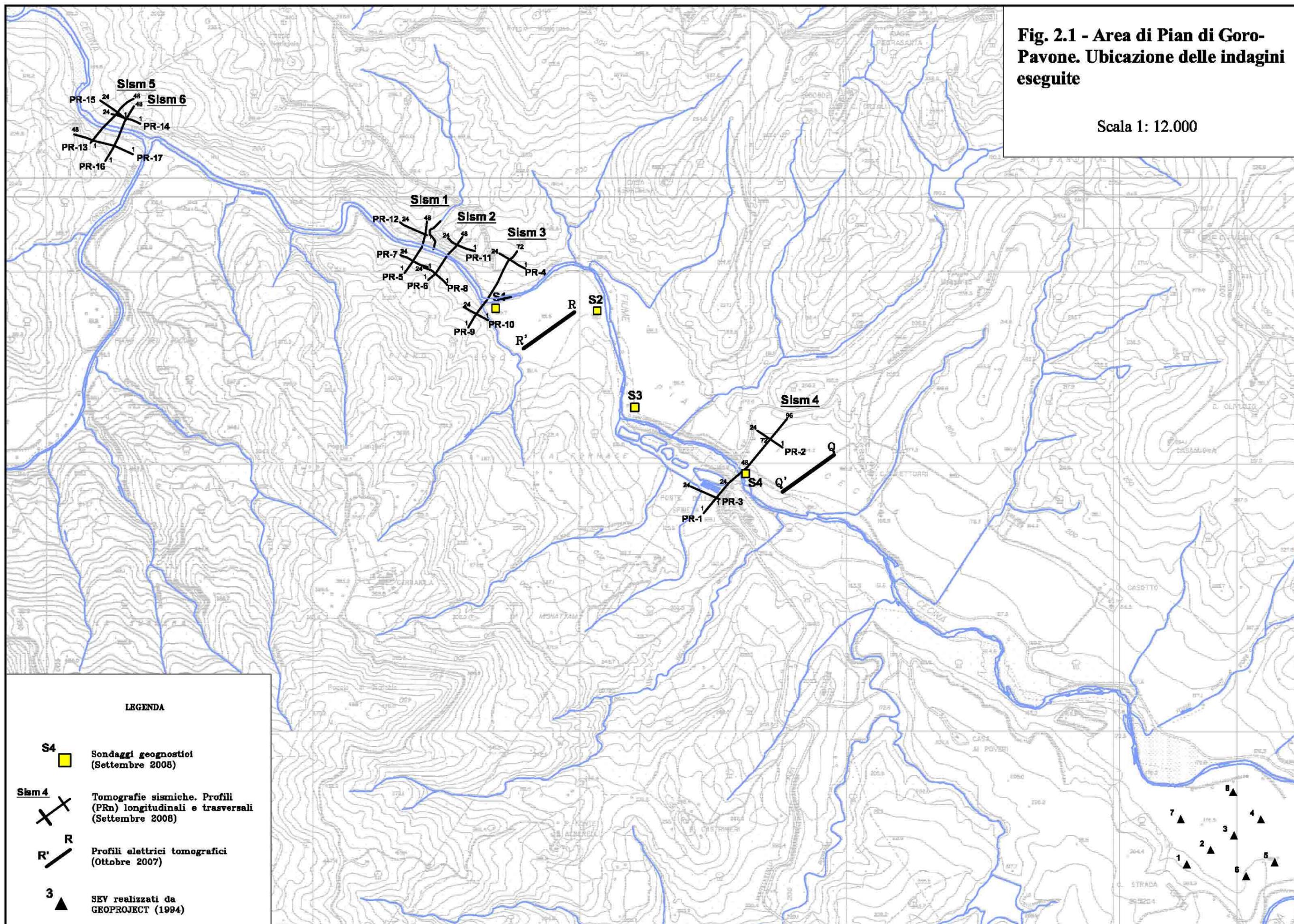
- perforazione di quattro sondaggi geognostici (S1÷S4, Settembre 2008 - Fig. 2.1), ubicati in corrispondenza delle sezioni di chiusura degli sbarramenti di Pian di Goro (S1, S4), intermedi lungo l'asse longitudinale degli invasi (S2, S3). Getas Petrogeo srl ha garantito l'assistenza geologica in fase di perforazione, documentando la stratigrafia dettagliata dei terreni attraversati, la sistemazione finale dei fori allestiti a piezometro, indicando le profondità di prelievo dei campioni di terreno per le analisi geotecniche, di esecuzione delle prove SPT e delle prove di permeabilità Le Franc.

d) Laboratorio geotecnico

- prelievo di 9 campioni rimaneggiati di terreno alluvionale e di roccia ofiolitica e arenacea durante i sondaggi, sottoposti a prove di laboratorio geotecnico.

Fig. 2.1 - Area di Pian di Goro-Pavone. Ubicazione delle indagini eseguite

Scala 1: 12.000



LEGENDA

- S4**  Sondaggi geognostici (Settembre 2008)
- Sism 4**  Tomografie sismiche. Profili (PRn) longitudinali e trasversali (Settembre 2008)
- R**  Profili elettrici tomografici (Ottobre 2007)
- 3**  SEV realizzati da GEOPROJECT (1994)

3 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

3.1 - Geologia

Nell'area di studio affiorano formazioni appartenenti a tre gruppi di unità attribuibili a momenti geologici diversi di deposizione (Fig. 3.1). Si tratta delle:

a) Formazioni del Dominio Ligure Esterno (Giurassico-Cretaceo)

Costituito da unità litostratigrafiche di crosta oceaniche e relativa copertura sedimentaria, comprendono le formazioni alloctone dell'unità tettonica delle argille a Palombini e dell'Unità tettonica di Monte Lanciaia. Affiorano ad nel settore nord occidentale presso la confluenza T. Pavone nel F. Cecina e nel settore Sud occidentale fra i due corsi d'acqua. A partire dalla più antica:

- Rocce ofilitiche (serpentiniti-**E**, gabbri e brecce di gabbro-**G**, basalti-**T**);
- Diaspri - **DSA**;
- Calcari a Calpionelle - **CPL**;
- Argille a Palombini - **APA**;
- Formazione di Lanciaia (brecce **CAAb**, arenarie **CAAr**, argilliti **CAAa**).

b) Formazioni della Successione Neogenica (Miocene Sup.)

Le formazioni neoautoctone affiorano nella porzione orientale della carta geologica di Fig. 3.1 in destra e sinistra idrografica del F. Cecina. Depositata in bacini fortemente subsidenti, in un primo tempo lacustri, successivamente lagunari con acque salmastre, sono caratterizzate da cinque complessi sedimentari diversificati, rappresentati a partire dal più antico, da:

- Formazione del Torrente Sellate (Arenarie della Caprareccia-**SLTr** e Conglomerati di Monte Soldano-**SLTe**);
- Formazione del T. Fosci - **FOS**;
- Formazione del T. Raquese - **RAQ**;
- Argille del F. Era Morta-**EMO**.

c) Depositi alluvionali e depositi terrazzati (Quaternario)

Discordanti su tutte le formazioni sopra descritte, affiorano i depositi quaternari, attuali e recenti, suddivisi nelle seguenti unità:

- Depositi di versante e conoidi;
- Alluvioni terrazzate;
- Alluvioni attuali e recenti: affiorano lungo il corso del F. Cecina e lungo il T. Pavone.

Nella carta geologica di Fig. 3.1 è visibile la distribuzione delle unità affioranti, compresi i sistemi di faglie che interessano l'area cartografata; nella Fig. 3.2, è riportata la sequenza stratigrafica delle formazioni litologicamente differenti e i loro rapporti giacitureali. Le sezioni geologiche di dettaglio saranno illustrate nei capitoli successivi in cui si commenteranno le fattibilità delle sei ipotesi progettuali.

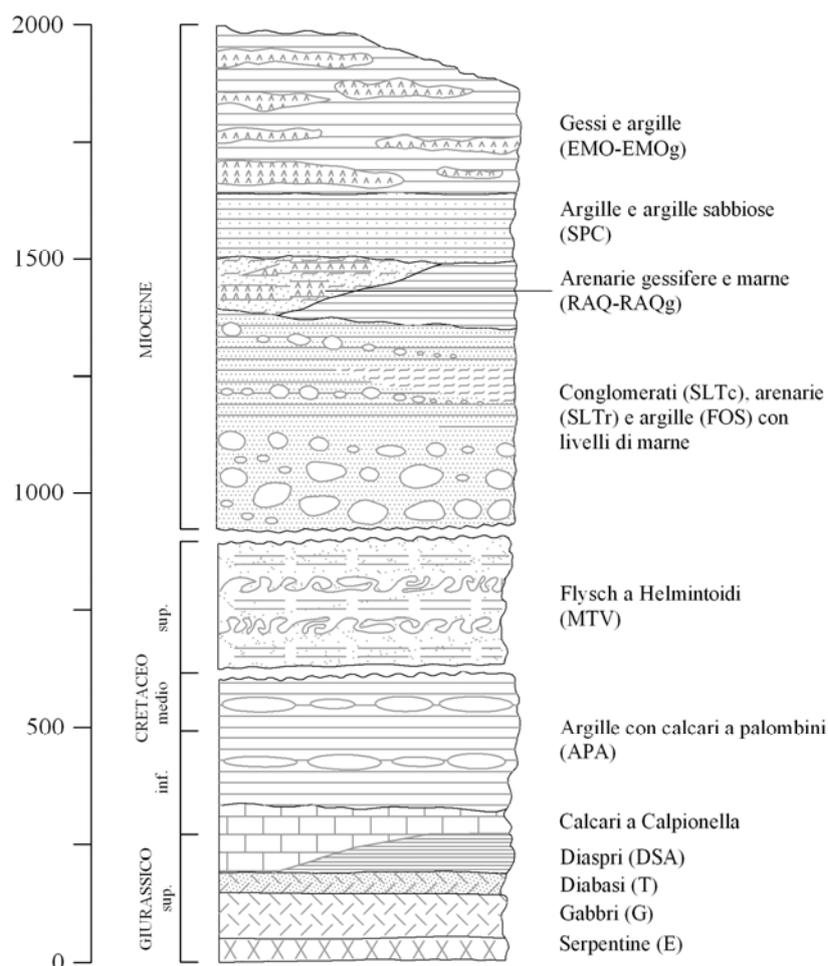


Fig. 3.2 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le formazioni affioranti nell'area di studio

3.2 - Cenni di tettonica

L'assetto tettonico dell'area di studio è connesso alle fasi orogenetiche esplicatesi nel corso del Miocene, culminate con la fase parossistica del Tortoniano (Miocene Superiore). La dinamica durante quest'ultima fase tettonogenetica è stata caratterizzata da spinte notevoli traducibili in meccanismi di messa in posto di stile rigido con sovrascorrimenti tipo pieghe faglie.

Alla fase parossistica suddetta ha fatto seguito una fase distensiva caratterizzata dalla formazione di importanti sistemi di faglie dirette con formazione di strutture tettoniche tipo graben ed horst, sulle quali si sono depositati i sedimenti della successione neogenica post-Messiniana. Nel caso di Pian di Goro, tali sedimenti orlano la struttura a graben della stretta valliva in tutto il settore orientale fino al contatto tettonico con l'alto strutturale delle liguridi incise dal F. Cecina fino alla confluenza con il T. Pavone.

Un contributo interessante al quadro strutturale è stato offerto dall'interpretazione geologica delle foto aeree che ha consentito di individuare i principali allineamenti di fratture e di ricostruire la rete delle lineazioni (fratture e/o faglie) collegabili alle varie fasi tettoniche.

Si individuano due sistemi che interessano sia le formazioni più antiche del Giurassico e del Cretaceo sia i terreni della successione Neogenica:

- il primo a direzione appenninica Nord-Ovest/Sud-Est che sembra essere più rappresentativo dell'andamento strutturale prevalente, interessando maggiormente le formazioni più antiche del Giurassico-Cretaceo;
- il secondo, grossomodo ortogonale al primo, in direzione antiappenninica, sviluppato su tutte le formazioni affioranti ma con una lunghezza delle lineazioni inferiore rispetto a quella del sistema appenninico.

3.3 - Geomorfologia

Nell'elaborato di Fig. 3.3 è riportato il quadro di sintesi dell'area di studio caratterizzato da forme geomorfologiche di rilievo legate alla dinamica fluviale del Cecina e, sui versanti, all'incidenza dei parametri acclività e caratteristiche litologiche-geomeccaniche delle formazioni coinvolte. La carta evidenzia che:

- Nel fondovalle i depositi alluvionali, distinti fra attuali a granulometria mista e terrazzati del pleistocene, determinano una morfologia suborizzontale. Scarpate di erosione fluviale si

osservano sia lungo il corso attuale del F. Cecina che nel tratto terminale del T. Pavone. Canali ad andamento intrecciato si osservano nel F. Cecina nel tratto alluvionale che interessa gli affioramenti miocenici. Anche alcuni fossi tributari in destra e sinistra idrografica dei due corsi d'acqua citati presentano tratti in erosione accentuata;

- Sui versanti, dove prevale il litotipo argilloso e le pendenze sono più blande, si osservano aree detritiche prive di indizi di franosità. Aree con paleofrane e frane quiescenti sono diffuse prevalentemente in sinistra Cecina;
- In corrispondenza degli affioramenti ofiolitici, fortemente tettonizzati e caratterizzati da pendenze accentuate e da variazioni litologiche, con conseguenti variazioni delle caratteristiche geomeccaniche, sono rilevabili numerose frane con dinamica di scorrimento traslativo e/o di crollo, sia attive che quiescenti con locali riattivazioni nelle zone di distacco;
- Aree caratterizzate da ruscellamento diffuso si osservano infine sulle formazioni della Serie delle Liguridi in corrispondenza di aree denudate per cause naturali o antropiche.

3.4 - Idrogeologia

Nell'area di studio, le formazioni affioranti, alla luce della loro estrema variabilità litologica, presentano caratteristiche idrogeologiche molto diverse specie in termini di permeabilità. Con riferimento al quadro geologico ricostruito, le varie formazioni possono essere accorpate in base alle loro caratteristiche per differenti classi di permeabilità. La carta idrogeologica di Fig. 3.4, illustra il quadro di distribuzione nell'area delle diverse classi di permeabilità:

- Permeabilità per fessurazione: è assegnata una permeabilità media alle formazioni rocciose più antiche dell'alloctono ligure diaspri, Calcari a Calpionelle e ofioliti (basalti, gabbri e serpentiniti) oltre alle breccie/arenarie dell'Unità di Lanciaia caratterizzate da una circolazione sotterranea limitata al tratto più superficiale entro il quale le fratture restano beanti (<50 metri).
- Permeabilità per porosità: si tratta delle unità incoerenti quali le alluvioni del F. Cecina (permeabilità elevata) e i depositi di conoide (permeabilità media). Ai depositi di versante è stata mediamente attribuita una permeabilità bassa;
- Formazioni a bassa permeabilità e impermeabili: sono tutte quelle a prevalente componente argillosa oppure argilloso sabbiosa.

Dove le sezioni vallive sono ampie e consentono la formazione di spessori alluvionali idrogeologicamente significativi, le alluvioni di fondovalle del F. Cecina sono sede di una falda freatica alimentata dalle acque del subalveo, con direzione di scorrimento SE-NO.

3.5 - Geotecnica

I nuovi quattro sondaggi citati nei precedenti paragrafi (Fig. 2.1) sono stati realizzati a carotaggio continuo: S1, S2 e S4 perforati fino alla profondità di 20 m (logs stratigrafici delle Figg. 3.5, 3.6 e 3.8), S3 fino a 25 metri (log stratigrafico in Fig. 3.7). Il sondaggio S1 è ubicato in corrispondenza della sezione di imposta n° 3 (Area A), S2 e S3 lungo l'asse longitudinale dello stesso vaso, S4 in prossimità della sezione di imposta n°4 (Area B).

3.5.1 - Quadro geolitologico e parametrico

Il quadro geolitologico di riferimento è il seguente:

- nei primi cinque metri, sono stati attraversati terreni alluvionali sciolti. Le analisi granulometriche di tre campioni prelevati nei sondaggi S1, S2 e S3 fra 2 e 3 metri di profondità indicano un litotipo medio ghiaioso con sabbia debolmente limosa. Nel sondaggio 4, le alluvioni di soli 2 metri di spessore poggiano su un substrato fortemente alterato il cui litotipo prevalente sembra essere una sabbia con limo e argilla e con frequenti intercalazioni di livelletti calcarenitici e marnosi;
- da 5 metri a circa 20-25 metri i depositi alluvionali poggiano:
 - nel caso di S1, su formazioni ofiolitiche più precisamente su gabbri macrocristallini fortemente caolinizzati;
 - nel caso di S2 e S3, sul substrato argilloso e/o argillitico miocenico ad elevata consistenza;
 - nel caso di S4, su arenarie grossolane alterate e molto fratturate (piani di fratturazione intorno a 30-40°), conglomeratiche a tratti, con intercalazioni centimetrico-decimetriche limoso-sabbiose fino a 16 metri. Da 16 metri, la fratturazione tende a ridursi e le intercalazioni divengono argillitiche e siltitiche.

Campioni indisturbati e rimaneggiati sono stati prelevati nei terreni alluvionali incoerenti, in roccia e dai livelli argillosi per essere sottoposti a prove di laboratorio di caratterizzazione fisica e geotecnica/geomeccanica.

Prove SPT sono state eseguite nel sondaggio S2, rispettivamente nello strato alluvionale (a -2 metri) e nelle argille mioceniche (a -7 metri) e nel sondaggio S4 rispettivamente nello strato alluvionale (a -1.5 metri), nel substrato alterato (a -4.5 e -7.5 metri), nelle arenarie (-12 metri).

Il quadro di sintesi è illustrato nelle Tabelle 4.1 e 4.2:

Sondaggio (n°)	Profondità (m)	N_{spt} (colpi/piede)	σ'_{vo} (kPa)	N'_{spt} (colpi/piede)	Dr (%)	ϕ (°)
S4	1.5-2.0	>50	40	33	100	37
S2	2.0-2.5	>50	50	33	100	37
S4	4.5-5.0	>50	100	33	88	36.5
S4	7.5-8.0	>50	160	33	77.5	36
S4	12.0-12.5	>50	250	33	68	34

Tabella 4.1 - Sintesi dei dati relativi alle prove penetrometriche SPT

sondaggio	S1		S2		S3		S4		
campione	C1*	C2	C1*	C2	C1*	C2	C1*	C2	C3
profondità (m)	2.5-3.0	10.9 - 11.0	2.0 - 3.0	4.5 - 5.0	2.0 - 3.0	6.0 - 6.4	4.0 - 4.5	8.4 - 8.6	13.0 - 13.5
qualità	riman.	carota	riman.	riman.	riman.	riman.	riman.	carota	carota
contenitore	sacchetto	fustella	sacchetto	fustella	sacchetto	fustella	sacchetto	fustella	fustella
litologia	Giaia sabbiosa deb. limoso-argillosa grigia	Gabbro	Ghiaia sabbiosa grigia	Argilla limosa consistente grigia	Giaia sabbiosa deb. limoso-argillosa grigia	Argilla limosa consistente grigia	Sabbia sciolta con argilla e limo grigia	Arenaria grossolana grigia	Arenaria grossolana grigia
γ (kN/m ³)	-	-	-	22.52	-	19.46	-	-	-
W (%)	1.8	-	3.4	7.5	5.0	7.5	10.1	-	-
LL (%)	-	-	-	30	-	31	-	-	-
LP (%)	-	-	-	20	-	18	-	-	-
indice di plasticità	-	-	-	19	-	13	-	-	-
indice di consistenza	-	-	-	1.7	-	1.9	-	-	-
K _v (in edometro) (cm/s)	-	-	-	9.50E-08	-	8.93E-08	-	-	-
K _v (in cella tx) (cm/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
qu (Kpa)	-	-	-	191.23	-	405.99	-	-	-
ϕ' (° sessadecimali)	-	-	-	26	-	35	-	-	-
Point Load Is ₅₀ (MPa) Test assiale su carota	-	0.58	-	-	-	-	-	1.16 1.06	0.44 0.61
Point Load Is ₅₀ (MPa) Test diametrale	-	0.58	-	-	-	-	-	2.14 1.83 2.07	0.40
Indice di anisotropia I _A	-	1	-	-	-	-	-	1.81	1.31
Resistenza a compressione assiale (Mpa) ^^	-	13.92	-	-	-	-	-	26.64	12.60
Resistenza a compressione diametrale (Mpa) ^^	-	13.92	-	-	-	-	-	48.31	9.6

Is₅₀ = resistenza a punzonamento corretta riferita a provino standard

I_A = rapporto tra il valore medio massimo ed il valore medio minimo dell'indice di resistenza al punzonamento, determinati nelle due diverse orientazioni dei piani di discontinuità rispetto alla direzione d'applicazione del carico di rottura

^^ Ottenuta moltiplicando la resistenza a punzonamento media per un coefficiente pari a 24 secondo raccomandazioni ISRM

* campioni su cui è stata effettuata la prova granulometrica

Tabella 4.2 - Sintesi dei dati geotecnici ottenuti dai campioni di terreno e roccia prelevati

Alluvioni - litotipi incoerenti: la prova SPT ha verificato il rifiuto all'infissione già con il primo step (15 cm). Tale risultato indicherebbe un buon grado di addensamento, tuttavia non è da escludere che la presenza di grossi ciottoli possa, in realtà, aver ostacolato l'infissione. Il contenuto di acqua allo stato naturale varia da 1.8 a 5% e le densità sono significative. Le caratteristiche di resistenza a taglio appaiono discrete, con parametri di attrito relativamente elevati.

