REGIONE LIGURIA
Provincia di LA SPEZIA
Comune di La Spezia

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE E REALIZZAZIONE IMPIANTO CON RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE IN LOC. SATURNIA - COMUNE DELLA SPEZIA (SP)

CIG:601404963B - CUP C48I14000040005

PROGETTO DEFINITIVO

Capogruppo Mandataria:

IG INGEGNERIA GEOTECNICA srl

Ricerca progettazione e consulenza nel campo dell'ambiente, della geologia e dell'ingegneria civile

C.so Montevecchio, 50 - 10129 Torino
Tel. (011) 5611811/fax (011) 5620568
e-mail: ig@ingegneriageotecnica.com

Ing. Valter PEISINO

I. G. INGEGNERIA GEOTECNICA s.r.l.
Dott. Ing. Valter PEISINO
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
n° 763

Geol. Fabio BRUNAMONTE

Dott. Geologo Brunamonte Fabio
Iscritto all'ORDINE DEI
GEOLOGI DEL LAZIO - N. 548

Mandanti:

ECOPLAN
SOCIETA' DI INGEGNERIA & ARCHITETTURA AMBIENTALE
10154 TORINO - Via S. Botticelli, 57
Arch. P.A. Donna Bianco
Ordine degli architetti di Torino n. 2801

Arch. Pier Augusto DONNA BIANCO

P.I. Pietro MARCELLINO - Progettazione Antincendio

Consulenti specialistici:

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

Ing. Stefano VEGGI
Ing. Manlio PACITTI

Responsabile Unico del Procedimento:

ACAM Ambiente S.p.A. - Ing. Marco FANTON

Titolo elaborato

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

n° elaborato **R.03**

Scala -

Stato		Data	Annotazioni	Redatto	Verificato	Approvato
Emissione	0	11/ 2015	EMISSIONE		Ing. Veggi	Ing. Peisino
Revisioni	1	12/ 2015	Revisione per adeguamento richieste ACAM Ambiente S.p.A.		Ing. Veggi	Ing. Peisino
	2	06/ 2016	Revisione		Ing. Veggi	Ing. Peisino

Diritti riservati ex art. 2578 C.C. - Riproduzione e consegna a terzi solo su specifica autorizzazione.

Capogruppo:

IG INGEGNERIA GEOTECNICA srl
Ricerca progettazione e consulenza nel campo dell'ambiente, della geologia e dell'ingegneria civile
C.so Montevecchio, 50 - 10129 Torino
Tel. (011) 5611811/fax (011) 5620568
e-mail: ig@ingegneriageotecnica.com

Mandanti

ECOPLAN
SOCIETA' DI INGEGNERIA & ARCHITETTURA AMBIENTALE

P.I. Pietro MARCELLINO

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI LA SPEZIA
COMUNE DI LA SPEZIA

"LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE E REALIZZAZIONE DI NUOVO IMPIANTO CON RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE IN LOC. SATURNIA - COMUNE DI LA SPEZIA"

PROGETTO DEFINITIVO

(ai sensi del D.M. 14-01-08 e s.m.i.)

PEI/LAM/gl Rel. 20830/011.2 Torino, Giugno 2016

n°	Data	§ revisionato	Motivo della revisione
00	11/2015		Emissione
01	12/2015		Adeguamento richieste ACAM Ambiente S.p.a
02	06/2016		Richiesta integrazioni Regione Liguria, Dip. Territorio - Procedura VIA, Prot. N. 2016/PG/DP69547
03			

Indice

1. PREMESSA 1
2. STORIA DEL SITO 3
2.1 Localizzazione dell'area 3
2.1 Interventi antropici e contesto amministrativo storico 5
2.2 Stato e contesto amministrativo attuale 6
3. LEGISLAZIONE VIGENTE E VINCOLI PRESENTI SUL TERRITORIO 8
3.1 Classificazione sismica 10
3.2 Piano per l'Assetto Idrogeologico 12
3.3 Vincolo Idrogeologico 14
3.4 Piano Urbanistico Comunale 15
3.5 Altri fattori limitanti per l'ubicazione dell'impianto ai sensi del D. Lgs. n. 36 del 2003 18
4. LINEAMENTI DELL'INTERVENTO IN PROGETTO 21
4.1 Aspetti generali 21
4.2 Configurazione dell'invaso di deposito 21
4.3 Argine di contenimento del corpo rifiuti 22
4.4 Impermeabilizzazione dell'invaso 23
4.5 Gestione delle acque di superficie 25
4.6 Estrazione del percolato 26
4.7 Copertura definitiva 27
4.8 Strada di accesso e opere accessorie 28
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE 31
5.1 Successione stratigrafica 36
4.2 Assetto tettonico 46
6. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO 48
6.1 Assetto morfologico 48
6.2 Ricostruzione delle trasformazioni recenti subite dall'area 57
6.3 Geologia dell'area di progetto 64
6.4 Assetto dell'ammasso roccioso 71
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE 77
7.1 Campagne anni '80 e '90 77
7.2 Campagna Febbraio 2014 78
7.3 Campagna Febbraio 2015 83
7.3.1 Sondaggi geognostici 83
7.3.2 Prove down-hole 92
7.3.3 Sezioni di sismiche a rifrazione 96
7.3.4 Sezioni geolettriche 110

7.4 Campagna integrativa per il Progetto definitivo – Ottobre 2015 114
7.5 Indagini integrative nell'ambito della Procedura di VIA – maggio 2016 117
8. IDROGEOLOGIA 121
8.1 Ricostruzione del quadro idrogeologico 121
8.2 Assetto idrogeologico dell'area di progetto 123
8.3 Circolazione idrica sotterranea 126
8.3.1 Complesso dei depositi quaternari recenti 126
8.3.2 Complesso metamorfico 129
8.3.2.1 Circolazione idrotermale 129
8.4 Monitoraggio della falda in corrispondenza dell'area di intervento 133
8.5 Inquadramento delle caratteristiche geochimiche dell'acquifero nelle quarziti 139
8.6 Analisi chimiche delle acque sotterranee nel sito 141
9. MODELLO GEOLOGICO 143
9.1 Natura e assetto dell'abbancamento di rifiuti esistente 143
9.2 Verifica dei terreni d'imposta e della presenza di percolato alla base della discarica esistente 154
9.3 Stato dell'ammasso roccioso in posto 160
9.4 Caratterizzazione dei materiali antropici e delle unità geologiche interessate dall'intervento in progetto 172
10. SISMICITA' DEL TERRITORIO 175
10.1 Normativa di riferimento 175
10.2 Inquadramento sismo-tettonico 176
10.3 Sismicità attuale e storica 178
10.4 Pericolosità sismica 180
10.5 Valutazione della risposta sismica locale 183
10.6 Zonazione sismogenerica 186
11. RIFERIMENTI 195
11.1 Quadro normativo 195
11.1.1 Ordinamento Regione Liguria 196
11.2 Riferimenti progettuali 196
11.3 Geologia e geomorfologia 196
11.4 Cartografia e riprese aerofotografiche 198
11.5 Indagini geognostiche 199
11.6 Idrogeologia 200

1. PREMESSA

La Relazione descrive l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area e del settore significativo circostante interessato dal Progetto Definitivo di "Messa in sicurezza permanente" e contemporanea riqualificazione ambientale del sito Saturnia, nel Comune della Spezia, mediante realizzazione di nuovo impianto di "Discarica per rifiuti speciali non pericolosi" (classificazione ai sensi del D.Lgs. 36/03).

L'elaborato intende fornire un quadro di riferimento, per quanto concerne suolo, sottosuolo e ambiente idrico sotterraneo, adeguato al tipo di intervento previsto e alle caratteristiche dell'ambiente fisico interessato.

Lo studio ha comportato l'elaborazione integrata e multidisciplinare del complesso degli elementi e dei dati ricavati attraverso:

- ✓ l'acquisizione della bibliografia geologica e tecnica relativa all'area;
- ✓ la consultazione dei siti e delle banche dati relative agli Enti di ricerca e territoriali preposti all'assetto del territorio (ISPRA – Roma, ex APAT, in cui è confluito l'ex Servizio Geologico d'Italia; Regione Liguria – Progetto CARG, Nuova cartografia geologica d'Italia; Progetto IFFI – Inventario dei fenomeni franosi; Società Geologica Italiana – Centro di Documentazione, ecc.);
- ✓ l'esame della documentazione tecnico-amministrativa prodotta nell'ambito dello sviluppo dei progetti proposti nel sito e nelle aree limitrofe;
- ✓ l'analisi di riprese aeree rilevate a diversa scala e in diversi periodi di tempo;
- ✓ la consultazione degli strumenti urbanistici;
- ✓ la revisione critica delle indagini geognostiche condotte in varie fasi e per diversi scopi nell'area, e la loro re-interpretazione congiunta per una definizione preliminare dell'assetto del sito;
- ✓ la ricostruzione di un modello geologico-tecnico e idrogeologico complessivo del volume di sottosuolo di interesse per l'opera e gli interventi di sistemazione necessari per la messa in sicurezza permanente e l'impianto di una nuova discarica.

Studi e indagini sono stati condotti in ottemperanza a quanto previsto nella normativa enunciata con i D.M. 11/03/1988 e relativa Circolare n. 30483 del 24 settembre 1988 (per quanto non sostituito dal D.M. 14/01/2008), D.M. 14/01/2008 con relativa del Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici n. 617 del 02/02/09, Eurocodice 8 del 1998, Eurocodice 7.1 del 1997, Eurocodice 7.2 del 2002 ed Eurocodice 7.3 del 2002, con l'obiettivo di definire le

caratteristiche stratigrafiche dei terreni ed il modello geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del volume di sottosuolo significativo per l'intervento in progetto.