Substrato argilloso miocenico - litotipi coesivi: i parametri fisici (IP, W, LP, IC) decisamente elevati evidenziano la compattezza delle argille tendenti mediamente alla sovraconsolidazione. La resistenza di taglio **qu** (prove ELL su campioni rimaneggiati) mostra valori nel range 2-4 kg/cmq con **Cu** comprese fra 100 e 200 kPa. E' probabile che il primo campione risenta in particolar modo del disturbo dovuto al rimaneggiamento mentre il secondo indica un elevato grado di consolidazione **OCR**. Facendo riferimento alla relazione suggerita da Jamiolkowski, Lancellotta et ali. (1979) si ottengono valori di angolo di attrito Φ' compresi fra 26°-35°.

Substrato roccioso ofiolitico (gabbri): la prova Point Load è stata eseguita su un campione di roccia intatto prelevato in S1 a 11 metri di profondità, ha fornito un valore medio di resistenza a punzonamento corretta $I_{s50} = 0.58$ MPa da cui si ottiene un valore di resistenza a compressione assiale (normativa I.S.R.M. del 1975) di 13.92 MPa che colloca la roccia in una classe con resistenza molto bassa (classificazione di Deere, 1970).

Substrato roccioso arenaceo: sono state eseguite due prove Point Load, rispettivamente su un campione prelevato a 8.5 e uno 13 metri. Si sono ottenuti valori medi di: $I_{s50} = 1.11$ MPa e $I_{s50} = 0.53$ MPa con resistenze a compressione assiale rispettivamente di 26.64 e 12.6 MPa. La roccia si colloca in una classe con resistenza da bassa a molto bassa.

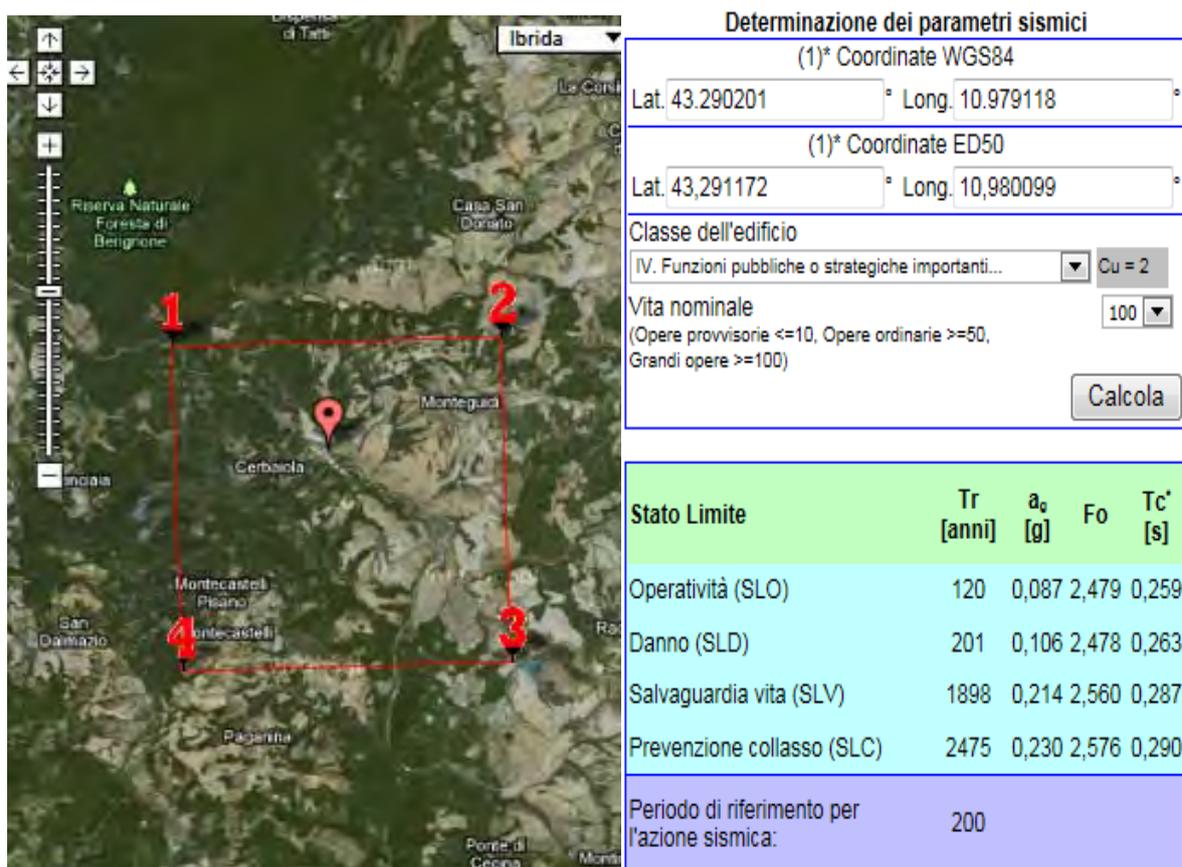
Le prove **SPT** eseguite nella parte più alterata e/o con intercalazioni argillitico-siltitiche indicano, seppur in maniera approssimativa e indiretta, come i parametri di resistenza al taglio siano discreti.

3.5.2 - Sismicità

L'area del Piano di Goro - Bocca Pavone ricade nei Comuni di Volterra, Pomarance, Castelnuovo di Val di Cecina (Provincia di Pisa) e nei Comuni di Radicondoli e Casole Val d'Elsa (Provincia di Siena). La classificazione sismica attuale della Regione Toscana, approvata con Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431, recepisce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519

del 28.04.2006. Secondo tale classificazione il territorio dei cinque comuni ricade in Zona 3 con un valore di accelerazione orizzontale massima da considerare pari a 0.15g.

Gli spettri di risposta sismica agli stati limite in base alla vigente normativa (D.M. LL.PP. 14/01/2008 - NTC 2008) sono di seguito determinati in funzione della possibile ubicazione del sito:



In sede di progetto definitivo, in funzione dell'effettiva soluzione progettuale scelta e quindi dell'ubicazione dell'opera di sbarramento, si dovrà procedere alla determinazione della categoria di suolo mediante la valutazione della V_{s30} secondo quanto previsto dalle NTC 2008.

3.5.3 - Parametri idrogeologici

I parametri idrogeologici ed in particolare la permeabilità delle varie formazioni affioranti nell'area di possibile imposta delle dighe, è stata valutata con prove dirette nei fori dei sondaggi durante le fasi di perforazione (metodo Lefranc) e/o con prove di permeabilità eseguite in laboratorio in cella edometrica su campioni indisturbati prelevati in fase di perforazione.

a) Prove in situ

Sono state eseguite 2 prove Lefranc a carico variabile nel sondaggio S4, la prima nei terreni alluvionali, la seconda nel substrato arenaceo. Le prove sono state condotte in avanzamento durante l'esecuzione dei sondaggi, lasciando scoperto il tratto da provare, sollevando dal fondo foro la batteria di perforazione previa ripulitura del materiale franato, e riempito con ghiaio e consentendo la dispersione attraverso le pareti e il fondo. La prova eseguita in ghiaie e sabbie alluvionali ha confermato l'elevata permeabilità del deposito. Per contro la prova eseguita negli strati **arenacei** ha fornito un valore di permeabilità decisamente basso, $K = 7.8 * 10^{-7} \text{ m/s}$, che comunque deve considerarsi leggermente sovrastimato per l'inevitabile disturbo apportato al terreno in situ durante l'approntamento del foro di prova. E' tuttavia da considerare che localmente, la fratturazione, la presenza di livelli limoso sabbiosi intercalati, possono aumentare la permeabilità.

b) Prove in laboratorio

Sono state eseguite sui campioni prelevati dalle **argille** mioceniche (S2 a -5 metri ed S3 a -6.4 metri, Tabella 4.2). I valori sono comparabili a indicare una permeabilità media per il litotipo estremamente bassa ($K = 9.2 * 10^{-10} \text{ m/s}$).

Lo strato alluvionale superficiale è sede di acquifero ricaricato direttamente dal subalveo del F. Cecina. Non sono noti a livello locale i parametri idrodinamici dell'acquifero, tuttavia le litologie (ghiaie in matrice sabbiosa debolmente limosa) simili e comparabili dal punto di vista granulometrico alle alluvioni recenti affioranti poco più a valle (sito di Puretta), si può attribuire in via indicativa la stessa permeabilità rilevata con le indagini eseguite in tale area risultata nell'ordine di 10^{-3} m/s . I livelli di falda misurati nei piezometri installati nei fori dei sondaggi sono riportati nella seguente Tabella 4.3.

Sondaggio (n°)	Profondità (m)		Quota del piano campagna (m, slm)	Livello falda (Settembre 08)	
	Foro	Piezometro		m, da pc	m, slm
S1	20	7	154,2	2,8	151,4
S2	25	4	165,0	2,3	162,7
S3	20	4	170,3	n.r.	n.r.
S4	20	9	155,0	0,6	154,4

Tabella 4.3 - Acquifero alluvionale superficiale. Livelli di falda misurati in Settembre 08

4 – AREA A. IPOTESI DI SBARRAMENTO 1, 2, 3

Nella Fig. 4.1 è riportata una delle possibili ipotesi per un invaso di 6 milioni di mc con sbarramento presso una delle tre sezioni Sism 1, Sism 2, Sism 3 riportate sulle carte tematiche di Fig. 4.2.

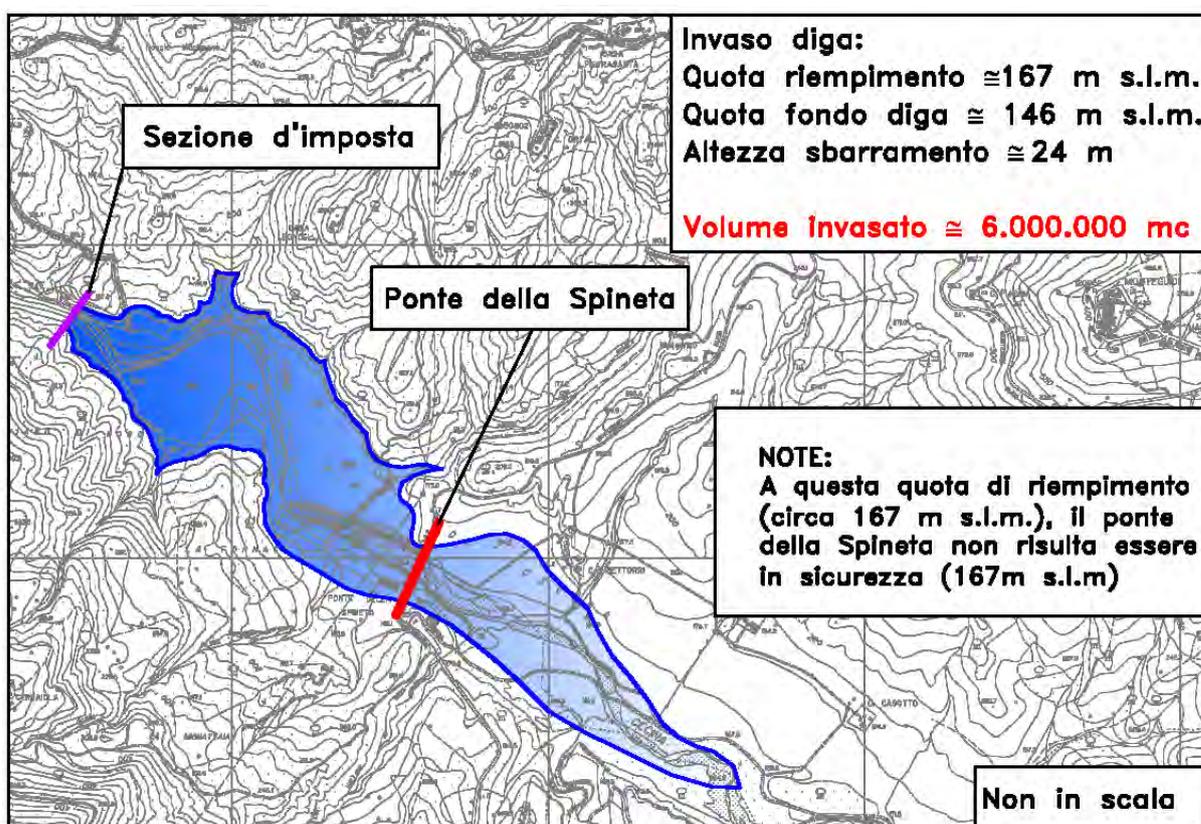


Fig. 4.1 - Ipotesi di sbarramento 1, 2 e 3. Invaso con volumetria di 6 Milioni di mc

4.1 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico di riferimento

QUADRO GEOLOGICO-STRUTTURALE

(carta geologica di Fig. 4.2A e sezioni geologiche di Figg. 4.3, 4.4 e 4.5)

Gli elementi più significativi presso le sezioni di imposta e l'area di invaso sono i seguenti:

1) Sezione di imposta

- la presenza di un sistema di faglie con direzione prevalente NO-SE che interessa gli affioramenti ofiolitici e arenacei della Formazione di Lanciaia, compresa la discontinuità principale che ha originato la struttura a gradinata con porzione orientale ribassata e colmata da sedimenti miocenici (sezioni geologiche 1, 2 e 3 - Figg. 4.3, 4.4, 4.5), e di sistemi di lineazione che interessano le argille mioceniche. Sia in destra che in sinistra idrografica le tre sezioni Sism. 1, Sism. 2 e Sism. 3 sono attraversate in uno o più punti differenti da tali strutture; la sezione Sism. 3 è intersecata dalla discontinuità principale;
- la caolinizzazione e l'alterazione che interessano localmente le ofioliti in affioramento in sinistra Cecina all'altezza delle tre sezioni sismiche Sism. 1, Sism. 2 e Sism. 3 (Figg. 4.3 e 4.4). Il quadro visibile è confermato anche dallo stato dei gabbri attraversati dal sondaggio S1, fortemente caolinizzati fino a 20 metri di profondità;
- l'assetto caotico e l'alterazione spinta che interessano localmente anche le arenarie dell'unità Lanciaia affioranti in destra Cecina presso la Sism 1.

2) area di invaso

Il quadro del bacino fino al Ponte della Spineta è caratterizzato in prevalenza dalla presenza di estesi affioramenti argillosi del miocene (FOS) con intercalazioni arenaceo conglomeratiche in destra Cecina aventi, mediamente, giacitura a traverpoggio/reggipoggio, inclinazione di 30-35 gradi. In prossimità della sezione Sism 3, in destra idrografica, affiorano ancora ofioliti tettonizzate. I principali sistemi di faglie e lineazioni interessano gli affioramenti mediamente a quote più elevate rispetto alla superficie di massimo invaso ad eccezione del settore Nord e degli affioramenti ofiolitici tettonizzati mascherati dalla alluvioni. Per quanto riguarda l'area a monte del Ponte della Spineta, il quadro geologico e anche geomorfologico ed idrogeologico saranno valutati nell'ipotesi di sbarramento Sism. 4 area B.

QUADRO GEOMORFOLOGICO

(Carta geomorfologica di Fig. 4.2B)

1) Sezione di imposta

Aree in erosione con ruscellamento diffuso e frane quiescenti parzialmente riattivate si osservano su entrambi i fianchi presso le sezioni Sism 1 e Sism 2. Nessuna attività geomorfica è segnalata presso la sezione Sism. 3.

2) area di invaso

Le forme geomorfologiche cartografate fra la sezione Sism. 3 e il ponte della Spineta in sinistra Cecina sono ridotte ad alcune scarpate morfologiche attive sui depositi alluvionali e, sui versanti, ad un paio di frane quiescenti che ricadenti a ridosso della zona di fluttuazione del lago potrebbero subire riattivazioni. Non si evidenziano forme geomorfologiche di rilievo in destra idrografica. Va comunque segnalata sui versanti la presenza di vaste aree detritiche che, laddove è scarsa o assente la copertura vegetale e in seguito a precipitazioni intense, potrebbero contribuire ad un incremento del trasporto solido verso il lago, oltre a rappresentare zone di possibile innesco di frane.

QUADRO IDROGEOLOGICO

(carta della permeabilità delle formazioni di Fig. 4.2C)

1) Sezione di imposta

Il quadro delle permeabilità, media per fratturazione (Sism 1, 2 sponde destra e sinistra e Sism. 3 in sola sponda sinistra) potrebbe subire localmente delle variazioni laddove la tettonizzazione più spinta favorisce maggiore infiltrazione fino a profondità da accertare con indagini specifiche.

2) area di invaso

Anche per i livelli arenaceo-conglomeratici aventi permeabilità medio bassa per fratturazione confermata da prove in situ ($K = 7.8 * 10^{-7}$ m/s), valgono le considerazioni esposte al punto precedente. Nei settori Nord ed Est, le intercalazioni più permeabili possono essere interessate dalla fascia di variazione di livello del lago ipotizzato. La stessa fratturazione, giacitura e inclinazione stratigrafica potrebbero innescare localmente infiltrazioni e perdite d'acqua dal bacino. Le argille sono caratterizzate da bassa permeabilità o impermeabilità ($K = 9.2 * 10^{-10}$ m/s).

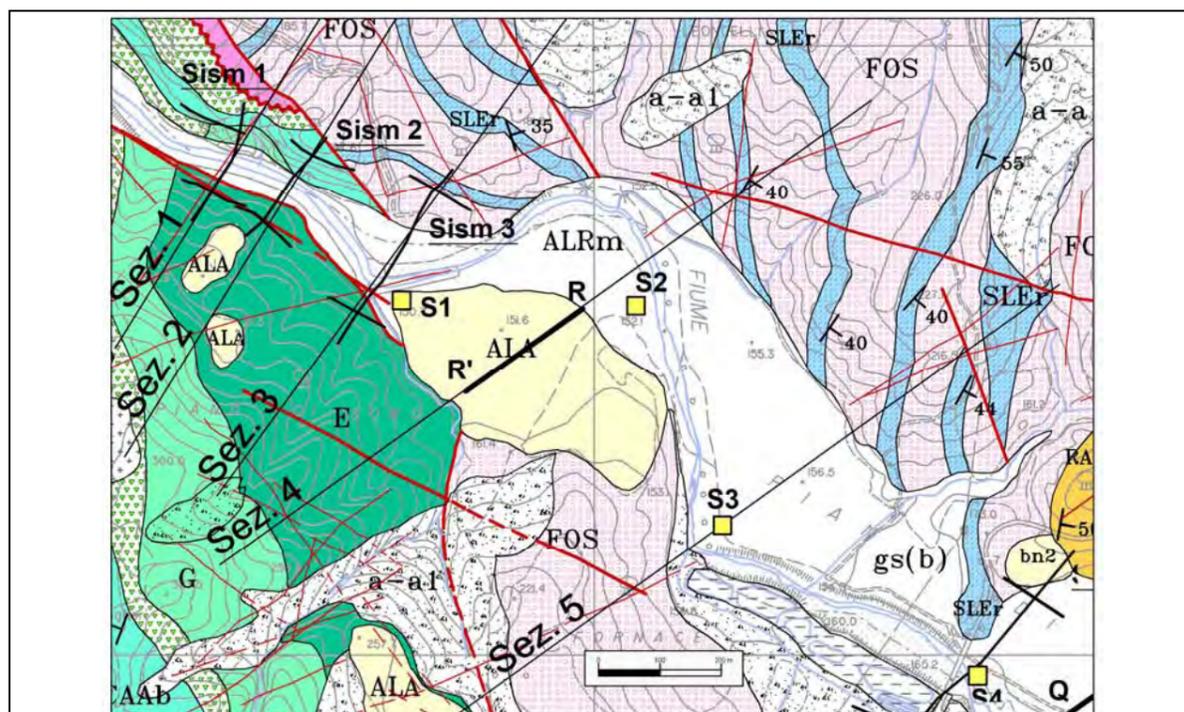


Fig. 4.2A - Ipotesi di sbarramento 1, 2 e 3. Geologia di dettaglio (per la legenda si veda la Fig. 3.1)