A seguito dell'avvio della Procedura di VIA il Dipartimento Territorio – Settore Valutazione mpatto ambientale ha formulato (Prot. n. 2016/PG/DP69547 del 05/04/2016) una richiesta di integrazioni e approfondimenti volti ad una più precisa definizione dell'assetto territoriale e del sottosuolo del sito di intervento. E'stata quindi condotta una campagna d'indagine integrativa, comprendente sondaggi e campionamenti di tipo geotecnico e ambientali, rilievi geofisici, prove geotecniche e chimico-ambientali di laboratorio, unitamente alla prosecuzione ed estensione dei rilievi piezometrici già in corso. La Relazione, unitamente ai Rapporti e alle Tavole attinenti (elab. R04 rev 02, D.02.01 ÷ D.02.10), fornisce il quadro conoscitivo aggiornato dell'assetto del sito per gli aspetti geologici e idrogeologici, unitamente al Modello geologico complessivo illustrato per mezzo di una serie di Profili di dettaglo elaborati in corrispondenza dei settori maggiormente significativi dell'area di progetto.

2. STORIA DEL SITO

2.1 Localizzazione dell'area

L'area interessata dall'intervento è posta nel settore orientale del territorio comunale di La Spezia, in località Saturnia (Figg. 2.1÷2.2a). Il sito è compreso nell'ambito di un modesto impluvio orientato NE–SO modellato nel blando rilievo collinare costituente il tratto iniziale del promontorio orientale del golfo di La Spezia. Verso valle (SO) l'impluvio confluisce nella vallecola del Rio Pagliari, defluente nell'insieme da SE verso NO, e sfociante a mare dopo un percorso di circa 1 km in corrispondenza del pontile Enel per l'attracco delle navi carboniere. Sul lato opposto (NE) la dorsale collinare degrada con pendenze limitate verso la piana interna, bonificata nella seconda metà dell'Ottocento ed attualmente occupata dall'area industriale.

L'assetto attuale della zona in esame si presenta pesantemente rimodellato dagli interventi antropici condotti in varie fasi nella seconda metà del Novecento (Fig. 2b).

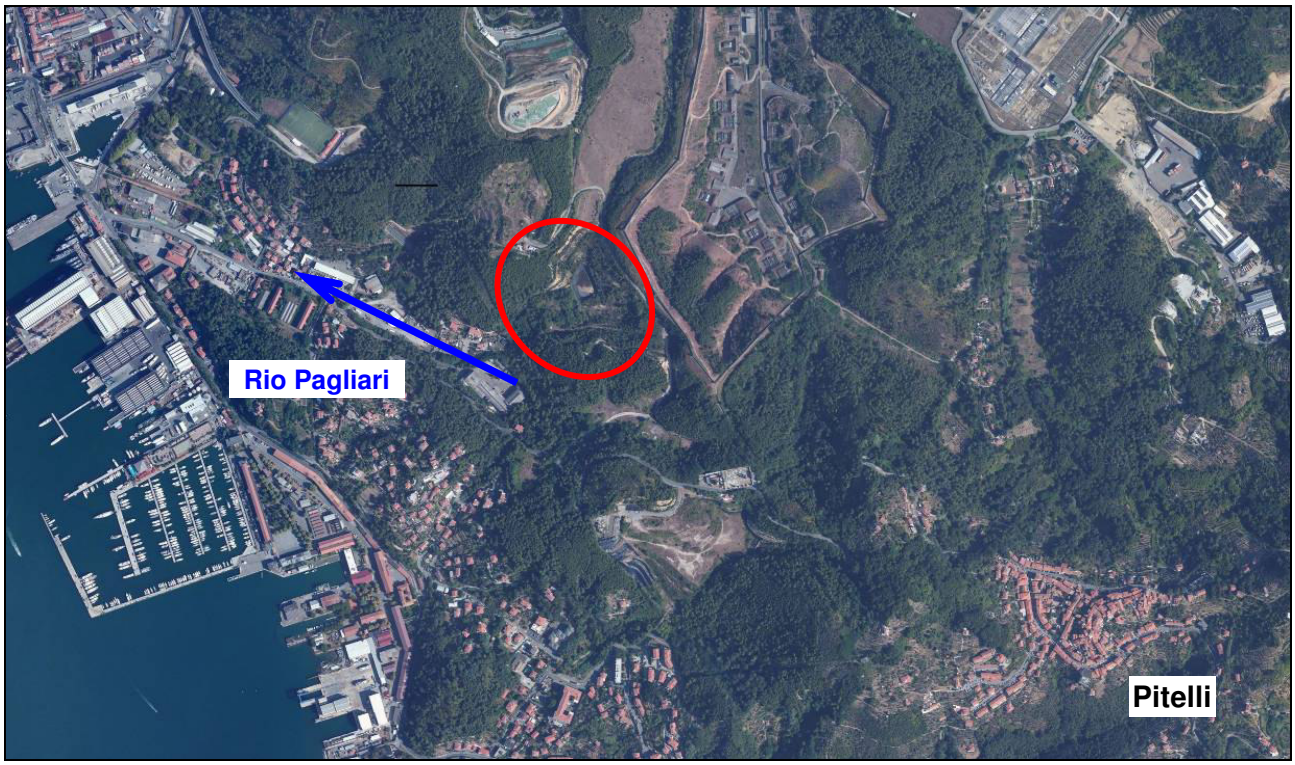


Figura 2.1 – Ubicazione su ortofoto dell'area di progetto (indicata dal circolo rosso).

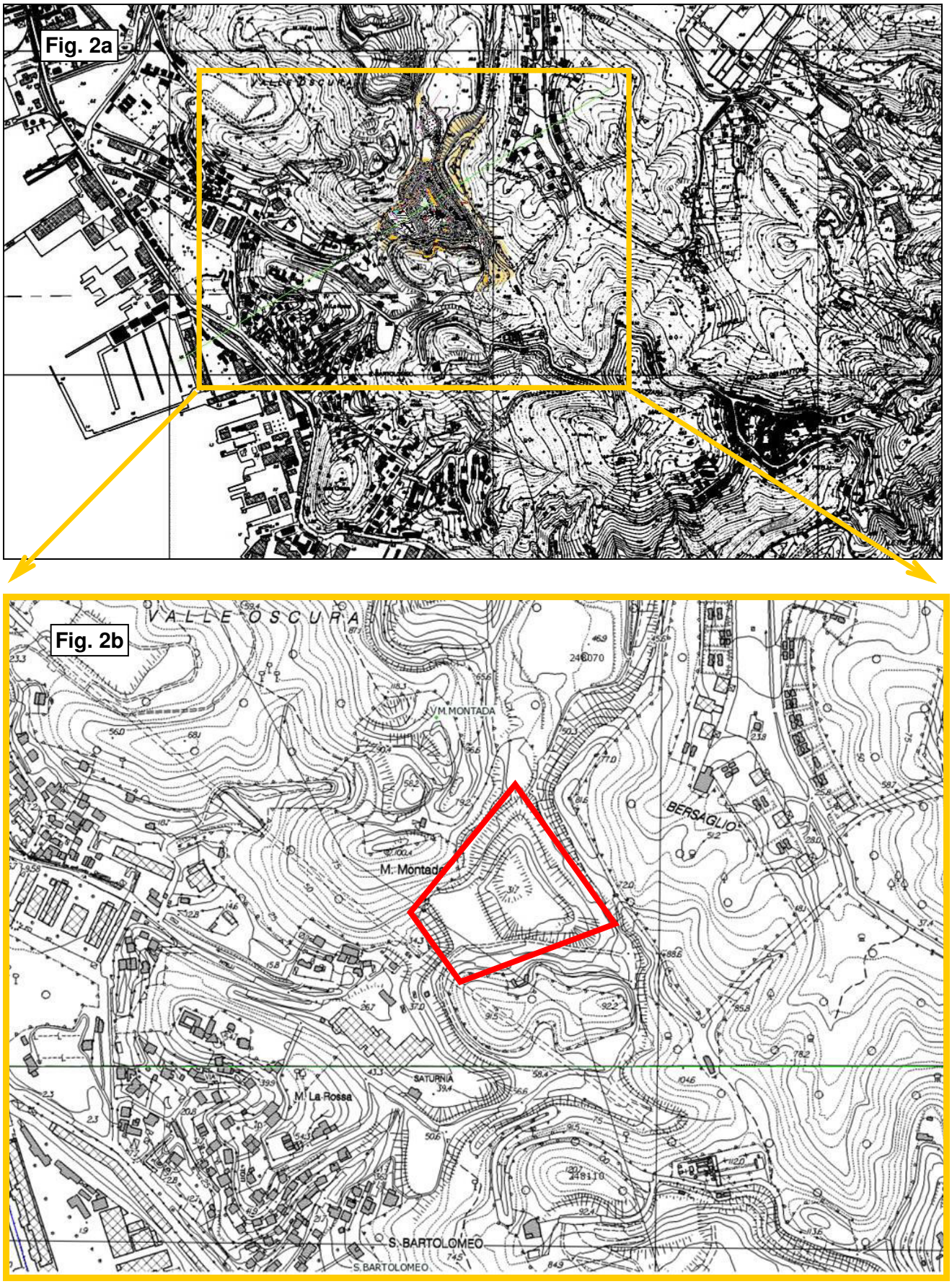


Figura 2.2 – Ubicazione dell'area di progetto (perimetro indicativo in colore rosso) sulla Carta Tecnica Regionale (edizione 2007).

In corrispondenza dell'impronta dell'impianto è presente un ampio e profondo sbancamento realizzato nella metà degli anni Ottanta per l'insediamento di un discarica per RSU, mentre altre aree di discarica esaurite o in fase di completamento sono presenti nell'ambito della dorsale.

Al piede del versante occidentale si sviluppa, con un percorso completamente in galleria, il Raccordo autostradale La Spezia – Lerici.

Lo stesso alveo del Rio Pagliari risulta canalizzato, e per ampi tratti tombinato, per consentire la realizzazione di edifici residenziali e produttivi all'interno della piccola piana di fondovalle estesa sino al litorale

2.1 Interventi antropici e contesto amministrativo storico

Il sito in esame, costituito morfologicamente da un piccolo impluvio disposto trasversalmente rispetto alla dorsale collinare, è stato interessato nella seconda metà degli anni Ottanta dall'attivazione di una piccola discarica per rifiuti solidi urbani (D.R.I. Pagliari, 2014), realizzata in regime di emergenza sanitaria, con ordinanza sindacale ex art. 12 dell'allora vigente D.P.R. n. 915/82.