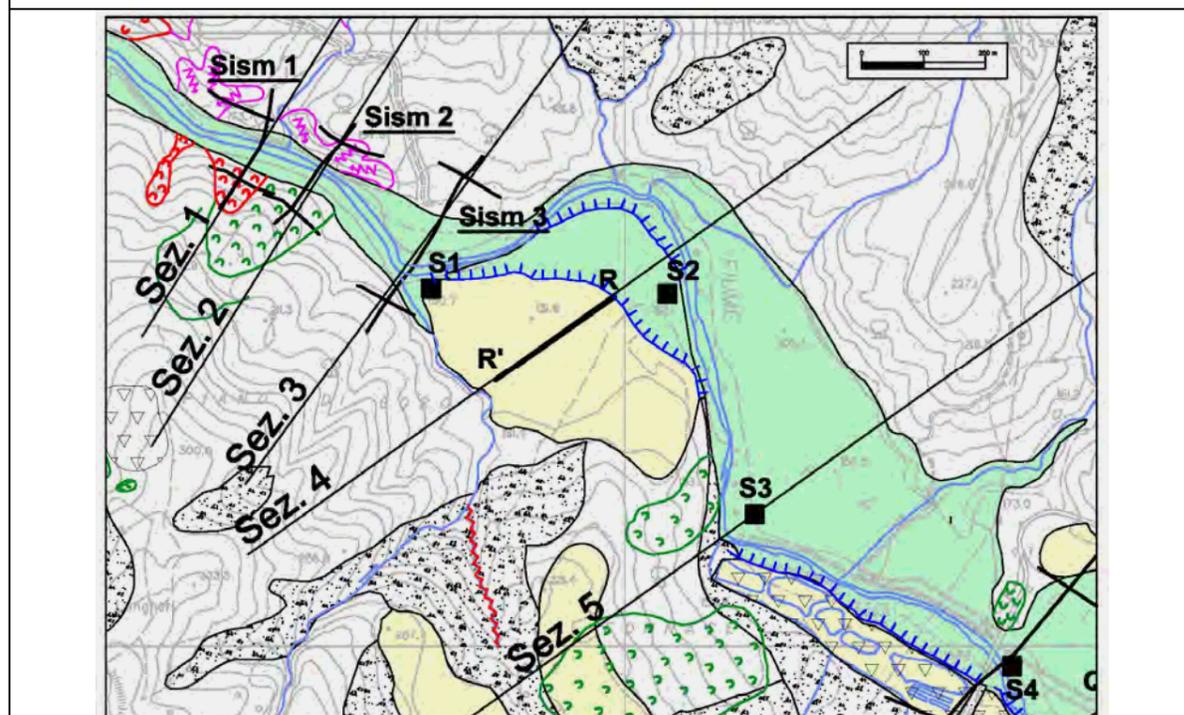


Fig. 4.2B - Ipotesi di sbarramento 1, 2 e 3. Geomorfologia di dettaglio (per la legenda si veda la Fig. 3.3)

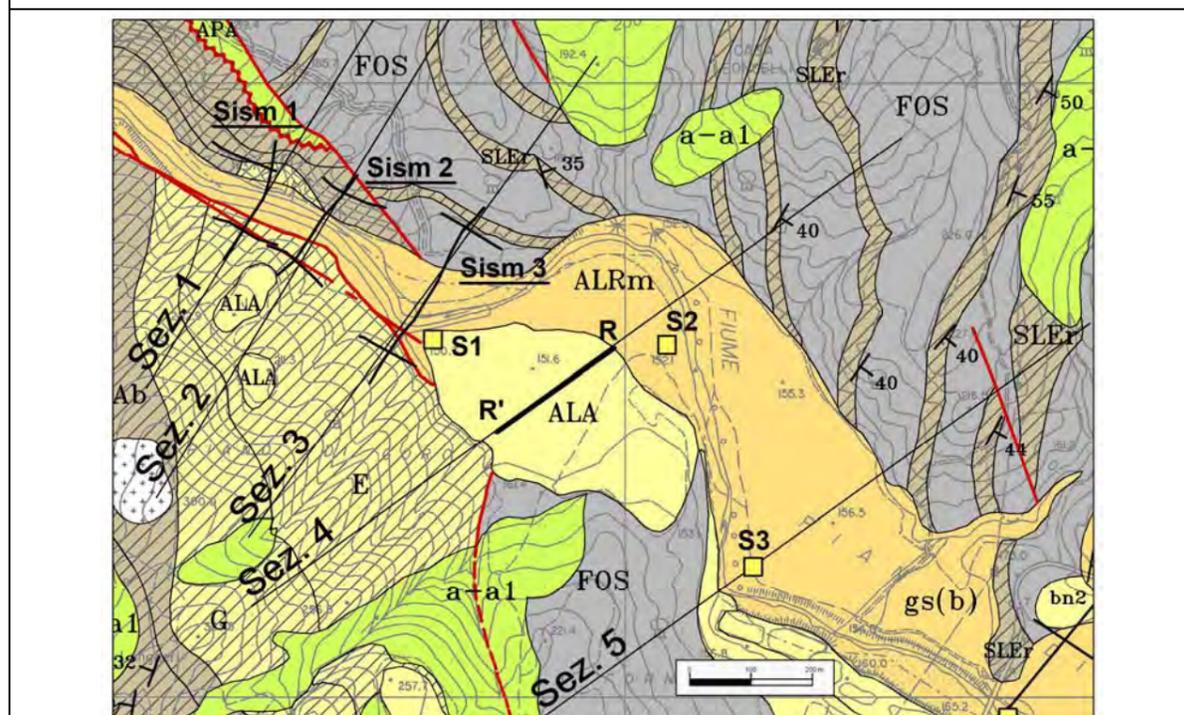


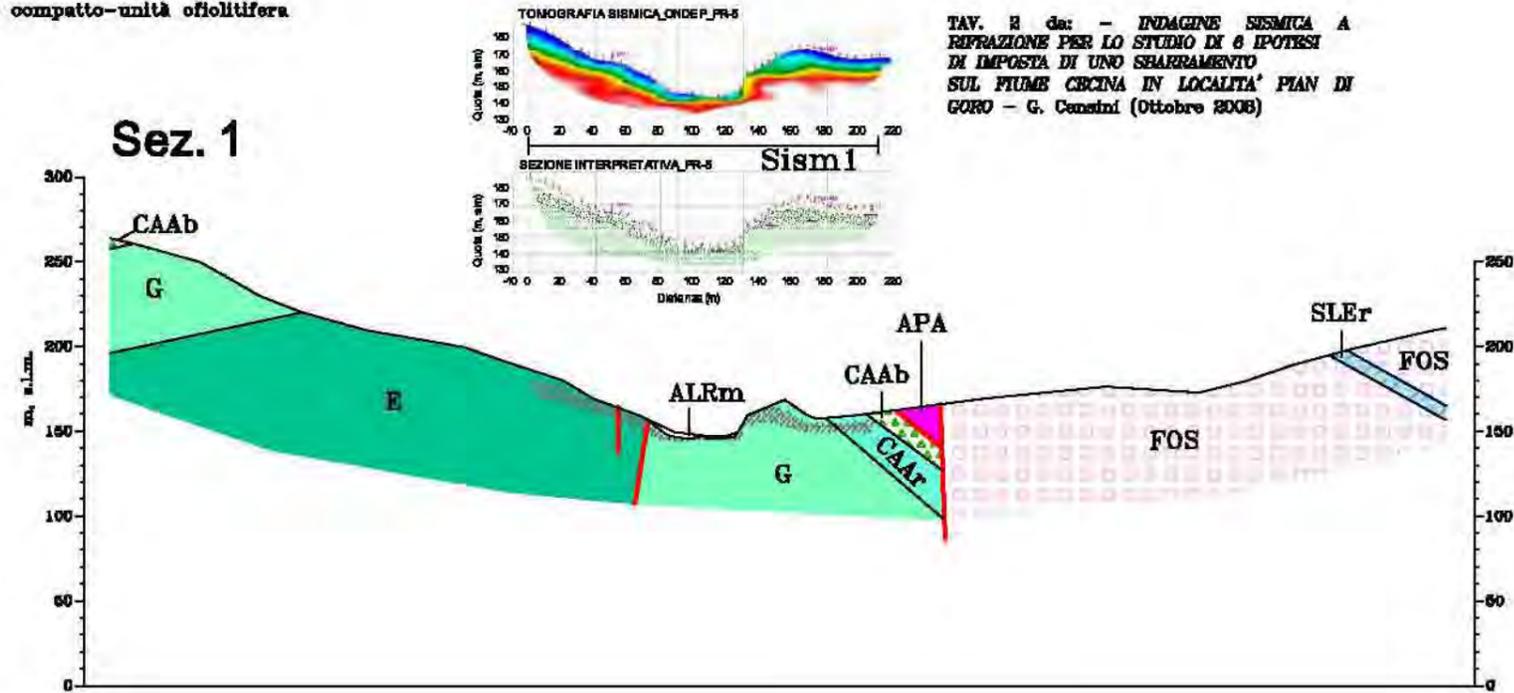
Fig. 4.2C - Ipotesi di sbarramento 1, 2 e 3. Idrogeologia di dettaglio (per la legenda si veda la Fig. 3.4)

LEGENDA DELL'INTERPRETAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DELLE TOMOGRAFIE SISMICHE

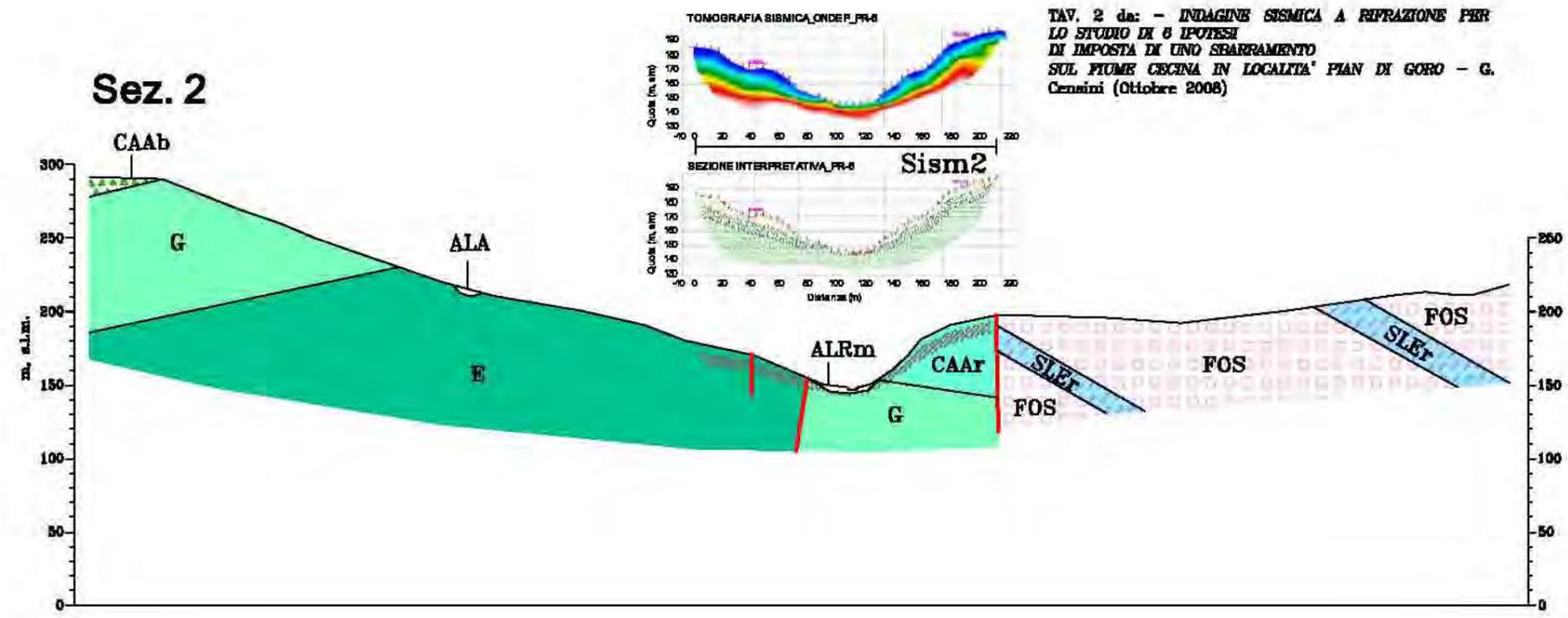
- A:** Suolo e detrito di versante
- B:** Depositi alluvionali ($V_p < 800-1000 \text{ m/s}$)
- C:** Alterazione del substrato sismico ($1000 < V_p < 2000 \text{ m/s}$)
- D:** Substrato sismico compatto-succezioni neogeniche: **C:** Argilliti, **D:** Arenarie ($V_p > 2000 \text{ m/s}$)
- E:** Substrato sismico compatto-unità ofiolitica ($V_p > 2000 \text{ m/s}$)

LEGENDA DELLE SEZIONI GEOLOGICHE

- Depositi Quaternari**
 - ALRm Depositi alluvionali attuali a granulometria mista
 - bn1 Depositi olocenici terrazzati
 - ALA Depositi terrazzati
 - bn2 Depositi di versante
 - Succezioni Neogeniche del versante Imeroso dell'Appennino Settentrionale**
 - RAQ Formazioni del Torrente Raquese. Argille, argille sabbiose con intercalazione di gessi (RAQg) e litofacies argilloso-arenacee (RAQa) (Messiniano inferiore)
 - RAQg
 - RAQa
 - FOS Formazioni del Torrente Fosci. Argille (Messiniano inferiore)
 - SLEr Formazioni del Torrente Sellato. Arenarie della Capravecchia (Messiniano inferiore)
 - Unità del Dominio Liguro Emiliano**
 - CAAr Formazioni di Lanciaia. Arenarie (Eocene inferiore)
 - CAAb Formazioni di Lanciaia. Breccie (Eocene inferiore)
 - Unità delle Argille a Palombini**
 - APA Argille a Palombini (Cretaceo inferiore)
 - T Basalti (Giurassico Medio-Superiore)
 - G Gabbri e breccie di gabbro (Giurassico Medio-Superiore)
 - K Serpentiniti (Giurassico Medio-Superiore)
- Faglie, contatti tettonici
- S1 Sondaggi geognostici (Settembre 2008)

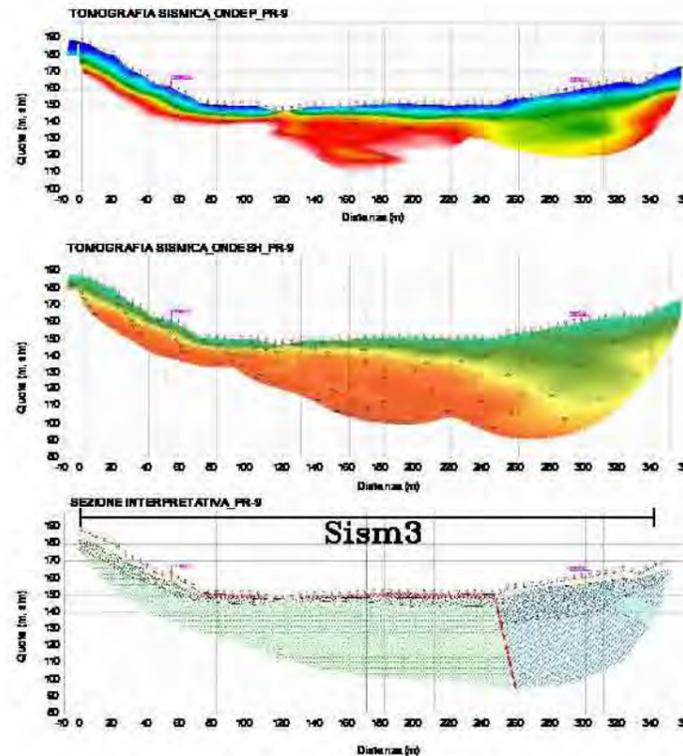


TAV. 2 da: - INDAGINE SISMICA A RIPRAZIONE PER LO STUDIO DI 6 IPOTESI DI IMPOSTA DI UNO SBARRAMENTO SUL FIUME CECINA IN LOCALITA' PIAN DI GORO - G. Censini (Ottobre 2008)



TAV. 2 da: - INDAGINE SISMICA A RIPRAZIONE PER LO STUDIO DI 6 IPOTESI DI IMPOSTA DI UNO SBARRAMENTO SUL FIUME CECINA IN LOCALITA' PIAN DI GORO - G. Censini (Ottobre 2008)

Fig. 4.3 - Pian di Goro
Sezioni geologiche 1 e 2
Scala 1: 4.000



TAV. 3 da: - INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE PER LO STUDIO DI 8 IPOTESI DI IMPOSTA DI UNO SBARRAMENTO SUL FIUME CECINA IN LOCALITA' PIAN DI GORO - G. Censini (Ottobre 2008)

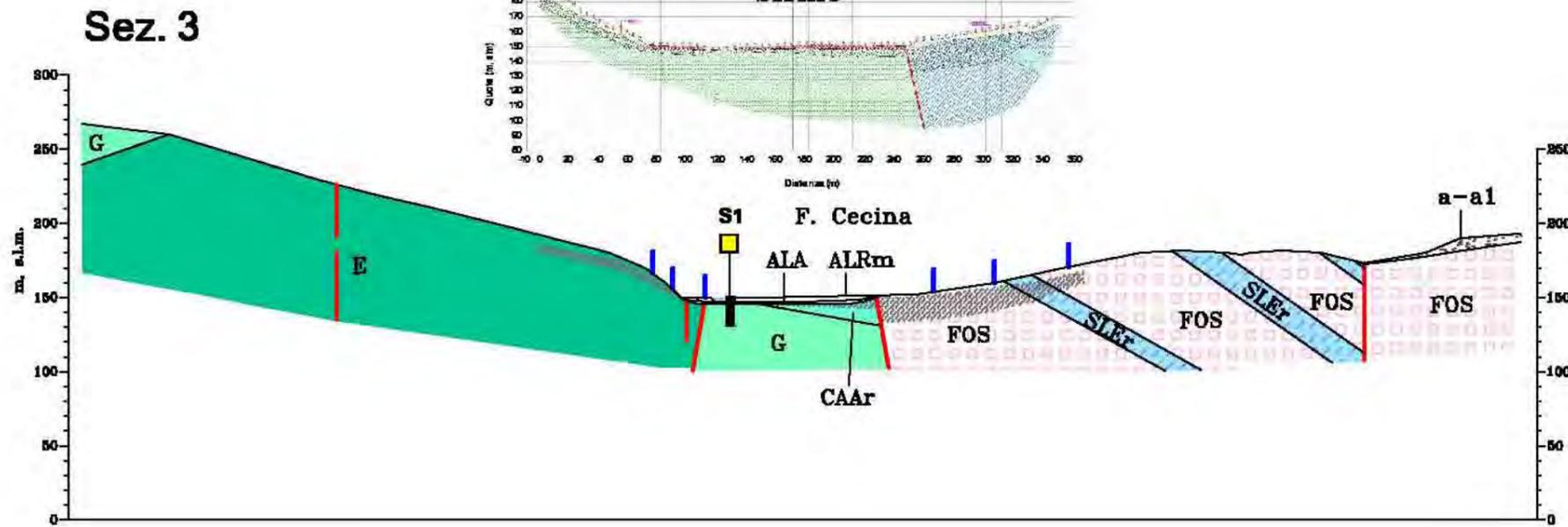


Fig. 4.4 - Pian di Goro
Sezione geologica 3
Scala 1: 4.000



TAV. 2 da - INDAGINI GEOFISICHE
IN LOC. PIAN DI GORO - POMARANCE
(PI). EUROGED S.N.C. (Novembre
2007)

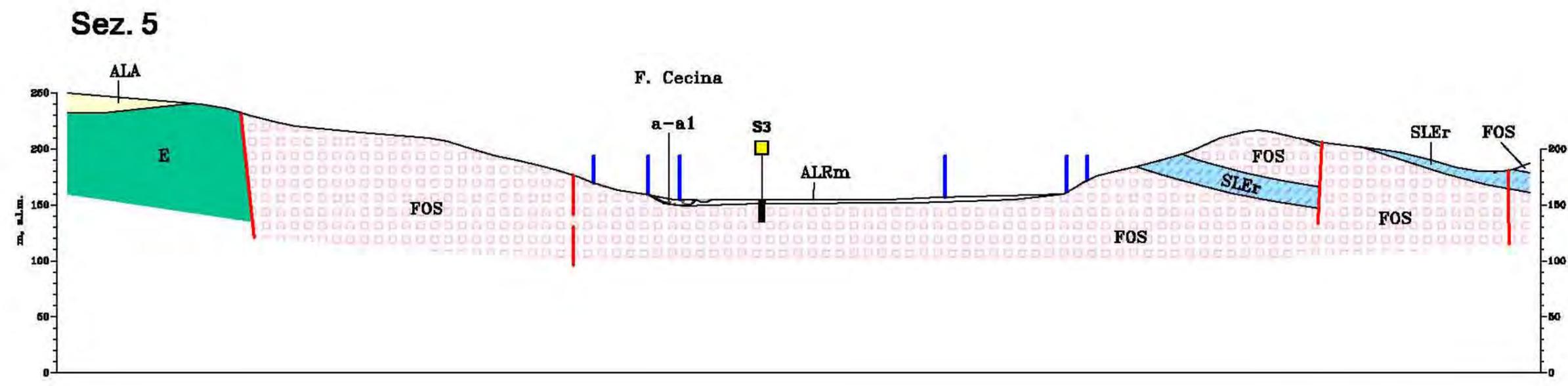
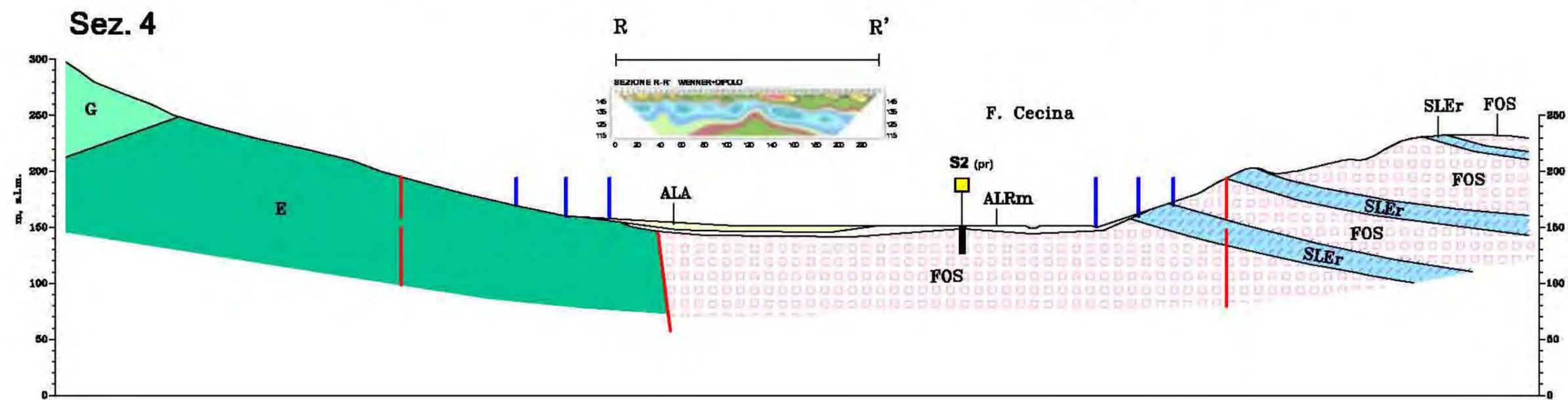


Fig. 4.5 - Pian di Goro
Sezioni geologiche 4 e 5
Scala 1: 4.000

4.2 – Geofisica

4.2.1 – Tomografia elettrica

E' stato eseguito un profilo geoelettrico (R'-R in Fig. 4.6), ubicato a circa 250 metri a monte dell'ipotesi di imposta Sism 3. Esso fornisce le seguenti informazioni di resistività lungo l'asse longitudinale dell'invaso fino a circa 25-30 metri di profondità:

- nella porzione più superficiale (variabile da 5 a 10 metri di profondità) i valori di resistività, compresi fra 22 e 46 Ohm*m e con massimi localizzati compresi fra 75 e 150 Ohm*m, sono ascrivibili a depositi alluvionali limoso sabbiosi in presenza di falda con intercalazioni di livelli grossolani sabbioso ghiaiosi;
- al di sotto del materasso alluvionale i livelli di resistività diminuiscono (6-13 ohm*m) e possono essere associati a terreni argillosi del substrato miocenico (FOS) con probabili intercalazioni arenacee (SLER). che giustificherebbero un incremento delle resistività dalla profondità di 20 metri.