Nel febbraio 1988, la Pretura Unificata della Spezia emanò una specifica ordinanza prescrittiva con la quale imponeva l'esecuzione di tutta una serie di interventi volti ad eliminare le criticità evidenziate nel confinamento del deposito. La loro realizzazione vide il controllo diretto da parte degli Enti di Controllo, a ciò deputati e specificatamente incaricati, in qualità di Ufficiali giudiziari da parte dell'ordinante Pretura Unificata. Il presupposto della conclusione della realizzazione degli interventi sopradescritti è stato alla base della assentibilità alla autorizzazione di un nuovo impianto, planimetricamente sovrapposto e sviluppato anche nella porzione a monte del piccolo deposito originario.

Il progetto della discarica per rifiuti speciali (compresi secondo la normativa attuale nei rifiuti non pericolosi), relativo agli anni Novanta, era presentabile in quanto previsione dell'allora programmazione territoriale, così come inserita nel Piano regionale di organizzazione dei servizi di smaltimento, e fu con tali presupposti commissionato dalla soc. DE.PE.TI. Srl all'epoca proprietaria dell'intera area, alla Eptaconsult Scrl di La Spezia ed allo Studio Tecnico Garassino-Ronchi di Alassio (SV). Gli elaborati tecnici e le integrazioni richieste in corso di procedura furono presentate dalla citata Società proponente alla Regione Liguria nel 1989; il progetto fu approvato dalla Giunta Regionale con Delibera n. 5490 del dicembre 1990.

La delibera approvava la costruzione di un impianto di discarica per una volumetria complessiva di 900.000 m³, da coltivarsi con il conferimento di ceneri di carbone provenienti dalle

centrali termoelettriche e da un limitato quantitativo di terre, che miscelate alle prime, non dovevano compromettere le caratteristiche geotecniche dell'angolo di attrito del corpo rifiuti, che sarebbe dovuto essere sempre superiore o uguale ai 30°.

Con un primo atto di autorizzazione alla gestione dell'impianto (Delibera Regionale n. 3944 del 14 agosto 1992), si ebbe il conferimento di circa 50.000 m³ di ceneri di carbone, provenienti dalle attività di produzione di energia elettrica della Centrale Enel di Vado Ligure (SV). Tale cumulo costituisce l'attuale corpo del rilevato posto al margine anteriore dell'invaso.

Con delibera regionale del 23 luglio 1993 fu volturata l'autorizzazione originaria (Delibera n. 5490 del 7 dicembre 1990 in capo alla DE.PE.TI. Srl) alla D.R.I. Pagliari Srl, attuale proprietaria dell'area. Dopo una prima fase di deposito delle ceneri nel periodo seconda metà 1992 – primo semestre 1993, non se ne ebbero altre, in quanto l'utilizzo della discarica fu limitato dalle Amministrazioni locali all'accoglimento delle ceneri della Centrale Enel di La Spezia, accumulate nei bacini di lagunaggio. L'Enel, tuttavia, non conferì tali ceneri e la discarica rimase inutilizzata.

A seguito di ciò fu realizzato il capping superiore di chiusura del cumulo di ceneri già conferite. Tale zona allo stato attuale si presenta vegetata. Nel corso degli anni 1997-98, si ebbe una parziale e diversa predisposizione dell'invaso, in previsione di destinarlo ad accogliere i rifiuti urbani delle amministrazioni locali, visto il perdurare dell'allora emergenza rifiuti, ma contrariamente a quanto atteso, si ebbe l'apertura di un nuovo sito di stoccaggio rifiuti, in regime di Ordinanza Sindacale ex art. 12 del D.P.R. n. 915/82, ubicato nell'adiacente località di Monte Montada. Da quella data in poi l'impianto di Saturnia non fu più interessato da attività di alcun tipo, se non quelle di normale manutenzione del perimetro e delle sue superfici esposte.

2.2 Stato e contesto amministrativo attuale

Il sito è stato inserito nel perimetro del SIN di Pitelli con la Legge n. 426 del 9 dicembre 1998, in seguito con deliberazione della Giunta Regionale n. 451 del 19 aprile 2013 è stato declassato a sito di competenza regionale. Prima di tale data, l'areale risultava sottoposto alla giurisdizione ministeriale.

Nel 2011 il Ministero, a conclusione della Conferenza dei Servizi deliberante, prescriveva come ultimo atto alla D.R.I. Pagliari Srl di procedere a: "*presentare il piano di caratterizzazione delle parti della discarica non interessate dal sistema di impermeabilizzazione di fondo, con esclusione delle pareti che sono molto acclivi*" (Ministero dell'Ambiente prot. 9205/TRI/DI del 23 marzo 2011).

Ottenuta la necessaria autorizzazione Paesaggistica (n. 92408 del 8 ottobre 2012) la società D.R.I. Pagliari Srl eseguiva la pulizia interna del sito e contemporaneamente presentava il Piano di

Caratterizzazione del sito ai sensi del D.Lgs. n. 152/2006 agli Enti competenti. La Regione Liguria, acquisiti gli atti con prot. PG 117249 del 17 luglio 2013, procedeva quindi all'approvazione in Conferenza dei Servizi decisoria con decreto n. 369 del 30 ottobre 2013, notificando detta approvazione alla società D.R.I. Pagliari Srl in data 12 novembre 2013.

Conseguite tutte le autorizzazioni per operare sul sito, sono state avviate le indagini di caratterizzazione, e alla loro conclusione si è proceduto all'elaborazione della Relazione finale sugli esiti del Piano di caratterizzazione (D.R.I., Maggio 2014). I risultati ottenuti con la caratterizzazione chimico-ambientale del sottosuolo e della matrice idrica sotterranea, evidenziano che il sito non presenta segni di contaminazione. L'area, quindi, può essere esclusa dalla perimetrazione dell'ex SIN Pitelli in quanto non necessita di interventi di bonifica, e di conseguenza, restituita alle forme di utilizzo pregresse.

3. LEGISLAZIONE VIGENTE E VINCOLI PRESENTI SUL TERRITORIO

Il provvedimento normativo specifico di riferimento che stabilisce i requisiti geologici, geomorfologici ed idrogeologici dei siti da destinare agli impianti per lo smaltimento di rifiuti è rappresentato dal D. Lgs. n. 36 del 13/01/2003 "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti" (con smi sino al Testo aggiornato alla Finanziaria 2007).

Dopo aver richiamato i passi maggiormente significativi del D. Lgs. n. 36 nei confronti dei criteri geologici di ubicazione degli impianti, nei *par*. seguenti è esaminato il sistema dei vincoli territoriali vigente sull'area di inetrevnto.

DECRETO LEGISLATIVO 13 GENNAIO 2003, N. 36

…..

Articolo 8 (Domanda di autorizzazione)

1. *La domanda di autorizzazione per la costruzione e l'esercizio di una discarica è presentata ai sensi degli articoli 27 e 28 del decreto legislativo n. 22 del 1997, e successive modificazioni, completa di tutte le informazioni richieste dagli articoli medesimi e deve altresì contenere almeno i seguenti dati e informazioni*:

…..

d) *la descrizione del sito, ivi comprese le caratteristiche idrogeologiche, geologiche e geotecniche, corredata da un rilevamento geologico di dettaglio e da una dettagliata indagine stratigrafica eseguita con prelievo di campioni e relative prove di laboratorio con riferimento al D.M. 11 marzo 1988 (e al successivo D. M. 14/01/1988);*

Articolo 9 (Condizioni per il rilascio dell'autorizzazione delle discariche)

…..

g) *il richiedente si impegni ad eseguire preliminarmente all'avviamento dell'impianto una campagna di monitoraggio delle acque sotterranee conformemente a quanto previsto all'allegato 2*.

Allegato 2

Criteri costruttivi e gestionali degli impianti di discarica

2. Impianti per rifiuti non pericolosi e per rifiuti pericolosi

2.1. Ubicazione

…..

Gli impianti non vanno ubicati di norma:

- in aree interessate da fenomeni quali faglie attive, aree a rischio sismico di 1a categoria così come classificate dalla legge 2 febbraio 1974, n. 64, e provvedimenti attuativi, e aree interessate

da attività vulcanica, ivi compresi i campi solfatarici, che per frequenza ed intensità potrebbero pregiudicare l'isolamento dei rifiuti;

- in corrispondenza di doline, inghiottitoi o altre forme di carsismo superficiale;

- in aree dove i processi geologici superficiali quali l'erosione accelerata, le frane, l'instabilità dei pendii, le migrazioni degli alvei fluviali potrebbero compromettere l'integrità della discarica e delle opere ad essa connesse;

- in aree soggette ad attività di tipo idrotermale;

- in aree esondabili, instabili e alluvionabili; dove al riguardo deve essere presa come riferimento la piena con tempo di ritorno minimo pari a 200 anni. Le Regioni definiscono eventuali modifiche al valore da adottare per il tempo di ritorno sopra riportato in accordo con l'autorità di bacino laddove costituita.

Con provvedimento motivato le Regioni possono autorizzare la realizzazione di discariche per rifiuti non pericolosi nei siti sopradescritti.

…..

2.4.2. Barriera geologica

Il substrato della base e dei fianchi della discarica deve consistere in una formazione geologica naturale che risponda a requisiti di permeabilità e spessore almeno equivalente a quello risultante dai seguenti criteri:

- discarica per rifiuti non pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e s ≥ 1 m;

- discarica per rifiuti pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e s ≥ 5 m.

La continuità e le caratteristiche di permeabilità della barriera geologica su tutta l'area interessata dalla discarica devono essere opportunamente accertate mediante indagini e perforazioni geognostiche.

La barriera geologica, qualora non soddisfi naturalmente le condizioni di cui sopra, può essere completata artificialmente attraverso un sistema barriera di confinamento opportunamente realizzato che fornisca una protezione equivalente.

Per tutti gli impianti deve essere prevista l'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti con un rivestimento di materiale artificiale posto al di sopra della barriera geologica, su uno strato di materiale minerale compattato.

Tale rivestimento deve avere caratteristiche idonee a resistere alle sollecitazioni chimiche e meccaniche presenti nella discarica.

Il piano di imposta dello strato inferiore della barriera di confinamento deve essere posto al di sopra del tetto dell'acquifero confinato con un franco di almeno 1,5 m, nel caso di acquifero non confinato, al di sopra della quota di massima escursione della falda con un franco di almeno 2 m.