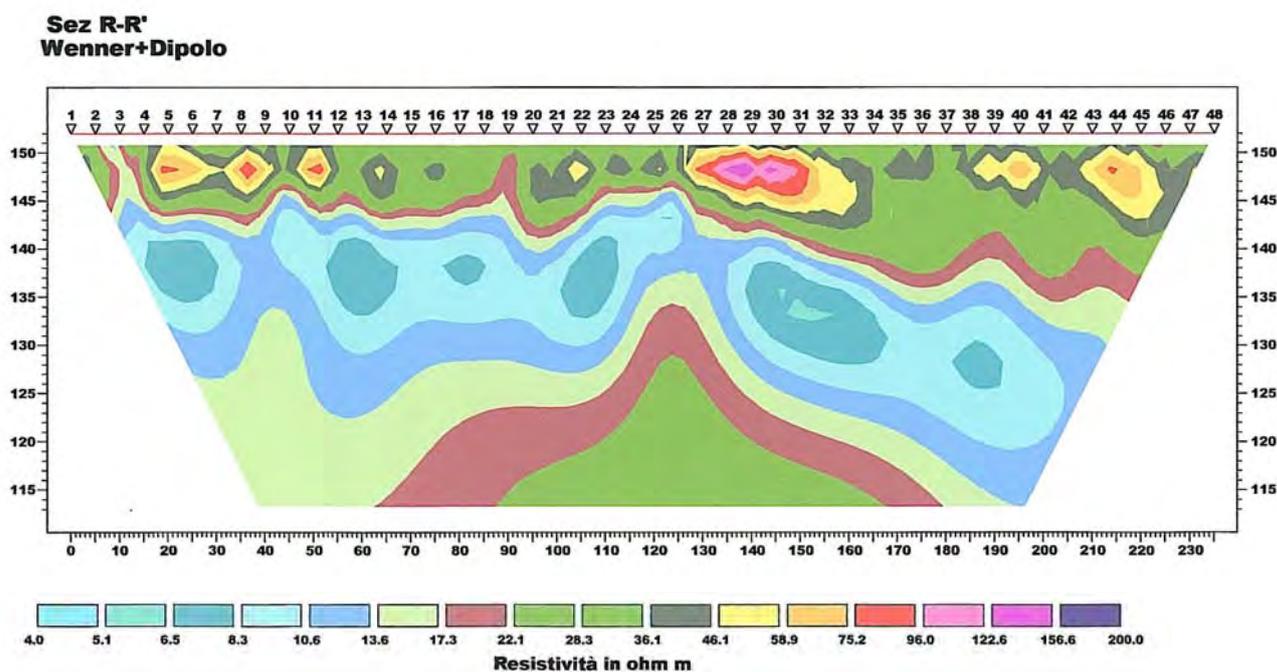


Fig. 4.6 – Profilo tomografico elettrico R'-R

4.2.2 – Tomografia sismica

- IPOTESI SBARRAMENTO 1

L'area è controllata da tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina (PR-5), due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra (PR-7) e in sponda di destra idrografica (PR-12) utilizzando le sole onde sismiche P. I punti salienti sono i seguenti:

- velocità elevate delle onde P fino a 4.000 m/sec. Dal punto di vista litologico, tali velocità possono essere associate alle litologie appartenenti all'Unità ofiolitifera e di Lanciaia, costituite da serpentiniti, brecce sedimentarie e arenarie calcarifere;
- aumento regolare delle velocità sismiche con la profondità. Ciò lascia ipotizzare la presenza di un substrato litoide compatto che affiora in corrispondenza dell'alveo e della scarpata presente in sponda destra sottostante uno strato litoide alterato che può raggiungere i 5 metri di spessore;
- gli spessori massimi dei terreni superficiali poco consolidati sono in corrispondenza dei punti topograficamente più elevati delle due spalle;
- si registrano velocità relativamente elevate in sponda destra lungo il versante nel tratto più acclive, mentre in sinistra nei tratti in pendenza lo spessore dei terreni consolidati appare significativo (superiore a 10 m).

- IPOTESI SBARRAMENTO 2

L'area è controllata da tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina (PR-6), due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra (PR-8) e in sponda di destra idrografica (PR-11). I punti salienti sono i seguenti:

- si riscontra la presenza di terreni caratterizzati da alte velocità sismiche, che in profondità hanno raggiungono 4.000 m/sec, attribuibili a litologie riconducibili alle formazioni appartenenti all'unità ofiolitifera e di Lanciaia. I valori crescenti delle velocità con la profondità lasciano ipotizzare la presenza di un substrato litoide compatto sottostante uno strato alterato di spessore medio intorno a 4-5 metri, che affiora lungo l'alveo;
- si evidenzia la presenza di terreni superficiali a velocità molto minore costituiti da suolo e roccia alterata, con spessori massimi nelle zone topograficamente più elevate in corrispondenza della zona delle possibili spalle dello sbarramento e nelle aree più acclivi

dove peraltro sembrano riscontrarsi maggiori condizioni di equilibrio precario; ciò è particolarmente evidente nella sponda destra;

- I due profili sismici longitudinali (PR-8 e PR-11) confermano a loro volta la presenza di spessori generalmente costanti dei depositi superficiali poco consolidati rivelando una potenziale instabilità diffusa.

- IPOTESI DI SBARRAMENTO 3

L'area è controllata da tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina (PR-9), due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra (PR-10) e in sponda di destra idrografica (PR-4). I punti salienti sono i seguenti:

- si evidenzia la presenza di due contesti sismici distinti:
 1. In sponda sinistra, il PR-10 e la porzione compresa tra i geofoni 1-52 del profilo trasversale PR-9 si raggiungono le massime velocità sismiche, con valori fino a quasi 4.000 m/sec (onde P);
 2. Al contrario, il profilo eseguito in sponda destra (PR-4) e l'ultima porzione del PR-9 (geofoni 53-72) sono caratterizzati da velocità sismiche inferiori con valori compresi tra 2.000-3.000 m/sec (onde P).
- le tomografie ottenute per le onde SH confermano la presenza di due contesti sismici distinti, sia il PR-10 che la prima parte del PR-9 sono caratterizzati in profondità da velocità sismiche delle onde SH sempre superiori a 1.500 m/sec. Come nel caso delle onde P, il PR-4 e l'ultima porzione del profilo PR-9 sono caratterizzati da valori massimi generalmente inferiori a 800-1000 m/sec.

Dal punto di vista geologico, tale distinzione può essere ricondotta alla presenza di due contesti litologici differenti:

- le zone con velocità sismiche maggiori possono essere associate ai depositi litoidi appartenenti all'Unità Ofiolitifera e di Lanciaia, costituite da serpentiniti, brecce sedimentarie e arenarie calcarifere,
- quelle caratterizzate da velocità sismiche più basse possono essere invece associate ai depositi argillosi neogenici, con contatto da attribuire alla presenza di una discontinuità di

natura tettonica coperta dai depositi alluvionali e riportata in carta geologica e nella sezione di Fig. 4.3;

- le zone superficiali caratterizzate da bassi valori delle velocità sismiche sono attribuibili a suolo e roccia alterata, i loro spessori sono massimi in corrispondenza della spalla sinistra tra i geofoni 1-10 del PR-9, mentre nella spalla destra le minor velocità sono da imputare non tanto alla presenza di una minore consistenza, quanto alla diversa natura dei depositi presenti (argille neogeniche), ciò sembra essere confermato anche dalle tomografie ottenute dai profili longitudinali PR-10 e PR-4.

4.3 – Commento e valutazione

Tenuto conto del quadro conoscitivo ricostruito e delle criticità evidenziate, la scelta definitiva dello sbarramento tra i tre studiati (Sism. 1, Sism. 2 e Sism. 3) così come la configurazione finale del bacino di invaso, è necessariamente vincolata ad indagini geognostiche e a studi di dettaglio integrativi, mirate ad un affinamento del quadro conoscitivo locale, special modo della zona delle spalle e della soglia di appoggio/incastro dello sbarramento. In particolare le criticità significative e i possibili approfondimenti di indagini sono così sintetizzabili:

- presenza di sistemi di faglie. Le indagini dovranno essere mirate ad approfondire il quadro geostrutturale;
- terreni poco consolidati o sciolti sui versanti (copertura e roccia alterata con spessori compresi fra 5 e 10 metri) In dettaglio:

Ipotesi Sism. 1, sponda sinistra (> 5m);

Ipotesi Sism. 2, entrambe le sponde (da 5 a 10 metri);

Ipotesi Sism. 3 sponda destra e sinistra (>5m).

Presenza sotto alla copertura alluvionale di strati rocciosi alterata fino a 5 metri di spessore).

Le indagini saranno mirate a valutare gli interventi più appropriati sugli strati allentati ai fini del loro consolidamento e alla eventuale impermeabilizzazione delle sponde e del fondo (substrato sottostante la coltre alluvionale).

- presenza di dissesti localizzati attivi e quiescenti ed aree di erosione superficiale sulle sezioni Sism. 1 e Sism. 2. I fenomeni pur apparentemente superficiali devono essere oggetto di studio specifico per valutarne la parziale asportazione se a ridosso della sezione

di imposta o la completa bonifica. Per l'area di invaso caratterizzata dalla presenza di alcuni dissesti quiescenti, potenzialmente riattivabili, si dovrà provvedere a studi specifici.

- presenza di fratturazione spinta sulle rocce ofiolitiche e sulle intercalazioni arenaceo conglomeratiche nelle argille mioceniche che, unitamente al fattore giacitura, possono determinare potenzialmente perdite dall'invaso a scala locale;

Indagini e prove sperimentali dirette in quei settori a maggior criticità per accertare con maggior dettaglio il grado di permeabilità delle formazioni indagate.

- presenza di comparti rocciosi ofiolitici e arenacei con caratteristiche geotecniche scadenti come rivelato dalle indagini in situ.

Necessità di nuove indagini dirette e studi su gli ammassi rocciosi presso le sezioni di imposta.

5 – AREA B. IPOTESI DI SBARRAMENTO 4

L'ubicazione dello sbarramento coincide con quella analizzata per uno sghiaiatore di altezza inferiore a 10 metri ed il cui dettaglio è riportato nel capitolo 7 cui si rimanda.

6 – AREA C. IPOTESI DI SBARRAMENTO 5 e 6

La realizzazione di un invaso a valle della confluenza del Torrente Pavone nel F. Cecina prevede più soluzioni con differenti altezze di sbarramento. Di seguito si riportano le soluzioni di massimo e minimo invaso e cioè:

- Fig. 6.1A: sbarramento di 26 metri di altezza, superficie di massimo invaso alla quota 164 metri, s.l.m e volumetria di circa 6 milioni di mc d'acqua;
- Fig. 6.1 B: sbarramento di 41 metri di altezza, superficie di massimo invaso alla quota di 175 metri, s.l.m volumetria di poco superiore ai 30 milioni di mc.



Fig.6.1A - Ipotesi di sbarramento 5 e 6. Invaso con volumetria di 6 Milioni di mc

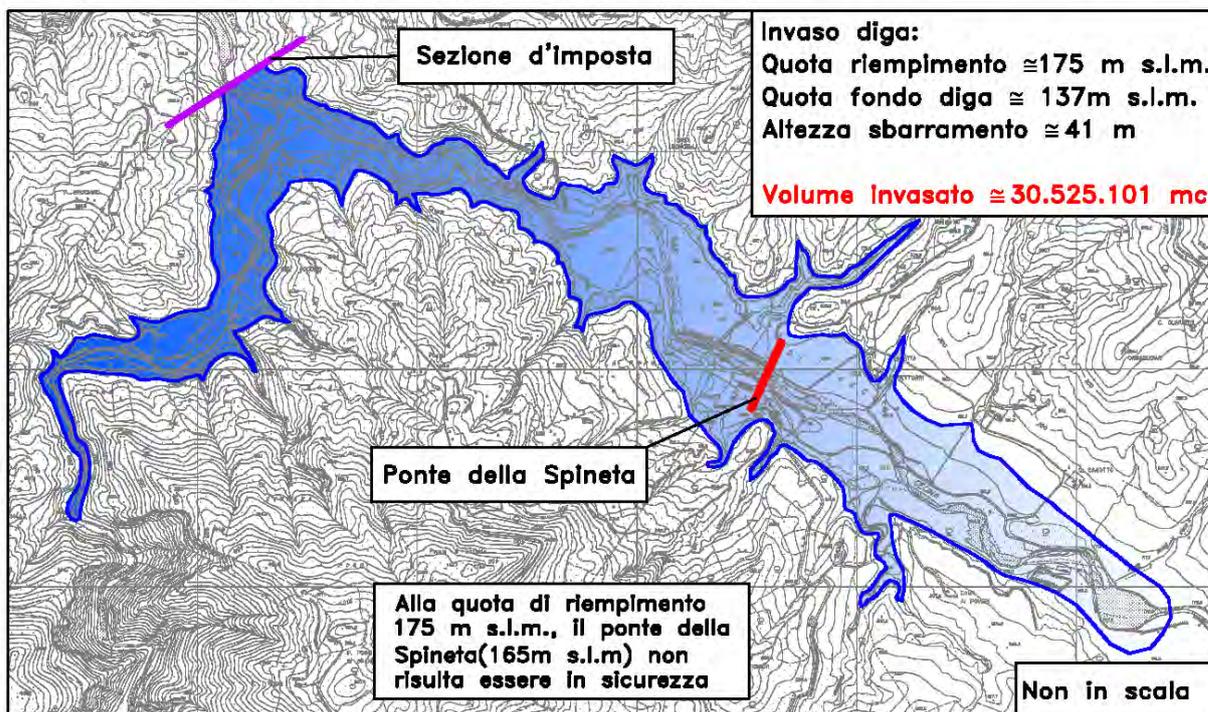


Fig.6.1B - Ipotesi di sbarramento 5 e 6. Invaso con volumetria di circa 30.5 Milioni di mc

6.1 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico

Il quadro geologico strutturale di dettaglio (Fig. 6.2A e sezioni geologiche di Fig. 6.3) è così caratterizzato:

- 1) presso le ipotesi di imposta: dalla presenza di formazioni a diverse caratteristiche geologiche e geomeccaniche: le Argille a Palombini in sponda destra, basalti e breccie ofiolitiche della Formazione di Lanciaia sovrascorse sulle Liguridi sottostanti. Sistemi di faglie e lineazioni a direzione appenninica e antiappenninica interessano le formazioni dell'Unità di Lanciaia a conferma del loro assetto caotico e brecciato;
- 2) sui versanti dell'area di invaso fino alla massima quota di invaso: sono estesi gli affioramenti di breccie e arenarie, dell'Unità di Lanciaia, con le stesse caratteristiche geomeccaniche osservate presso la sezione di imposta, sia lungo il corso del T.Pavone, sia lungo il Cecina fino alle ipotesi 1, 2 e 3. Le giaciture degli strati arenacei, controllate lungo il Pavone, sono a leggero franapoggio, in destra, e a reggipoggio in sinistra. Affioramenti di gabbri sono cartografati nella parte terminale dell'invaso lungo il Pavone e in placche isolate lungo il Cecina;

3) fondovalle: alluvioni recenti di subalveo dei due corsi d'acqua principali e alluvioni terrazzate di cui è noto lo spessore solo in corrispondenza delle tomografie sismiche (max 5 metri).

Il dettaglio geomorfologico (Fig. 6.2B) evidenzia:

1) ipotesi di imposta: una certa criticità in sponda destra dove affiorano Argille a Palombini per frane attive di colamento, orli di terrazzo interessati da erosione fluviale, aree localizzate in erosione superficiale. In sinistra Cecina la situazione è senza dubbio migliore, con un solo dissesto innescato per erosione fluviale e varie scarpate morfologiche tuttavia prive di indizi di criticità.

2) versanti dell'area di invaso fino alla massima quota di 170 m, s.l.m.: lungo il corso del Torrente Pavone fino allo sbarramento si osservano vaste aree con frane quiescenti con dinamica di scivolamento della copertura o crollo riattivate in più punti. Tali dissesti sono diffusi anche lungo la rete idrografica minore, tributaria del T. Pavone, innescati dall'azione erosiva delle acque di scorrimento superficiale.

Lungo il corso del F. Cecina si rilevano, sia in destra che sinistra orografica, piccoli smottamenti superficiali, aree denudate interessate da erosione superficiale.

Il dettaglio della carta idrogeologica di Fig. 6.2C evidenzia la differente permeabilità delle formazioni affioranti in corrispondenza delle ipotesi di sbarramento proposte e sui versanti dei bacini. In genere la permeabilità è bassa alle argille a Palombini affioranti in sponda destra, medio bassa per fratturazione nelle brecce della formazione di Lanciaia parzialmente coperte da alluvioni terrazzate a media permeabilità, in sponda sinistra. Sia lungo il corso del T. Pavone, sia lungo il corso del F. Cecina le permeabilità delle formazioni sui versanti sono prevalentemente medio basse per fratturazione; localmente la permeabilità si presenta maggiore (media) in presenza dei gabbri e di alluvioni terrazzate. I depositi alluvionali attuali (spessore di circa 3 metri) hanno permeabilità elevata.

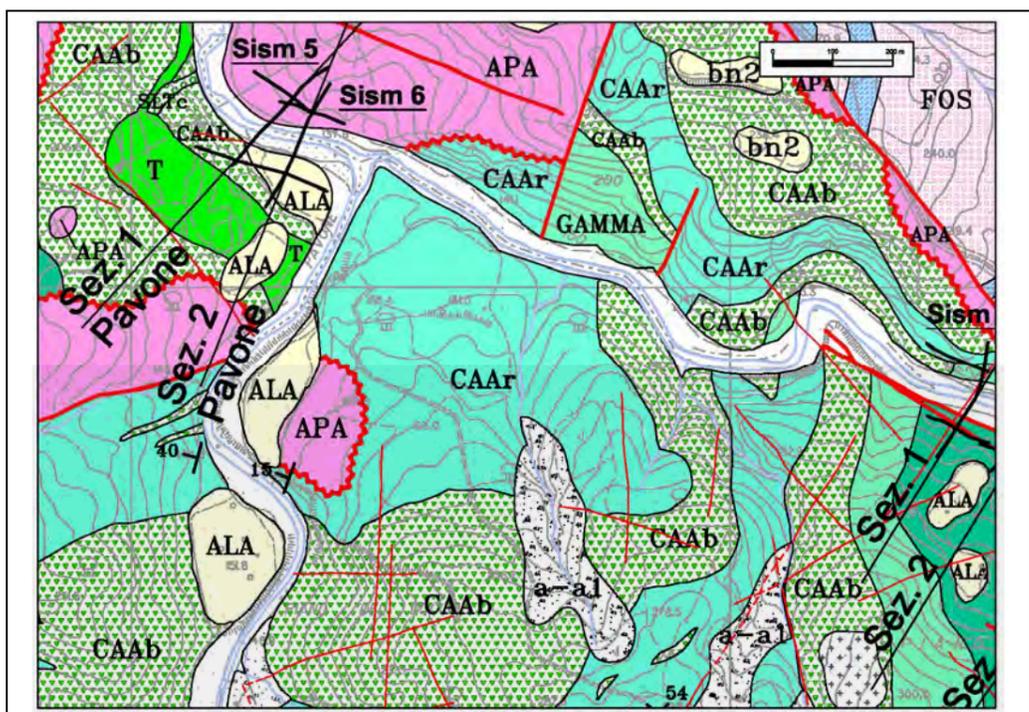


Fig. 6.2A - Ipotesi di sbarramento 5 e 6. Geologia di dettaglio

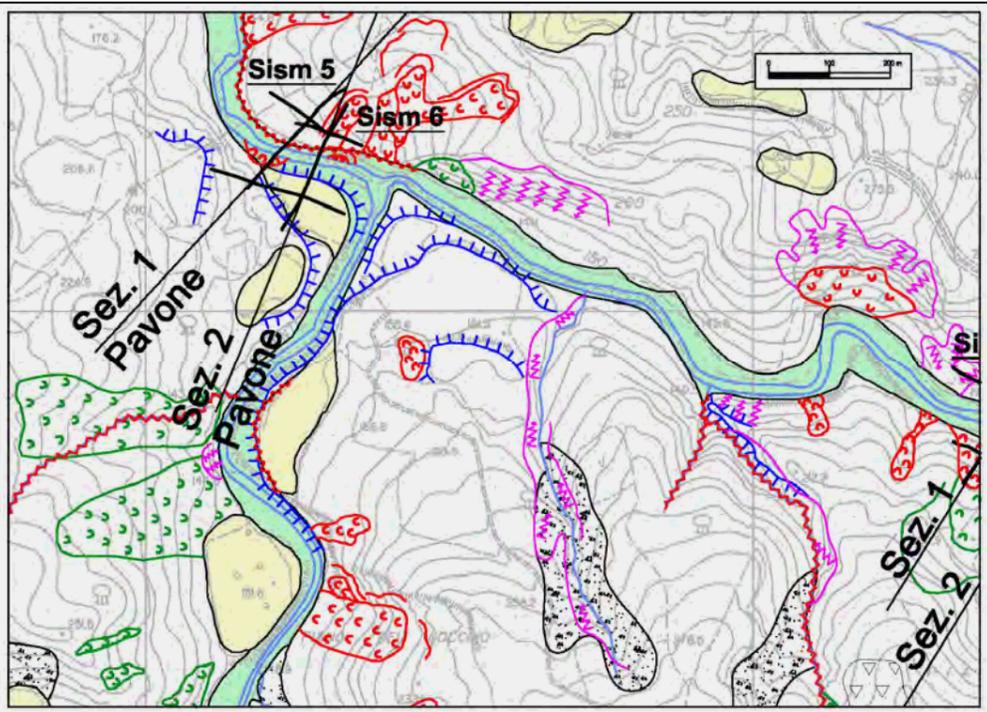


Fig. 6.2B - Ipotesi di sbarramento 5 e 6. Geomorfologia di dettaglio

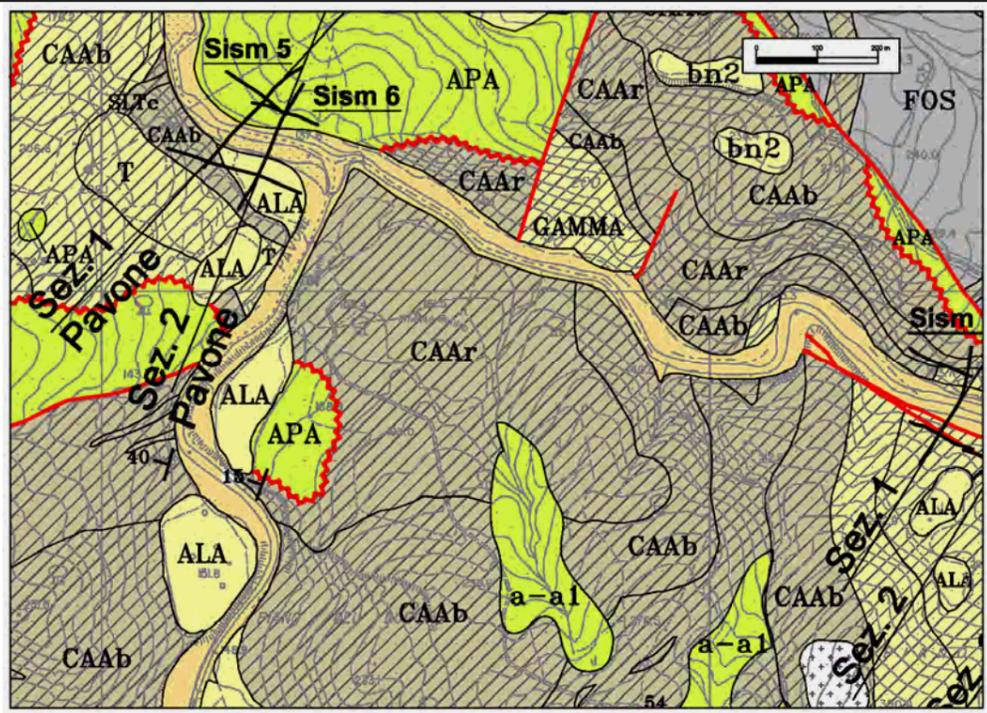


Fig. 6.2C - Ipotesi di sbarramento 5 e 6. Idrogeologia di dettaglio

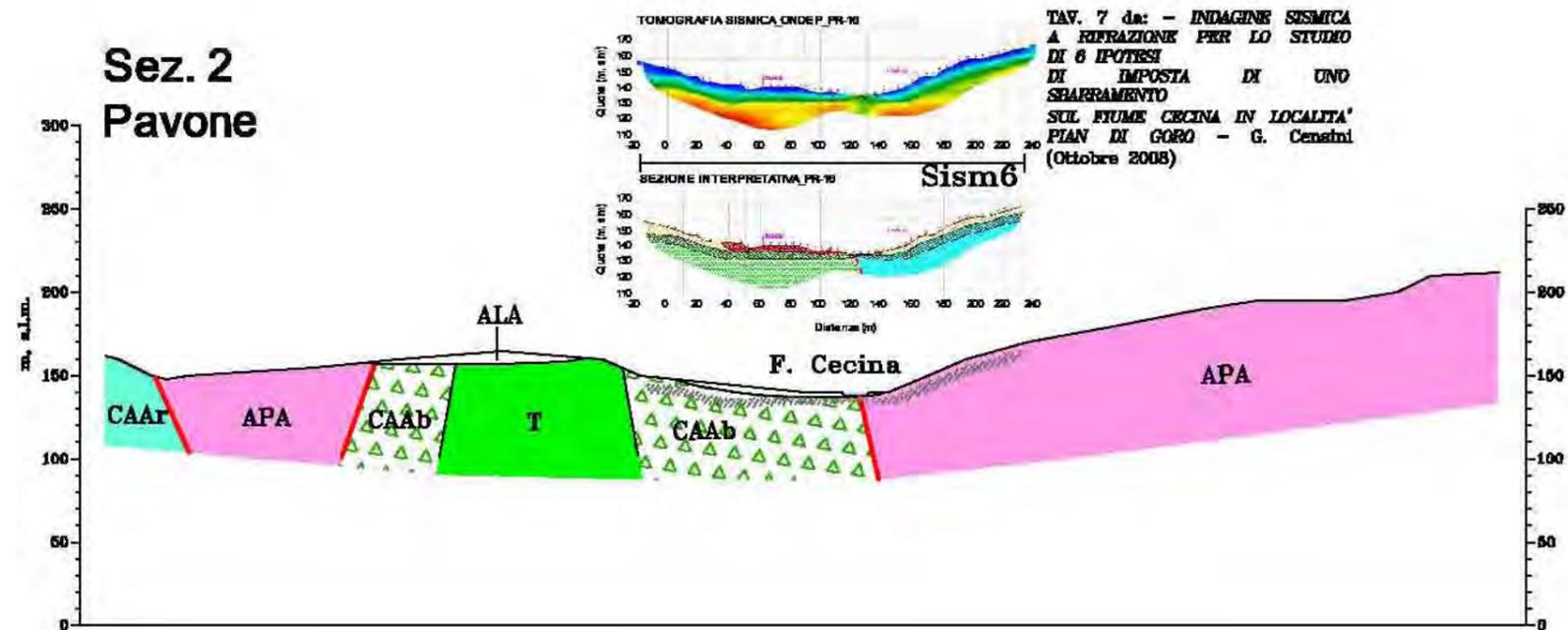
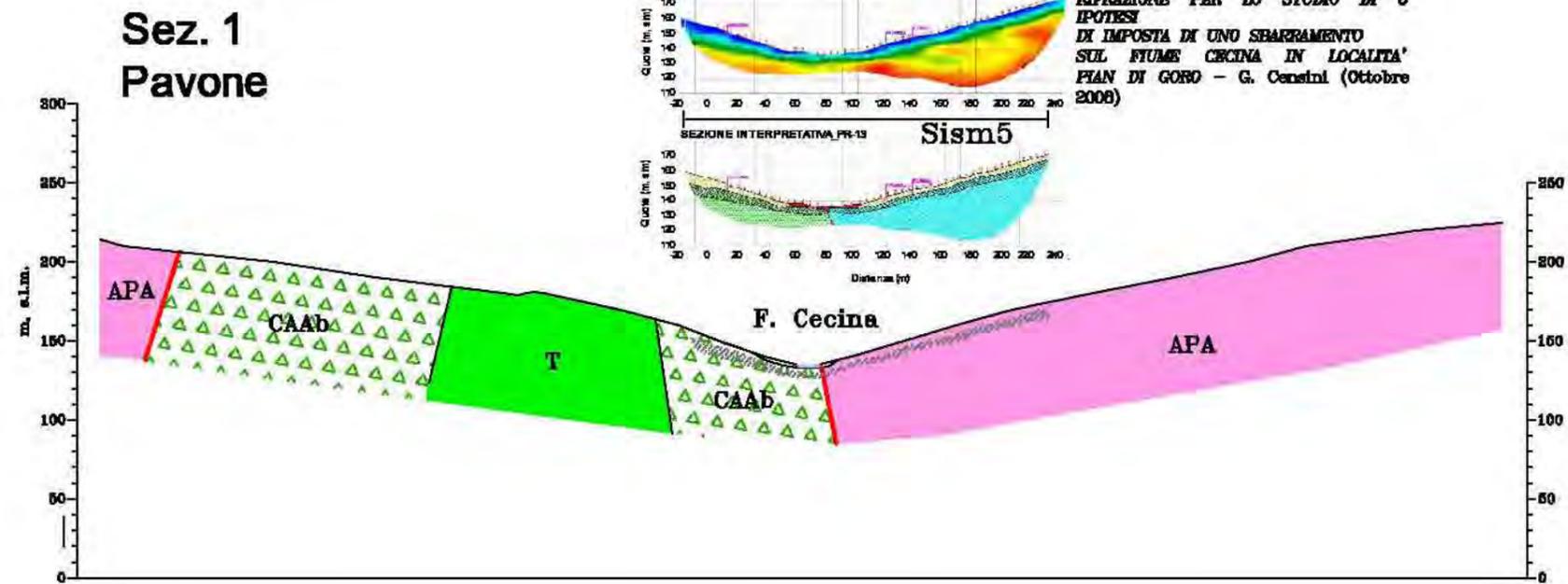


Fig. 6.3 - Pian di Goro
Sezioni geologiche 1 e 2
T. Pavone
Scala 1: 4.000

6.2 – Geofisica. Tomografia sismica

L'indagine è stata condotta utilizzando onde sismiche P su tutte e tre le ipotesi e onde sismiche P accoppiate a onde SH.

- IPOTESI SBARRAMENTO 5 (Fig. 6.2)

Sono stati realizzati tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina (PR-13), due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra (PR-17) e in sponda destra (PR-15). Sono state utilizzate per l'indagine le sole onde sismiche P.

I punti salienti sono i seguenti:

- si osserva la presenza di terreni mediamente veloci, che in profondità hanno raggiunto velocità fin oltre 3.000 m/sec. Dal punto di vista litologico, è possibile distinguere due contesti messi a contatto, probabilmente, da una discontinuità tettonica: rocce attribuibili alle litologie dell'Unità ofiolitifera di M.te verdi M.mo-Lanciaia in sponda sinistra, terreni appartenenti alle Argille a Palombini in destra (Fig. 6.2A). In entrambi i casi, all'aumentare delle profondità si rileva un corrispondente aumento delle velocità sismiche a ipotizzare la presenza di un substrato litoide più compatto;
- dove affiorano le Argille a Palombini, si segnalano alcune inversioni di velocità che possono essere associate alla presenza di livelli argillitici e calcareo-marnosi più significativi;
- i terreni superficiali a minore velocità sismica sono costituiti da suolo e roccia alterata e raggiungono i massimi spessori (6-7 metri) nelle zone topograficamente più elevate delle spalle e nelle zone acclivi. Gli spessori si mantengono costanti sui profili longitudinali;
- la zona centrale del profilo trasversale risulta caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali recenti del F. Cecina, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con spessore massimo pari a circa 3 metri.

- IPOTESI SBARRAMENTO 6 (Fig. 6.2)

L'area è controllata da tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina, due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra e in sponda destra. Sono state utilizzate per l'indagine le sole onde sismiche P.

I punti salienti sono i seguenti:

- tutti i profili eseguiti sono caratterizzati da velocità ad onde P del tutto simili a quelle evidenziate nella “Ipotesi di Sbarramento 5” raggiungendo nel complesso valori di velocità superiori a 3.000 m/sec. Dal punto di vista litologico, può essere fatta un’analoga distinzione, tra litologie appartenenti all’Unità Ofiolitifera in sponda sinistra e le Argille a Palombini in sponda destra, per la presenza di un contatto tra le due Unità di origine tettonica, riportato nelle sezioni geologiche di Fig. 6.3;
- l’aumento regolare delle velocità sismiche con la profondità indica come nell’ipotesi precedente la presenza di un substrato litoide più compatto, sub affiorante in corrispondenza dell’alveo ;
- gli spessori dei terreni allentati superficiali comprendenti copertura, depositi alluvionali terrazzati e substrato alterato, tendono ad essere massimi in corrispondenza dei punti topograficamente più elevati delle due possibili spalle dello sbarramento e costanti sulle sponde;
- la zona centrale del profilo trasversale è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali del fiume Cecina, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con spessore massimo pari a circa 5 metri;
- la formazione delle Argille a Palombini in sponda destra è interessata da inversioni di velocità associate alla presenza di livelli argillitici e calcareo-marnosi più significativi.

6.3 – Commento e valutazione

Tenuto conto del quadro conoscitivo ricostruito e delle criticità evidenziate, la scelta definitiva dello sbarramento tra i due studiati (Sism. 5 e Sism. 6) così come la configurazione finale del bacino di invaso, è necessariamente vincolata ad indagini geognostiche e a studi di dettaglio integrativi, mirate ad un affinamento del quadro conoscitivo locale, special modo della zona delle spalle e della soglia di appoggio/incastro dello sbarramento. In particolare le criticità significative e i possibili approfondimenti di indagini sono così sintetizzabili:

1) Sezione di sbarramento

- la presenza di terreni poco consolidati e/o sciolti (copertura e roccia alterata di spessore medio di circa 10 metri) e a tratti sotto la coltre alluvionale (roccia alterata fino a 5 metri di

spessore). Tali situazioni sono comunque di limitato spessore ma più evidenti sulla sponda destra dell'ipotesi Sism 6;

- la presenza di dissesti attivi localizzati sulla sponda destra dell'ipotesi Sism 6, a differenza delle due sponde dell'ipotesi Sism 5 dove non sono segnalati dissesti.

In relazione a tali criticità dovranno prevedersi con studi geologici-geomorfologici di dettaglio ed indagini geognostiche specifiche per valutare eventuali bonifiche, consolidamenti e/o necessità di impermeabilizzazioni;

2) Bacino di invaso

- Per la parte di invaso valgono le considerazioni fatte nel capitolo 4 per l'area di Pian di Goro. Nel tratto di alveo fra le ipotesi di sbarramento e la confluenza Cecina-Pavone e lungo il corso del T. Pavone i versanti sono interessati da numerose frane attive e quiescenti, sono rilevabili aree in erosione superficiale e tratti della rete idrografica tributaria in erosione accentuata con elevato trasporto solido verso i corsi d'acqua principali. Il quadro andrà approfondito con indagini specifiche per valutare concretamente il rischio idrogeologico indotto e la funzionalità/vita dell'invaso in relazione ai fenomeni di interrimento che potrebbero essere rilevanti in alcuni settori;
- Non sembrano sussistere problematiche idrogeologiche di rilievo nel tratto di alveo del F. Cecina. Lungo il versante in sinistra Pavone caratterizzato dall'affioramento di brecce e arenarie dell'unità di Lanciaia con giacitura localmente a traverpoggio sono da individuare mediante un rilievo geologico/strutturale di dettaglio eventuali settori dove per le caratteristiche geomeccaniche più scadenti, alterazione, elevata fratturazione e giacitura possono determinare aumento di permeabilità e conseguentemente favorire perdite d'acqua dal bacino;

Per quanto riguarda gli aspetti geotecnici inerenti alla scelta e tipologia dello sbarramento, gli attuali studi portano alla necessità di indagini geognostiche a livello locale sulle formazioni che costituiscono l'appoggio di fondazione e di informazioni dirette sulla tenuta idraulica del sistema.

Ugualmente, per quanto riguarda il bacino di invaso, sono da prevedere indagini geologiche di approfondimento per le varie criticità geologico-geomorfologiche locali evidenziate.