2.7. Stabilità

Nella fase di caratterizzazione del sito è necessario accertarsi a mezzo di specifiche indagini e prove geotecniche che il substrato geologico, in considerazione della morfologia della discarica e dei carichi previsti nonché delle condizioni operative, non vada soggetto a cedimenti tali da danneggiare i sistemi di protezione ambientale della discarica.

Inoltre deve essere verificata in corso d'opera la stabilità del fronte dei rifiuti scaricati, come al successivo punto 2.10, e la stabilità dell'insieme terreno di fondazione-discarica con particolare riferimento alla stabilità dei pendii ai sensi del decreto del Ministro dei lavori pubblici in data 11

marzo 1988, pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 127 del 1° giugno 1988 (successivamente integrato con il D.M. 14/01/2008 e relativa Circ. n. 617 d el 2009, tenendo conto dei normali assestamenti dovuti alla degradazione dei rifiuti.

….."

3.1 Classificazione sismica

Nell'ambito dell'intero territorio nazionale la classificazione sismica attribuisce i parametri di riferimento relativamente all'azione sismica da prendere in considerazione nella progettazione delle opere. La precedente classificazione emessa dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in vigore sino al marzo 2003, prevedeva la suddivisione del territorio in 3 "Categorie" con diverso grado di sismicità, oltre ad un'altra categoria cosiddetta non classificata per la mancanza di elementi conoscitivi sufficienti. L'unità territoriale minima era costituita dall'intero territorio comunale, a cui quindi veniva attribuita un'unica Categoria.

Nel 2003 un aggiornamento generale della normativa è stato operato con l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica." L'Ordinanza contiene anche un significativo aggiornamento della classificazione sismica del territorio, basata sull'introduzione di 4 "Zone" caratterizzate da diversi valori di accelerazione massima attesa al suolo.

Basata su questo nuovo approccio, l'attuale classificazione sismica del territorio deriva dai successivi disposti normativi emanati a livello nazionale e regionale, mentre le procedure per la definizione del ruolo dell'azione sismica sono inquadrate nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008). A seguito della definitiva entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 (1 Luglio 2009) la Regione Liguria provvedeva all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio e al recepimento delle procedure di elaborazione prescritte con le nuove NTC, con l'emanazione della Delibera Giunta Regionale n. 1308 del 24/10/2008 e, successivamente, della Delibera Giunta Regionale n. 1362 del 19/011/2010 (D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria).

L'intervento ricade interamente nel territorio comunale di La Spezia inserito, sulla base dei "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone", tra le aree "a bassa sismicità" classificate, secondo la DGR n. 1308/2008 nella Zona 3 – sottozona 3A, e successivamente con la DGR n. 1362/2010 nella zona 3.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone

sismiche, delineate secondo lo schema di Tab. 3.1, sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g), registrata su un suolo di riferimento rigido e con morfologia pianeggiante, che ha una probabilità del 10 % di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	*Fenomeni riscontrati*	*Accelerazione con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni*
1	Zona con pericolosità sismica **alta**. Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	ag ≥ 0,25 g
2	Zona con pericolosità sismica **media**, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	0,15 ≤ ag < 0,25 g
3	Zona con pericolosità sismica **bassa**, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	0,05 ≤ ag < 0,15 g
4	Zona con pericolosità sismica **molto bassa**. E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	ag < 0,05 g

Tabella 3.1 – Definizione delle zone sismiche sulla base dell'accelerazione orizzontale massima ag, attesa su un suolo di riferimento rigido e con superficie topografica pianeggiante, con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni.

L'entrata in vigore delle nuove NTC comporta anche una sostanziale innovazione nelle modalità della stima della pericolosità sismica, definita non più mediante un criterio "zona dipendente", ma attraverso un approccio "sito dipendente". Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende quindi necessario valutare a livello puntuale, in funzione della precisa localizzazione del sito, la possibile sollecitazione sismica unitamente agli effetti della risposta sismica locale per mezzo di specifiche analisi sull'assetto del volume di sottosuolo significativo e la caratterizzazione sismica dei terreni presenti.

Per la corretta definizione di tali aspetti sono stati condotti specifiche indagini geofisiche in sito, descritte nei *Capp*. 7.3 e 7.5. La definizione degli elementi per la valutazione dell'azione sismica di progetto per l'intervento in esame viene illustrata nel *Cap*. 10 della presente Relazione.

3.2 Piano per l'Assetto Idrogeologico

La Provincia della Spezia ha redatto ed approvato con delibera di Consiglio Provinciale n. 34 del 31/03/2003 il Piano di Bacino relativo all'Ambito 20 - Golfo della Spezia che comprende i comuni di La Spezia, Lerici, Portovenere, Arcola in parte, ed Ameglia.

Nella cartografia di Piano l'area interessata dalla realizzazione del Progetto si localizza all'interno della categoria "Classe speciale: cave, discariche e grossi riporti" (Fig. 3.1). Per questa classe le Norme di attuazione del Piano di Bacino indicano:

"Qualora, inoltre, nella Carta di suscettività al dissesto siano individuate classi speciali, quali cave abbandonate, discariche dismesse nonché riporti, la Provincia applica, con valutazione da effettuare caso per caso, la normativa di riferimento, di cui al Presente Piano, in considerazione degli effetti che le stesse producono sul territorio in termini di suscettività al dissesto."