7. – IPOTESI DI INVASO SGHIAIATORE A MONTE

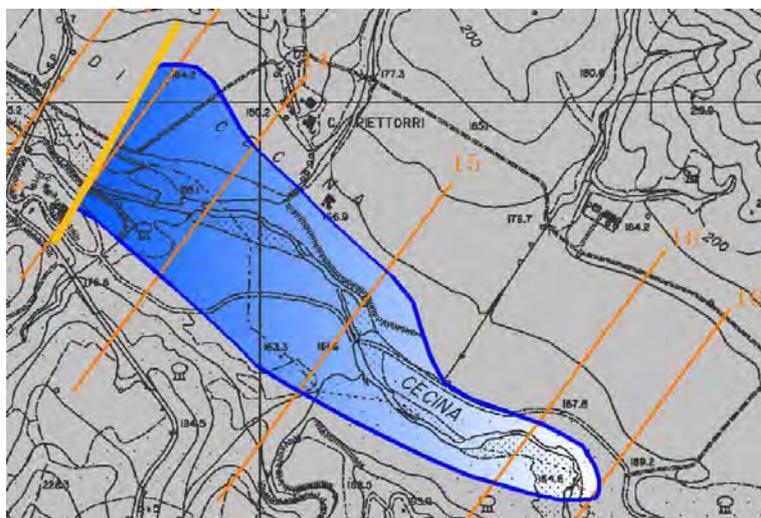
DEL PONTE ALLA SPINETA

7.1 – Ricostruzione topografica e metodologia di calcolo

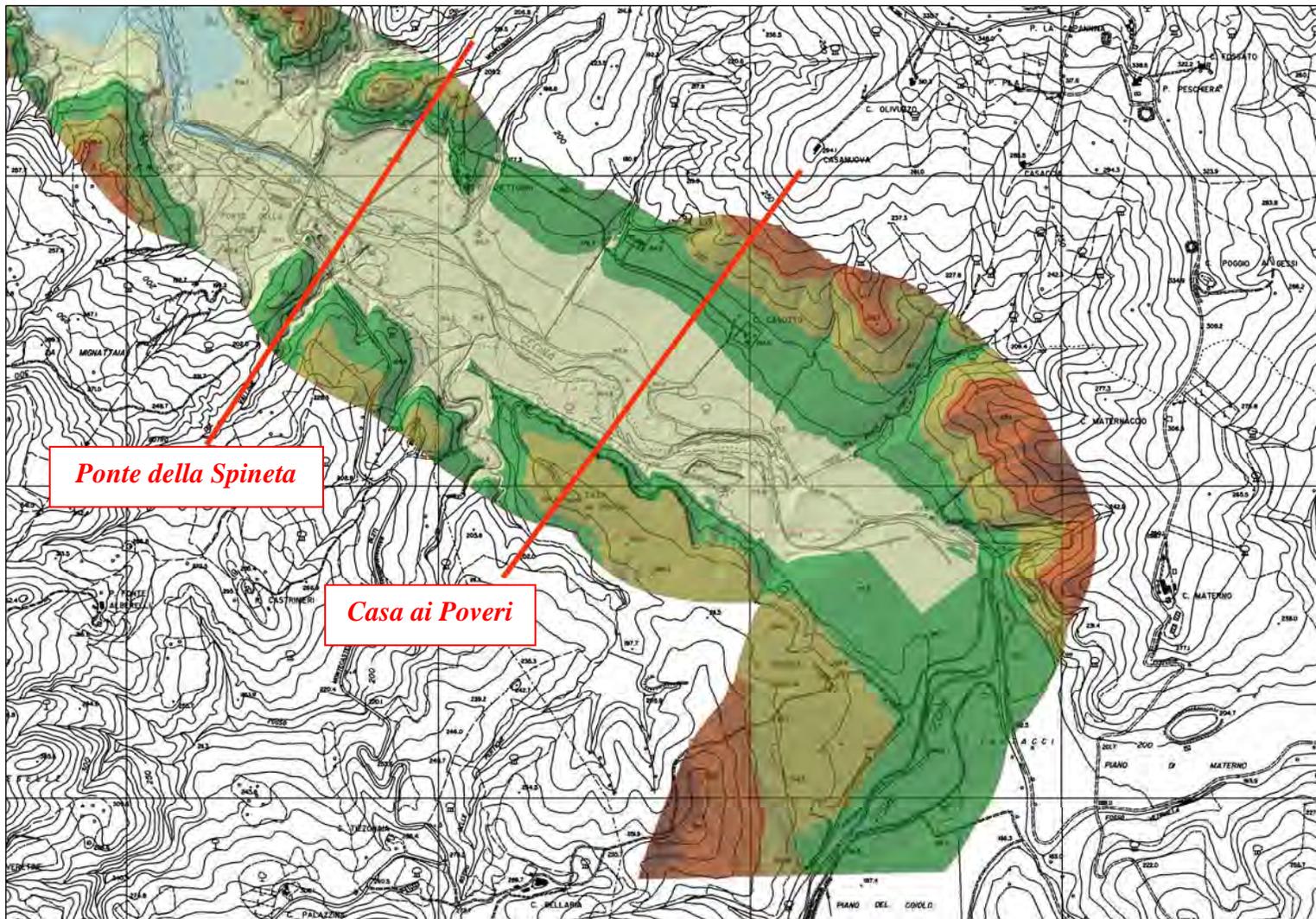
La valutazione dei volumi invasabili è stata articolata in due fasi distinte. **La prima**, oramai superata e primo approccio al problema in assenza di topografia a maggior risoluzione, è stata sviluppata su base topografica regionale (CTR 10.000). Ha richiesto un lavoro di:

- elevazione delle curve di livello 2D della cartografia tecnica (equidistanza 10 m);
- elevazione dei pochi punti in zona fondovalle e letto F. Cecina, a completare le informazioni 3D dell'area in studio;
- estrazione automatica di sezioni parallele per determinare il volume di riempimento simulato, in corrispondenza di varie superfici orizzontali di taglio, col metodo delle sezioni ragguagliate.

In questa ipotesi lo sbarramento è stato posto nei pressi del Ponte della Spineta (v. figura).

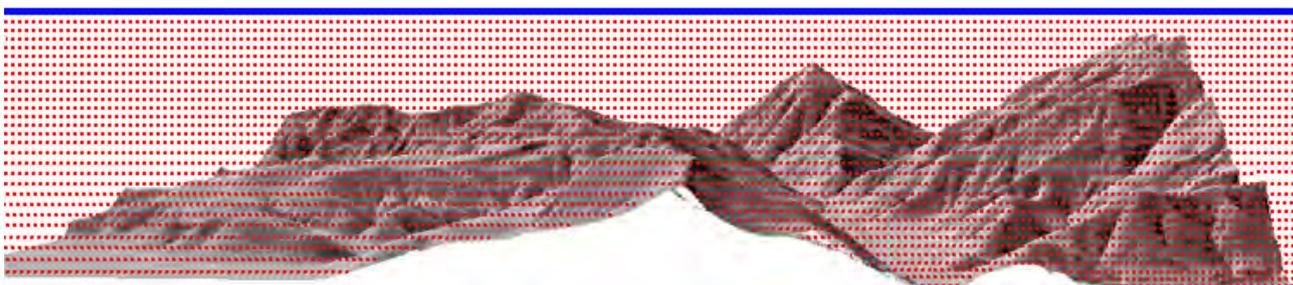


Nella **seconda** fase, quella in esame, è stato utilizzato un rilievo ad alta risoluzione eseguito col metodo LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), messo a disposizione dall'Autorità di Bacino



Con l'ausilio del software ESRI® ArcMap (estensione 3D Analyst) sono state eseguite una serie di simulazioni in corrispondenza di **2 ipotesi di sbarramento** (v. figura). Per ciascuna di queste ipotesi è stato dunque possibile ricostruire la curva Volumi/Quota lago.

Il metodo di calcolo è automatico e tiene conto, ai fini della stima del volume tra una superficie posta al di sopra del rilievo (ipotesi di lago) ed il rilievo stesso (in forma di TIN o raster), del contributo di ciascuna parte elementare (triangolo o cella). L'algoritmo somma le colonne così determinate e fornisce in output il volume desiderato.



Per le 2 ipotesi di sbarramento il DTM è stato appositamente “preparato”, eliminando i dati topografici a valle dello sbarramento stesso e considerando per il calcolo solo la sua porzione di monte.

7.2 – Soluzione sghiaiatore ponte alla Spineta

L'ipotesi di uno sbarramento all'altezza del Ponte alla Spineta proposta nella Fig. 7.1 è considerata, come detto in premessa, una soluzione alternativa ad un grande invaso unico. La soluzione di un invaso a monte del Ponte della Spineta con funzione di bacino sghiaiatore per un futuro secondo lago più a valle è stata considerata dalle Amministrazioni Locali la più concreta anche dal punto di vista finanziario.

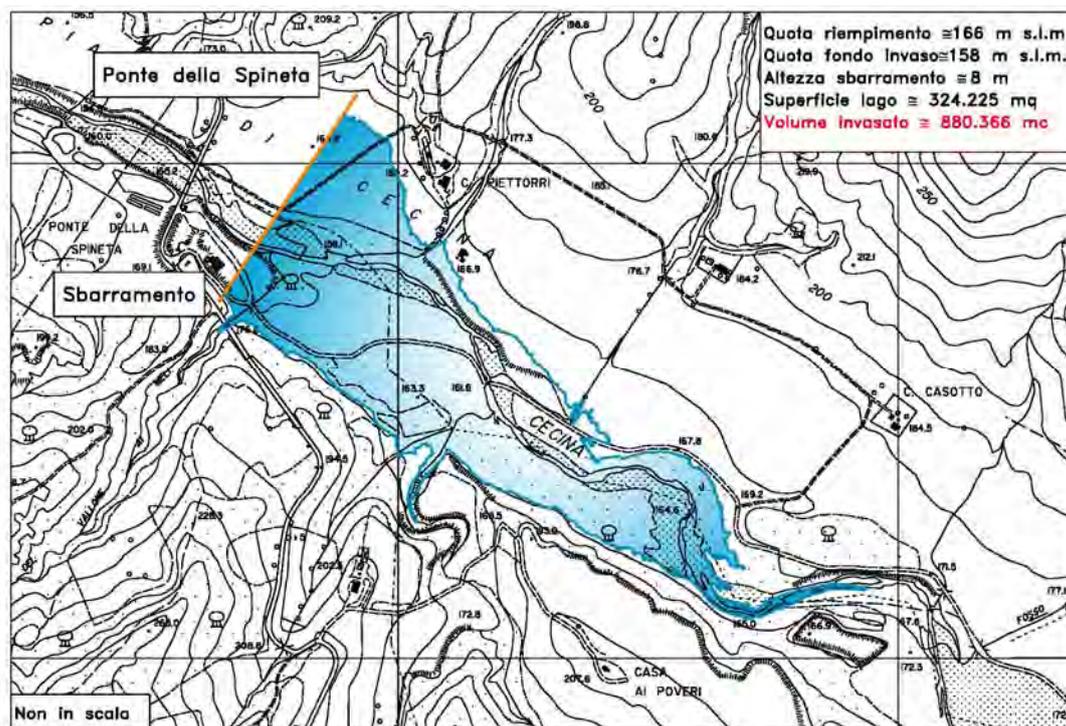


Fig.

7.1 - Ipotesi di sbarramento 4. Invaso sghiaiatore a monte del Ponte della Spineta

7.2.1. – Elementi di invaso

Trattandosi di uno sbarramento in terra con altezza inferiore a 15 metri la larghezza al coronamento può essere preliminarmente assunta di 3 metri ovvero pari al doppio del franco minimo di sicurezza in questa sede assunto pari al massimo per la categoria di invaso e pari a 1.5 metri. Le pendenze dei paramenti di monte e di valle (base/altezza) vengono assunte in questa fase pari a 2 ed 1.5.

La sezione risultante, al netto delle eventuali fondazioni e/o taglioni impermeabilizzanti, è quindi di 205 mq/ml. Sono quindi necessari circa 20.000 mc di terreno ogni 100 metri di sviluppo lineare dello sbarramento. In base al modello tridimensionale del terreno, è stato possibile ricostruire una curva altezze-invasi abbastanza attendibile (Fig. 7.2). Saranno certamente necessari rilievi di

dettaglio per le fasi progettuali successive, ma possiamo ritenere i volumi invasabili ricostruiti un punto di partenza adeguato.

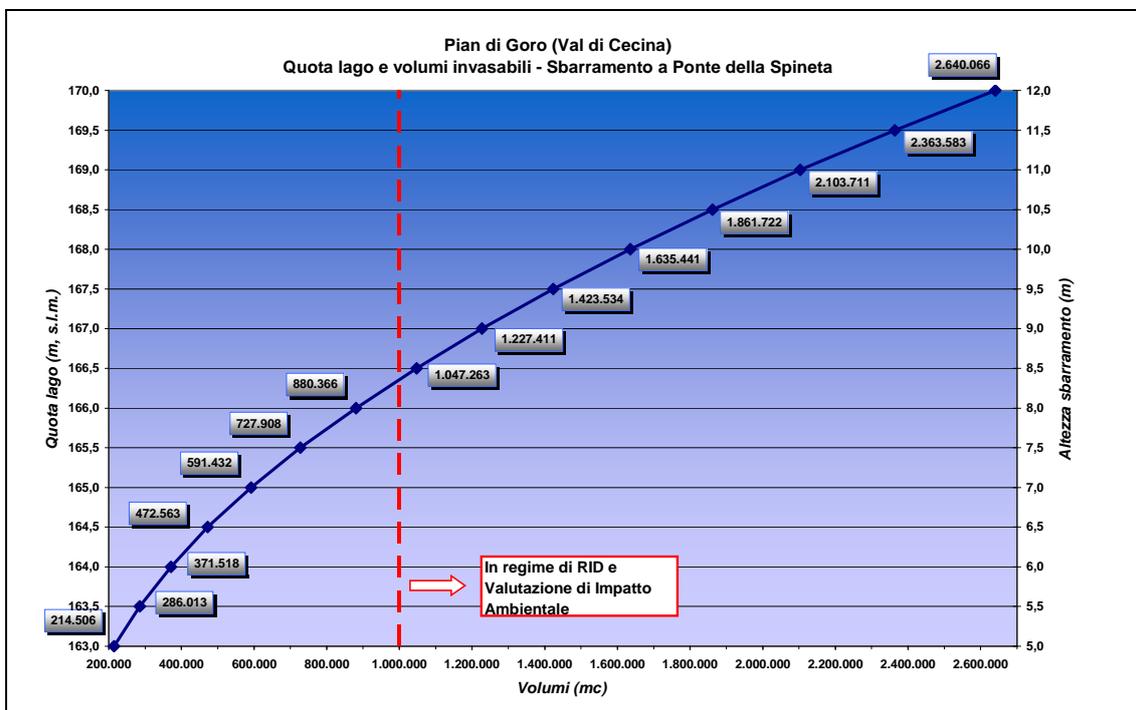


Fig. 7.2 – Curva altezze-invasi per sgiaiatore a monte del Ponte della Spineta

Il grafico mostra che con uno sbarramento in terra di altezza variabile tra 8 e 10 metri è possibile un invaso compreso tra circa 900.000 mc ed 1.600.0000 mc. La lunghezza dello sbarramento risulta di circa 500 metri. La quota di fondo invaso è 158 m.s.l.m ed i volumi progressivi invasati, con sbarramenti di altezza variabile da 5 a 12 metri, sono i seguenti:

Quota battente (m, s.l.m.)	Volume (mc)	h (m)
163,0	214.506	5,0
163,5	286.013	5,5
164,0	371.518	6,0
164,5	472.563	6,5
165,0	591.432	7,0
165,5	727.908	7,5
166,0	880.366	8,0
166,5	1.047.263	8,5
167,0	1.227.411	9,0
167,5	1.423.534	9,5
168,0	1.635.441	10,0
168,5	1.861.722	10,5
169,0	2.103.711	11,0
169,5	2.363.583	11,5
170,0	2.640.066	12,0

7.2.2 – Considerazioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche

QUADRO GEOLOGICO-STRUTTURALE

(carta geologica di Fig. 7.3A e sezione geologica di Fig. 7.4)

1) Sezione di imposta

Il quadro geologico strutturale di dettaglio evidenzia la presenza di banchi arenacei e argilloso-gessosi intercalati rispettivamente alle argille del FOS e RAQa. In destra Cecina, la giacitura delle intercalazioni è a traverpoggio con inclinazione fino a 50°. I livelli arenacei appaiono in affioramento localmente alterati e fratturati. Il sondaggio S4, dopo i primi sette metri in alluvione, attraversa esclusivamente arenarie con evidenti piani di fratturazione (prevalentemente a 30-40°) e resistenza molto bassa alle prove Point Load eseguite in laboratorio. Le intercalazioni gessose non sono state direttamente indagate per cui allo stato attuale non è noto se siano presenti, localmente, effetti di dissoluzione per contatto e infiltrazione di acque meteoriche. Questo aspetto sarà definito in sede di Progetto Definitivo.

2) area di invaso

Il quadro geologico strutturale evidenzia che l'area di invaso ricade all'interno del comparto alluvionale delimitato prevalentemente da argille della formazione del RAQa. Non si evidenziano situazioni geologico strutturali né sistemi di faglie e lineazioni di particolare rilievo.

QUADRO GEOMORFOLOGICO

(Carta geomorfologica di Fig. 7.3B)

1) sezione di imposta e area di invaso

Il dettaglio geomorfologico di Fig. 7.3B non evidenzia particolari attività geomorfiche né in corrispondenza della sezione di imposta, né sui versanti fino alla massima quota di invaso ad eccezione di un paio di smottamenti di dimensioni trascurabili e sporadiche aree in erosione e ruscellamento diffuso al margine della superficie di fluttuazione del futuro lago.

QUADRO IDROGEOLOGICO

(carta della permeabilità delle formazioni di Fig. 7.3C)

1) sezione di imposta e area di invaso

Il dettaglio della carta idrogeologica evidenzia la variazione di permeabilità fra le alluvioni di fondovalle (media permeabilità), le argille affioranti sui versanti (bassa permeabilità) e le intercalazioni arenacee all'altezza dell'ipotesi Sism4 (medio bassa permeabilità). Come già commentato nei precedenti paragrafi, la permeabilità dell'arenaria è stata controllata mediante prove in situ. Per quanto riguarda i livelli gessosi, sono classificati come in letteratura geologica a permeabilità elevata, non essendo disponibili dati da indagini dirette in grado di definire le reali caratteristiche di permeabilità di questa formazione.

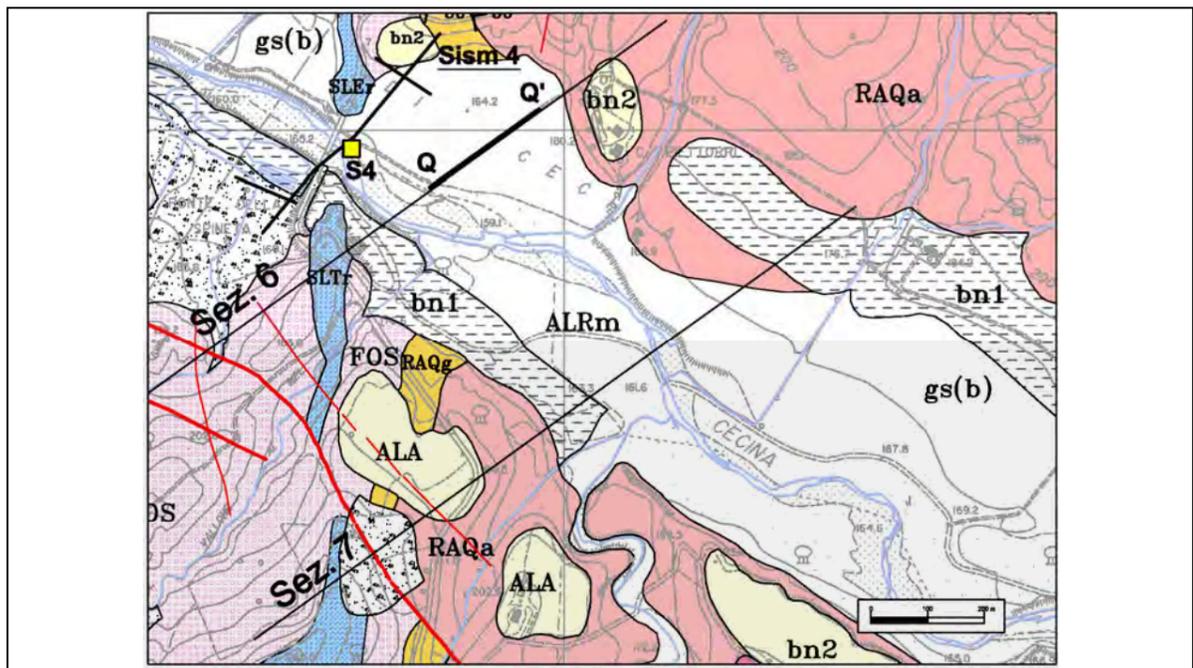


Fig. 7.3A - Ipotesi di sbarramento 4. Geologia di dettaglio

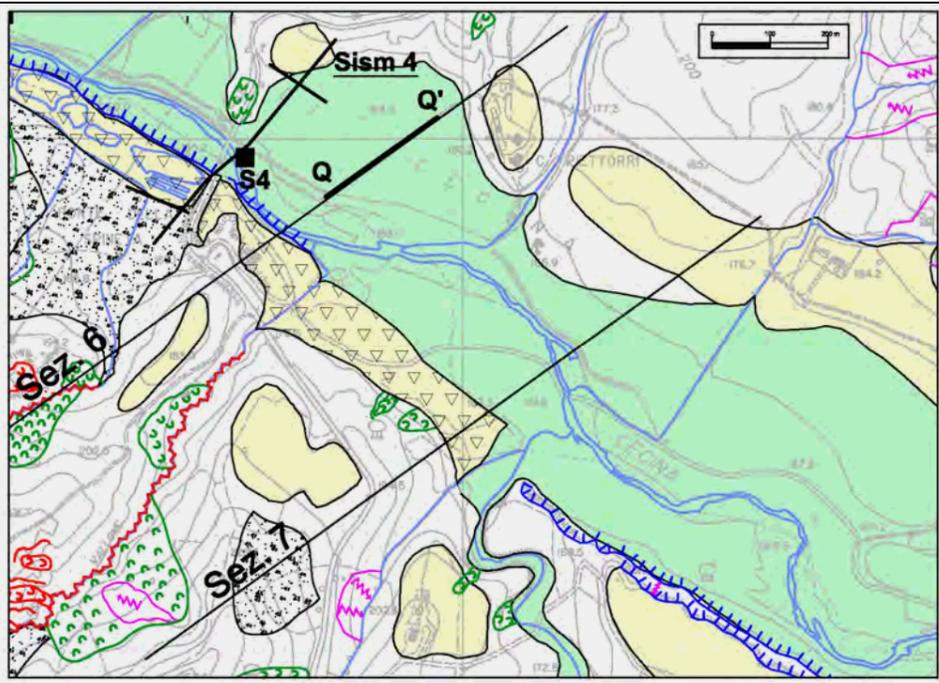


Fig. 7.3B - Ipotesi di sbarramento 4. Geomorfologia di dettaglio

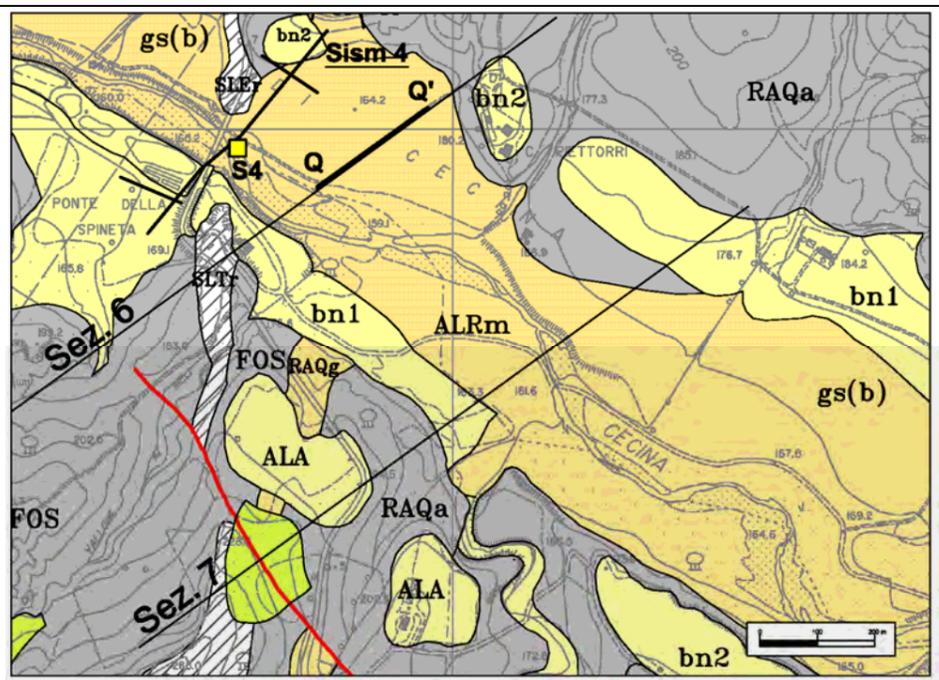
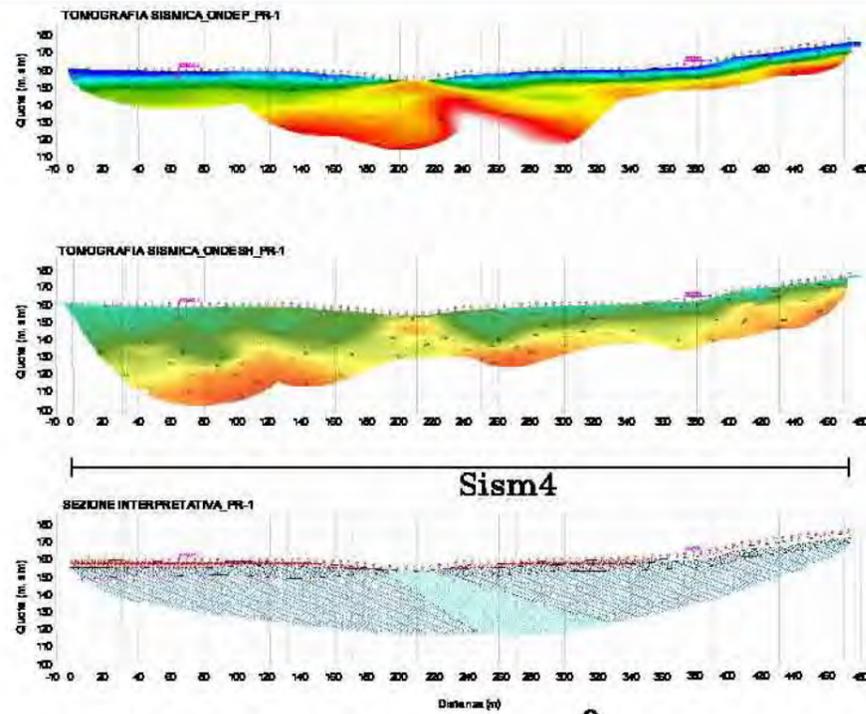
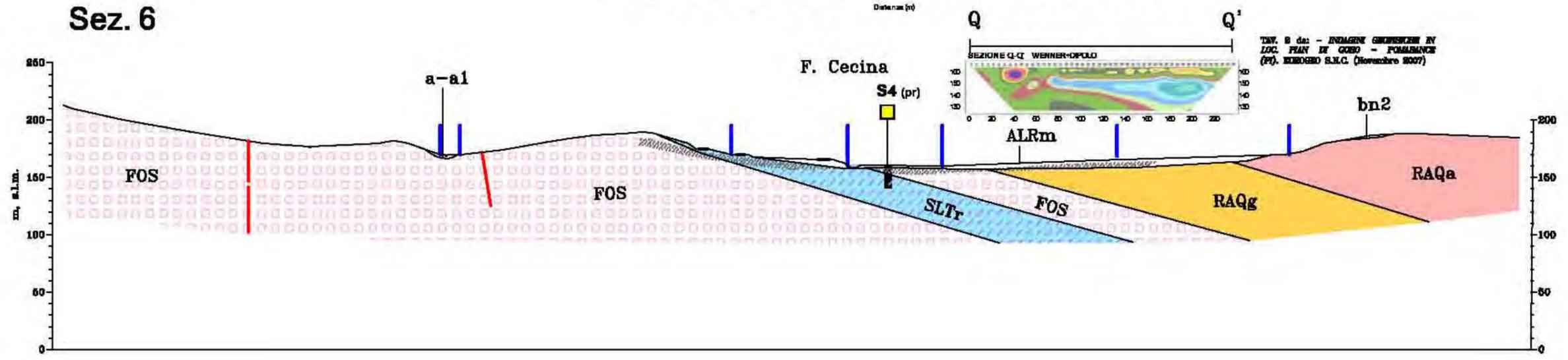


Fig. 7.3C - Ipotesi di sbarramento 4. Idrogeologia di dettaglio



TAV. 6 da: - INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE PER LO STUDIO DI 6 IPOTESI DI IMPOSTA DI UNO SBARRAMENTO SUL FIUME CECINA IN LOCALITA' PIAN DI GORO - G. Censini (Ottobre 2006)



TAV. 6 da: - INDAGINE GEOFISICA IN LOC. PIAN DI GORO - FORMANZE (PT). RENZO S.N.C. (Novembre 2007)

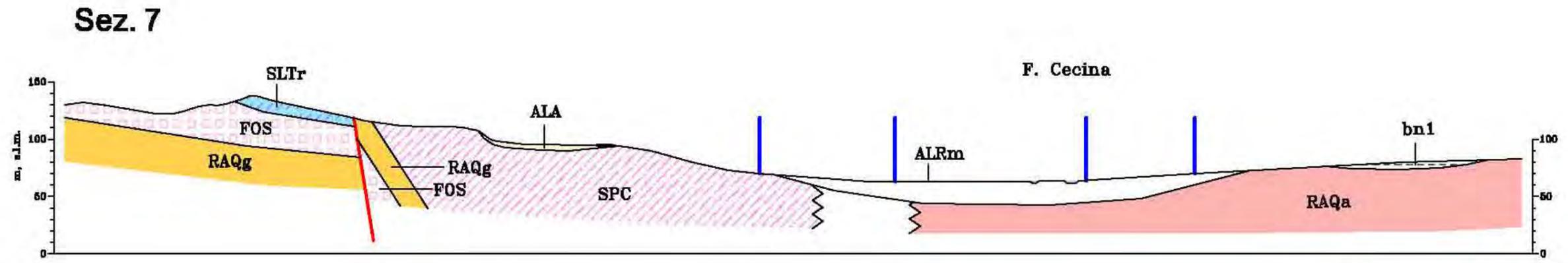


Fig. 7.4 - Pian di Goro
Sezioni geologiche 6 e 7
Scala 1: 4.000

GEOFISICA

a) Tomografia elettrica

Il profilo geoelettrico Q'-Q (Fig. 7.5), parallelo all'ipotesi di imposta 4 e ubicato un centinaio di metri a monte di quest'ultima, è stato elaborato con le tecniche Dipolo-Dipolo e Wenner (stendimento di 235 metri) al fine di chiarire la natura e la geometria del materasso alluvionale e fornire indicazioni sul substrato fino alla profondità di circa 40 metri. Il quadro emerso è il seguente:

- nella porzione più superficiale (sino a circa 10 m dal piano campagna) i valori di resistività variano in genere tra 20 e 75 Ohm*m indicando alluvioni con falda acquifera che poggiano su un substrato argilloso (6 e 13 Ohm*m);
- l'aumento di resistività del substrato nella parte iniziale della sezione è probabilmente correlabile a subaffioramenti arenacei e a presenza di intecalazioni gessose di un certo spessore nelle argille, come confermato dalla taratura geologica di Sez. 6 (Fig. 7.4).

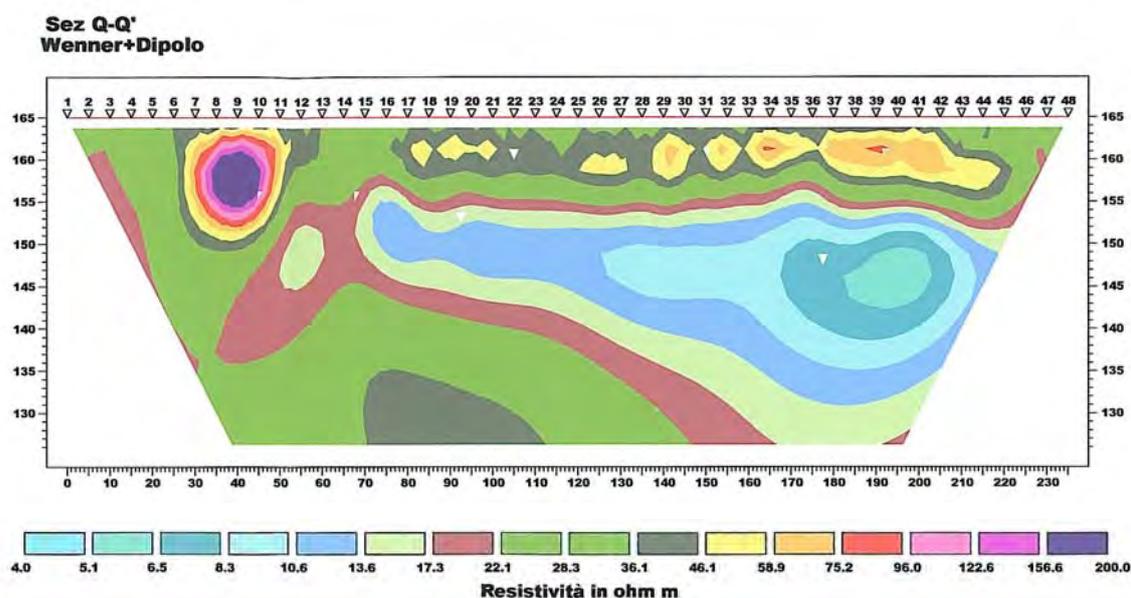


Fig. 7.5 – Profilo tomografico elettrico Q'-Q

b) Tomografia sismica

Utilizzando onde sismiche P accoppiate a onde SH per minimizzare il disturbo in fase interpretativa dovuto alla presenza di depositi alluvionali sede di falda acquifera, sono stati realizzati tre profili sismici, uno trasversale al F. Cecina (PR-1), due longitudinali, rispettivamente in sponda sinistra (PR-10) e in sponda di destra idrografica (PR-4). I dati salienti emersi sono i seguenti:

- I profili tomografici eseguiti lungo questa ipotesi di sbarramento sono in genere caratterizzati da bassi valori delle velocità sismiche, con valori massimi compresi tra 2.000-3.000 m/sec per le onde P e 800-1.000 m/sec per le onde SH, questi possono essere associati dal punto di vista geologico, ai depositi argillosi neogenici;
- nelle porzioni centrali del profilo è presente una fascia debolmente inclinata, immergente verso est, caratterizzata da velocità sismiche massime leggermente superiori, sia con le onde P (3.000-4.000 m/sec) che con le onde SH (1.000-1.500 m/sec). Si tratta di uno strato litoide arenaceo intercalato alle argille neogeniche che affiora in quella zona sul letto del fiume. Questa intercalazione è proposta anche nella sezione geologica 6 di Fig. 7.4;
- non si segnala la presenza di anomalie o marcati ispessimenti di terreni poco consolidati e/o scioli superficiali, né sul profilo trasversale, né su quelli longitudinali;

Commento e valutazione

La fattibilità geologico/strutturale e geomorfologica di un bacino sghiaiatore con sezione di imposta ubicata a monte del Ponte della Spineta fra il profilo sismico Sism4 e quello elettrico Q-Q', non sembra essere condizionata da situazioni di criticità significative.

Per quanto riguarda lo sbarramento, di lunghezza considerevole (circa 500m) data l'ampia sezione valliva, viene ad essere impostato sul substrato miocenico, prevalentemente argilloso, mediamente sovraconsolidato e pressoché impermeabile. Il quadro geologico ricostruito evidenzia come, in fase di scavo e asportazione delle alluvioni per la creazione del taglione impermeabile di sbarramento, si arriverà ad intercettare intercalazioni arenacee e gessose del substrato, peraltro già in affioramento sui versanti. Sarà quindi necessario approfondire la conoscenza delle caratteristiche geologico/strutturali, geotecniche ed idrogeologiche di tali formazioni con indagini specifiche dirette e non, ai fini della valutazione della tenuta dei sistemi di fondazione e di impermeabilizzazione nonché dell'invaso.

Sotto il profilo geomorfologico, nell'area interessata dal possibile bacino d'invaso, non emergono criticità rilevanti. Gli elementi testimonianti attività geomorfica descritti nei paragrafi precedenti (smottamenti superficiali localizzati e tratti in erosione accentuata che interessano localmente la rete tributaria minore) dovranno comunque essere oggetto di approfondimenti di indagini, con accertamenti specifici mirati a valutarne l'eventuale asportazione e/o bonifica e al controllo della dinamica del trasporto solido.

7.3 – Soluzione sghiaiatore Casa ai Poveri

Considerando la disponibilità del modello tridimensionale ricostruito, è stata presa in esame anche un'ulteriore ipotesi di uno sbarramento ancora più a monte dell'area della precedente sempre con funzione preliminare ma compatibile con un successivo grande invaso unico. L'ubicazione planimetrica è riportata in Fig. 7.6.

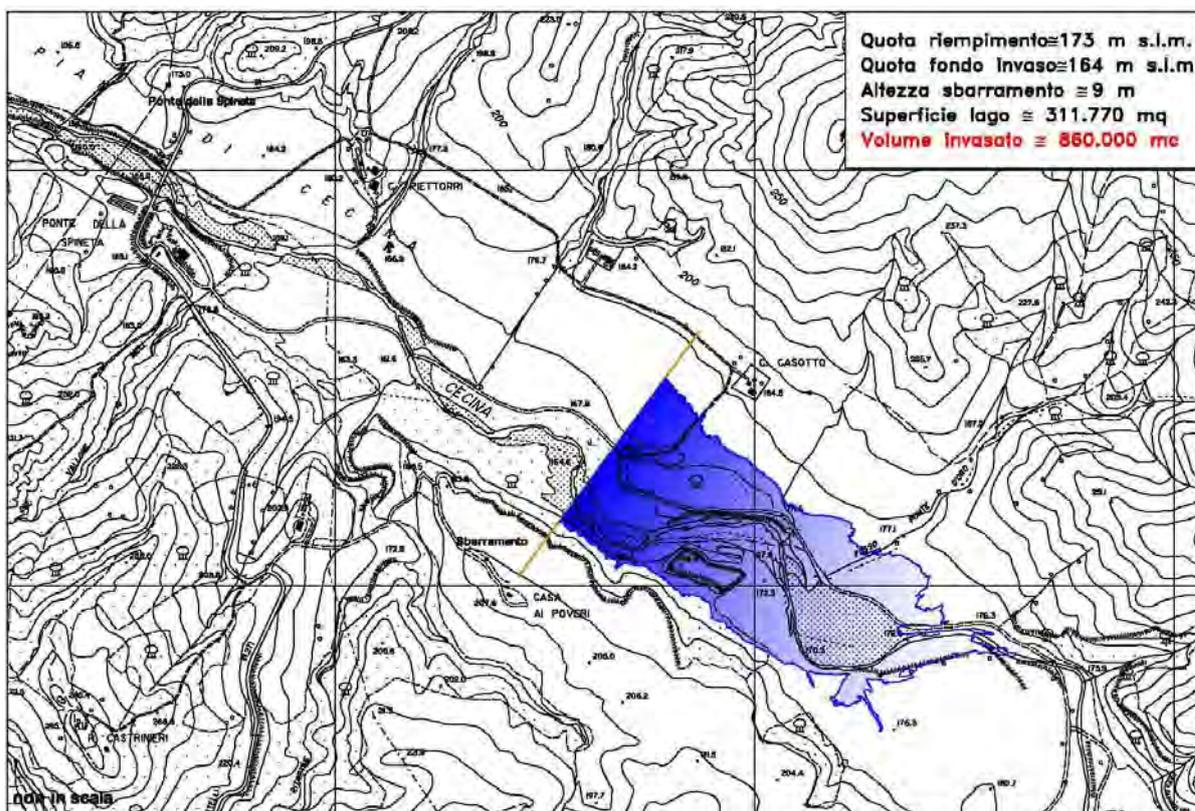


Fig. 7.6 - Invaso sghiaiatore Casa ai Poveri a monte del Ponte della Spineta

7.3.1 – Elementi di invaso

Gli elementi geometrici dell'invaso sono identici al caso precedente cui si rimanda per ogni dettaglio. Anche in questo caso non si modifica la lunghezza dello sbarramento che risulta di circa 500 metri.

Il grafico relativo alla curva altezze-invaso (Fig. 7.7) mostra una netta diminuzione dei volumi invasabili a parità di altezza. Infatti con sbarramenti di altezza variabile tra 8 e 10 metri i volumi invasabili sono compresi tra 600.000 mc ed 1.150.000 mc. Si ritiene, pertanto, indipendentemente

dalle considerazioni di natura geologica, morfologica e geotecnica riportate di seguito, che questa ubicazione debba essere considerata una seconda scelta.

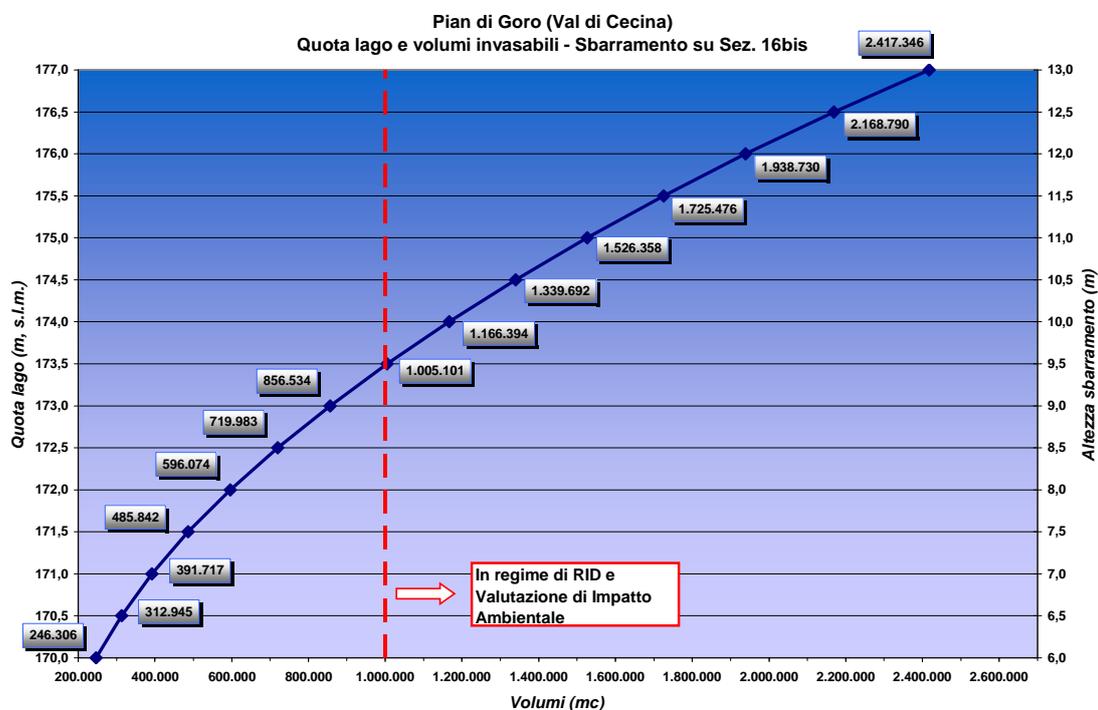


Fig. 7.7 – Curva altezze-invasi per sghiaiatore Casa ai Poveri a monte del Ponte della Spineta

La quota di fondo invaso è 164 m.sl.m ed i volumi progressivi invasati, con sbarramenti di altezza variabile da 6 a 13 metri, sono i seguenti:

Quota battente (m, s.l.m.)	Volume (mc)	h (m)
170,0	246.306	6,0
170,5	312.945	6,5
171,0	391.717	7,0
171,5	485.842	7,5
172,0	596.074	8,0
172,5	719.983	8,5
173,0	856.534	9,0
173,5	1.005.101	9,5
174,0	1.166.394	10,0
174,5	1.339.692	10,5
175	1.526.358	11,0
175,5	1.725.476	11,5
176	1.938.730	12,0
176,5	2.168.790	12,5
177	2.417.346	13,0

7.3.2 – Quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico

Ribadita la precisazione fatta in premessa relativamente alla necessità di approfondire le conoscenze geologiche-geomorfologiche e geotecniche dell'area interessata da questa ulteriore ipotesi, a seguire si definiscono le caratteristiche preliminari della soluzione presa in esame.

QUADRO GEOLOGICO-STRUTTURALE (carta geologica di Fig. 7.8A)

1) Sezione di imposta

Il quadro geologico strutturale di dettaglio evidenzia la presenza, al di sotto delle alluvioni attuali e/o terrazze, della formazione argilloso-sabbiosa con banchi arenacei intercalati (RAQa). In destra Cecina, la giacitura delle intercalazioni è a traverspoggio con inclinazione di 15-20° verso est-sud-est. I livelli arenacei in affioramento sono localmente alterati e fratturati. In sinistra Cecina al di sotto delle alluvioni terrazzate sono presenti esclusivamente le argille sabbiose di RAQ. Non sono segnalate intercalazioni significative gessose.

2) area di invaso

Il quadro geologico strutturale evidenzia che l'area di invaso ricade all'interno del comparto alluvionale delimitato prevalentemente da argille della formazione del RAQa e, limitatamente al settore più a monte, dalle argille della formazione EMO. Non si evidenziano situazioni geologico strutturali né sistemi di faglie e lineazioni di particolare rilievo.

QUADRO GEOMORFOLOGICO (Carta geomorfologica di Fig. 7.8B)

1) sezione di imposta e area di invaso

Il dettaglio geomorfologico di Fig. 7.xB non evidenzia particolari attività geomorfiche né in corrispondenza della sezione di imposta, né sui versanti fino alla massima quota di invaso ad eccezione di sporadiche aree in erosione e ruscellamento diffuso al margine della superficie di fluttuazione del futuro lago.

QUADRO IDROGEOLOGICO (carta della permeabilità delle formazioni di Fig. 7.8C)

1) sezione di imposta e area di invaso

Il dettaglio della carta idrogeologica evidenzia la variazione di permeabilità fra le alluvioni di fondovalle (media permeabilità), le argille affioranti sui versanti (bassa permeabilità) e le intercalazioni arenacee (medio bassa permeabilità).

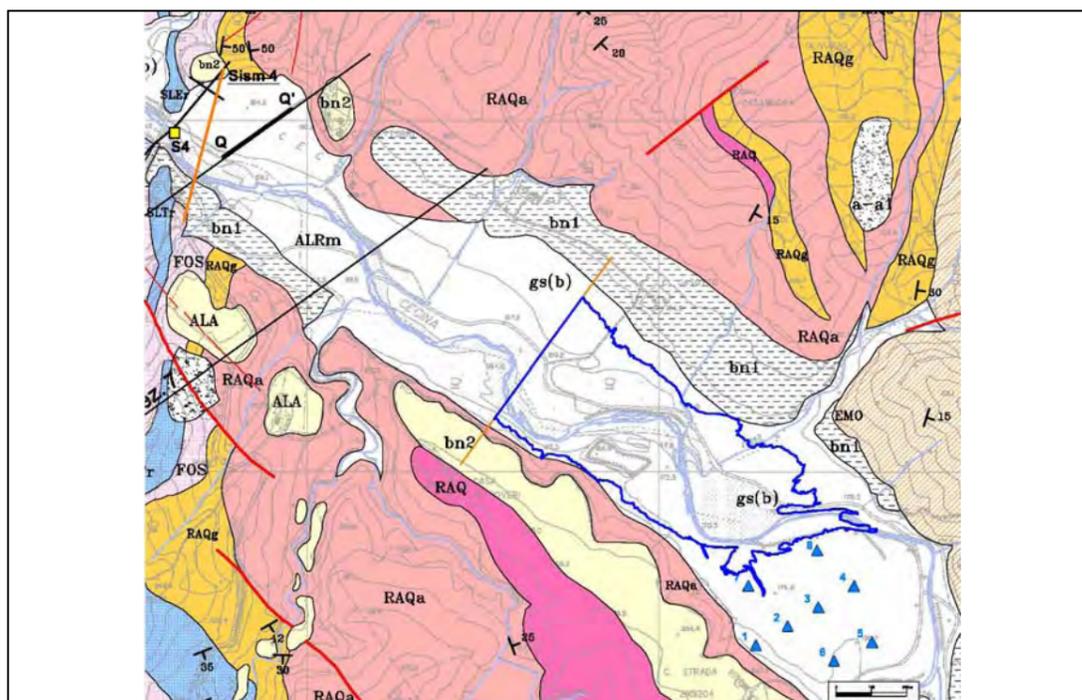


Fig. 7.8A - Ipotesi sghiaiatore Casa ai Poveri. Geologia di dettaglio di dettaglio

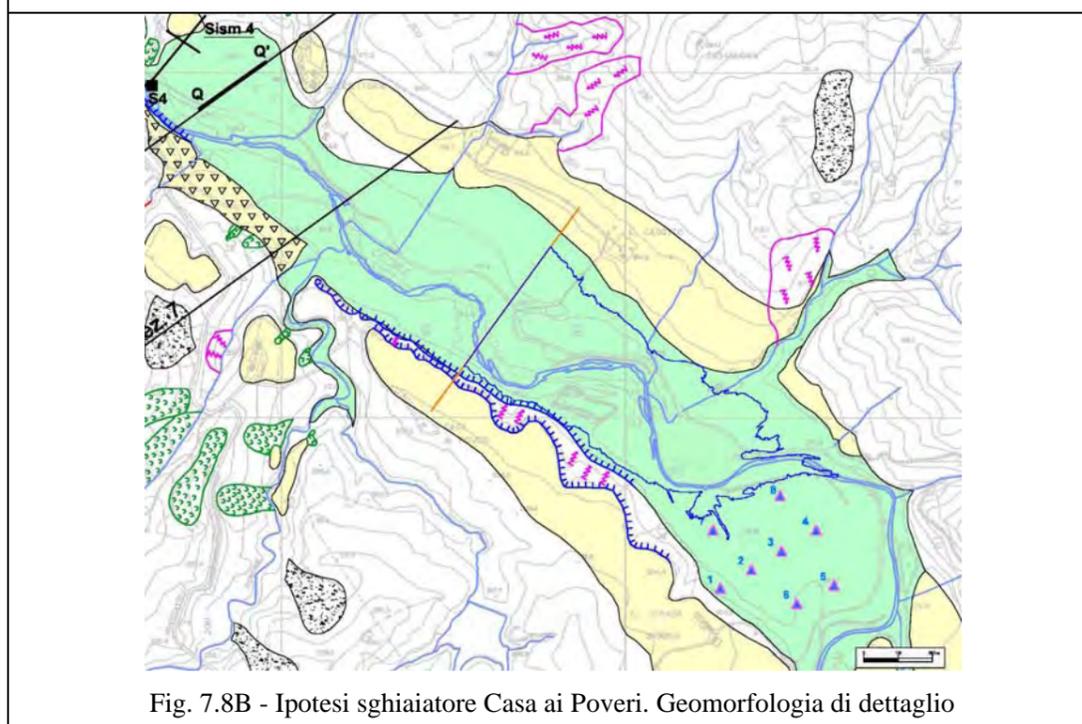


Fig. 7.8B - Ipotesi sghiaiatore Casa ai Poveri. Geomorfologia di dettaglio

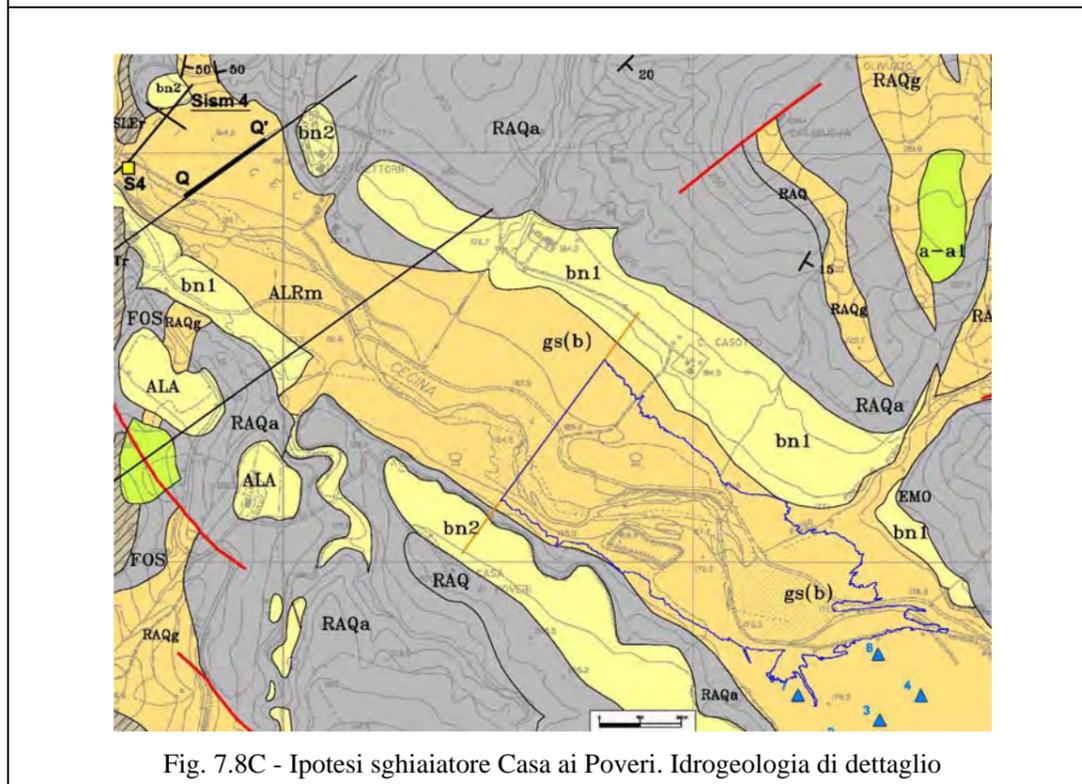


Fig. 7.8C - Ipotesi sghiaiatore Casa ai Poveri. Idrogeologia di dettaglio

Commento e valutazione

La fattibilità geologico/strutturale e geomorfologica del bacino sghiaiatore considerato non sembra essere condizionata da particolari situazioni di criticità.

Per quanto riguarda lo sbarramento, di lunghezza considerevole (circa 500m) data l'ampia sezione valliva, esso risulta impostato sul substrato miocenico, prevalentemente argilloso, mediamente sovraconsolidato e pressoché impermeabile. Il quadro geologico evidenzia come in fase di scavo e asportazione delle alluvioni per fondare il sistema di sbarramento (non meno di 5 metri di spessore del materasso alluvionale), si potranno intercettare intercalazioni arenacee. Sono quindi da prevedersi approfondimenti relativamente alle caratteristiche geologico/strutturali, geotecniche ed idrogeologiche con indagini specifiche dirette e non, ai fini della valutazione della tenuta del sistema di fondazione e di impermeabilizzazione e della tenuta dell'invaso.

Non si evidenziano criticità rilevanti nè di carattere geologico nè di carattere geomorfologico nell'area del bacino di invaso. Le scarse attività geomorfiche descritte nei paragrafi precedenti dovranno comunque essere oggetto di approfondimenti di indagini, con accertamenti specifici mirati a valutarne l'eventuale asportazione e/o bonifica e al controllo della dinamica del trasporto solido.

8. – ELEMENTI DI COSTO

Nel 2008 ASA ha redatto uno studio di massima relativo a sbarramenti di altezza e volumetria variabili. Lo studio si riferiva sia ad alcuni invasi già ipotizzati sul bacino del Cecina che ad altri invasi Italiani. Dai dati acquisiti sono state ricostruite alcune curve di involuppo, riferite sia al volume che all'altezza, riportate nelle figure 8.1 ed 8.2.

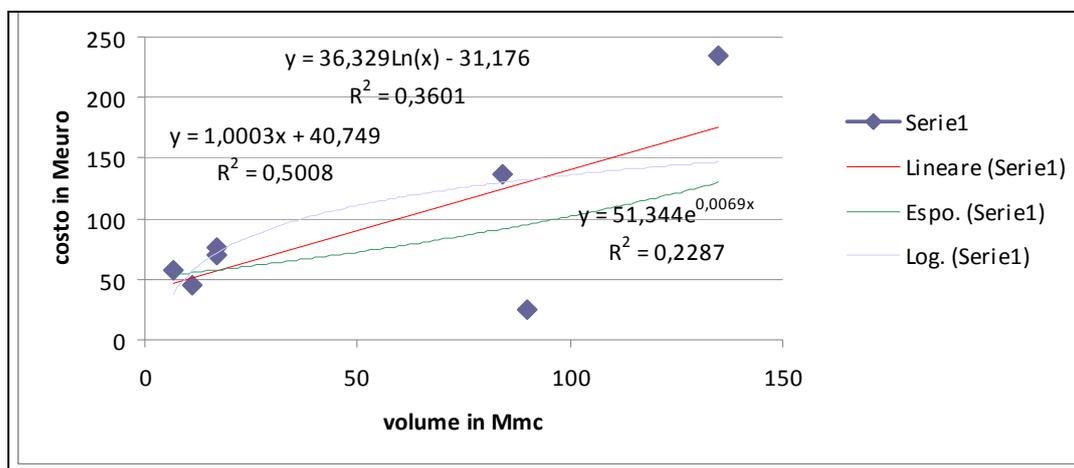


Fig. 8.1 – Curva di involuppo sul volume

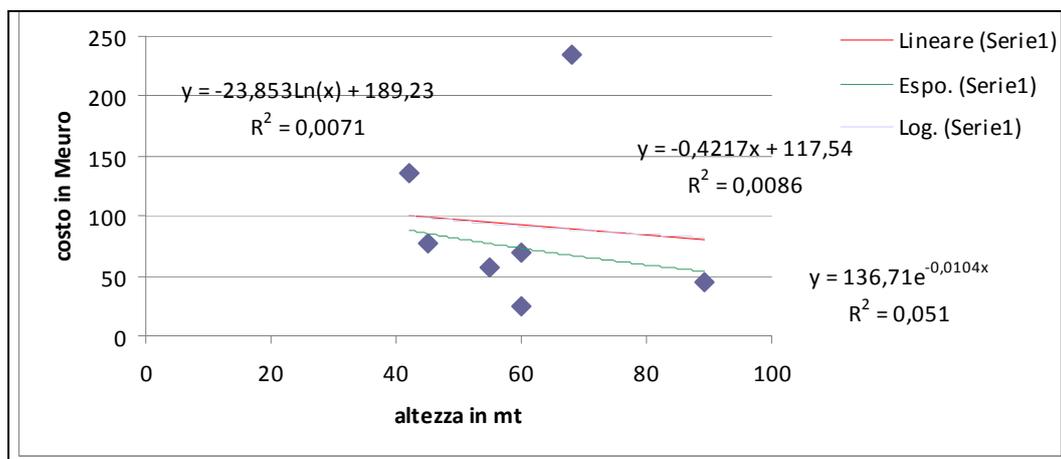


Fig. 8.2 – Curva di involuppo sulle altezze

Le valutazioni comprendono investimenti ritenuti invariabili di 5 milioni di Euro per potenziamento rete acquedottistica, espropri e servitù e spese tecniche. Nonostante l'approssimazione delle valutazioni e delle conseguenti estrapolazioni, si evince che per volumetrie di 6 milioni di metri cubi, i costi di investimento sono molto variabili tra 34 e 54 Milioni di Euro.

	Volumetria Mmc	Costo in Meuro per volume	Altezza	Costo in Meuro per alt sbarramento	Meuro/Mmc
scala lineare	6	46,75	25	106,99	7,798
scala esponenziale	6	53,51	25	105,41	8,91
scala logaritmica	6	33,92	25	112,45	5,65

Le estrapolazioni di cui sopra non si addicono a sbarramenti di altezza modesta e volumetrie ridotte e poco superiori al milione di metri cubi. E' senz'altro plausibile pensare, tuttavia, che i costi per un'opera di altezza 10 metri possano ridursi sensibilmente anche se non in misura lineare e possano attestarsi tra i 20 ed i 30 Milioni di euro.

In ogni caso è da sottolineare l'assoluta necessità di procedere con studi ed indagini di dettaglio sia di tipo tecnico che economico per consentire una valutazione accurata della fattibilità, della sezioni ottimale di imposta e delle necessità tecniche alla base della progettazione.

9. – CONCLUSIONI

La valutazione preliminare dei siti consente di tracciare alcuni elementi per la prosecuzione degli studi e per guidare le scelte progettuali:

- Da un punto di vista della disponibilità della risorsa idrica si rimanda alla relazione idrologica del progetto definitivo dell'invaso di Puretta. In questo caso, trattandosi di uno sbarramento sul Fiume Cecina, le condizioni di vaso sono certamente più semplici rispetto a una derivazione costante e limitata nella portata.
- Se per invasi di capacità limitata si possono escludere problemi sia nella quantità che nei tempi di riempimento, rimane invece la necessità di una verifica di dettaglio sulle quantità invasabili per invasi di grandi dimensioni e che possano includere anche il contributo del Torrente Pavone. In ogni caso, individuata la scelta ritenuta ottimale, si dovrà procedere con uno studio sito specifico e relative considerazioni di carattere socio-ambientale.
- Da un punto di vista geologico, morfologico e geotecnico si rendono necessarie ulteriori indagini e studi per consentire il dovuto approfondimento delle varie problematiche evidenziate. Gli argomenti esposti nei capitoli precedenti mettono in evidenza quanto segue:
 - a) relativamente alle opere di sbarramento con altezze superiori a 10 m (soluzioni 1, 2, 3, 5, 6), ma aventi lunghezze contenute (100 metri max), queste sono posizionate in settori caratterizzati da affioramenti rocciosi intensamente tettonizzati e/o alterati, a volte con presenza di dissesti, che impongono quindi, oltre ad ulteriori ed approfondite indagini geognostiche, geomeccaniche e geofisiche, anche la necessità di dovere adottare soluzioni progettuali per la "bonifica" delle sezioni di imposta particolarmente onerose. Al contrario in questi casi lo spessore dei depositi alluvionali che è necessario asportare è generalmente molto contenuto (5 metri max). Queste considerazioni possono essere estese anche alle aree di vaso caratterizzate da bacini imbriferi aventi un'elevata frequenza di dissesti (frane s.s., aree denudate soggette ad erosione accentuata, ecc..) per cui si rende necessario approfondire l'attuale quadro conoscitivo con indagini specifiche per valutare

concretamente il rischio idrogeologico indotto e la funzionalità/vita degli invasi in relazione ai fenomeni di interrimento che potrebbero essere rilevanti in alcuni settori dei futuri laghi;

- b) per quanto riguarda le opere di sbarramento con altezze inferiori a 10 m (soluzioni 4, 7), ma aventi lunghezze considerevoli (circa 500 metri) vista l'ampia sezione valliva, queste sono impostate su un substrato prevalentemente argilloso compatto, sovraconsolidato e impermeabile per raggiungere il quale è necessario asportare uno spessore di depositi alluvionali di 5-7 metri min.

Nel caso della soluzione 4 in fase di scavo si intercetteranno intercalazioni arenacee e gessose di cui è necessario approfondire le caratteristiche geologico/strutturali, geotecniche ed idrogeologiche ai fini della valutazione della tenuta del sistema di fondazione e di impermeabilizzazione e dell'invaso. Non sono presenti criticità rilevanti nell'area del bacino di invaso a meno di sporadici smottamenti superficiali e tratti in erosione accentuata che interessano localmente la rete tributaria minore.

Da queste considerazioni emerge quindi una preferenza per gli sbarramenti posti a monte del Ponte della Spineta (4 e 7) che vanno ad inserirsi in un quadro geologico-strutturale, geomorfologico e idrogeologico più ottimale rispetto alle soluzioni poste verso valle (1, 2, 3, 5, 6).

- Da un punto di vista economico lo sbarramento con altezza non superiore a 10 metri, con funzione di sghiaiatore di un più articolato e complesso sbarramento, risulta maggiormente sostenibile e permette almeno in un medio periodo di trovare volumetrie superiori al 1.5 milioni di metri cubi.
- Tra le soluzioni con altezza non superiore a 10 metri vanno privilegiate quelle non lontane dal Ponte della Spineta. Infatti, andando ancora a monte non si riducono le dimensioni dei manufatti necessari pur diminuendo, a parità di altezza, i volumi invasabili.
- Una volta effettuata una scelta sulla tipologia di invaso, sono necessarie indagini dirette ed indirette sulle sezioni di imposta individuate. Si ritiene indispensabile per proseguire nelle valutazioni tecniche, un rilievo topografico di dettaglio della sezione di imposta, una accurata campagna di indagini geologiche e geotecniche, una valutazione preliminare socio-ambientale ed una progettazione di fattibilità delle principali opere idrauliche ed accessorie al contorno dello sbarramento.