I settori limitrofi all'area inserita nella Classe speciale sono compresi, principalmente in base all'acclività del pendio, nella classe a bassa suscettività al dissesto sul versante NE del rilievo collinare e a media suscettività al dissesto in corrispondenza del versante SO. Il fondovalle del Rio Pagliari è inserito, nella porzione orientale, nelle aree a bassa suscettività al dissesto, mentre la parte occidentale è compresa nelle aree a suscettività molto bassa.

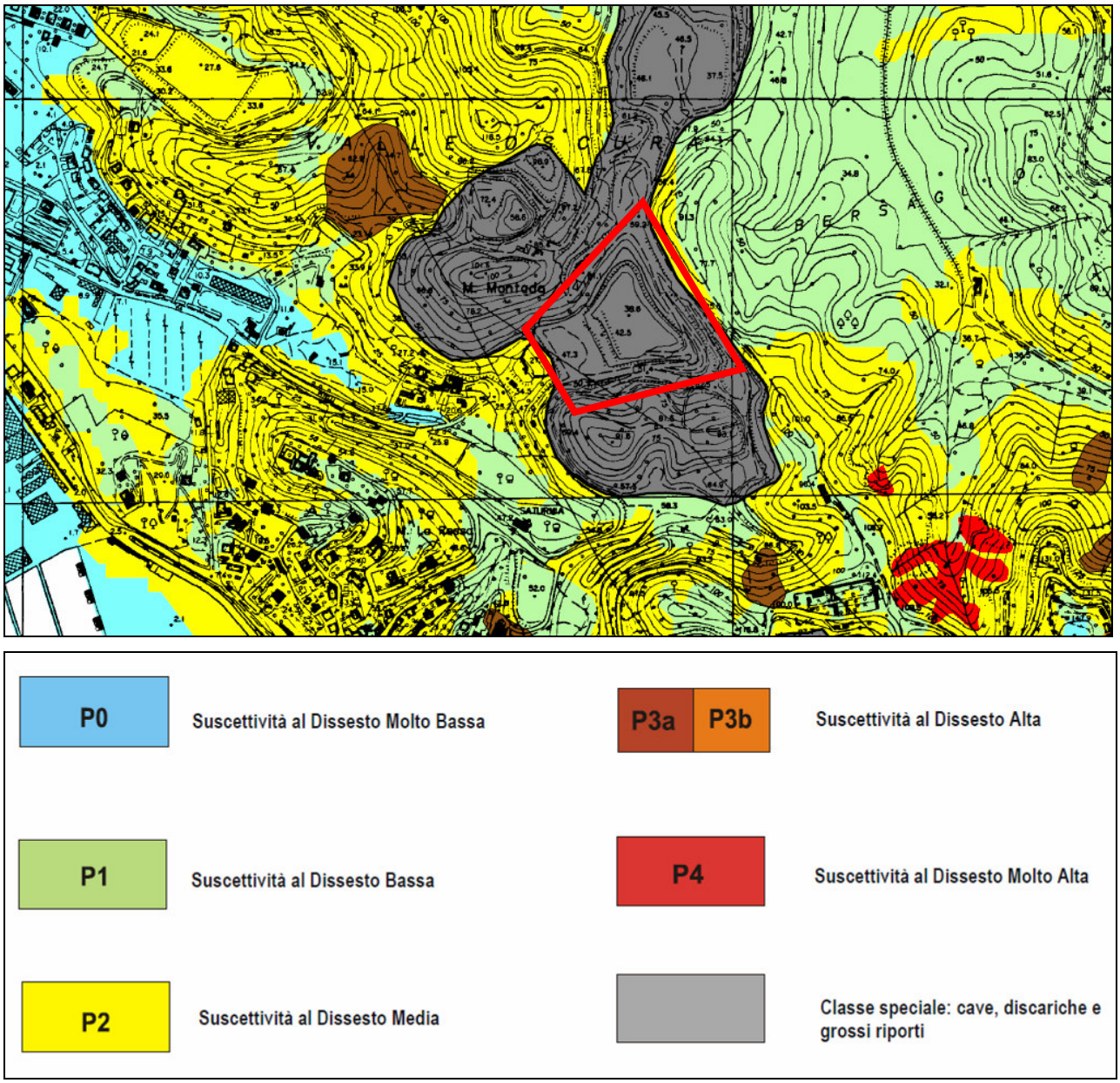


Figura 3.1 – Estratto dalla cartografia del Piano di Bacino relativo all'Ambito 20 – Golfo di La Spezia, Tavola 10 "Carta della suscettività al dissesto dei versanti". In colore rosso è indicato il perimetro indicativo dell'area di intervento.

3.3 Vincolo Idrogeologico

E' stata verificata la delimitazione delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. n. 3267 del 30/12/1923 e della Legge Regione Liguria n. 4 del 22/01/1999, insieme alle successive modifiche e integrazioni.

L'esame della documentazione disponibile nel SIT del Comune di La Spezia, ha confermato che il sito in esame **non si localizza** all'interno delle aree attualmente soggette a Vincolo Idrogeologico (Fig. 3.2).

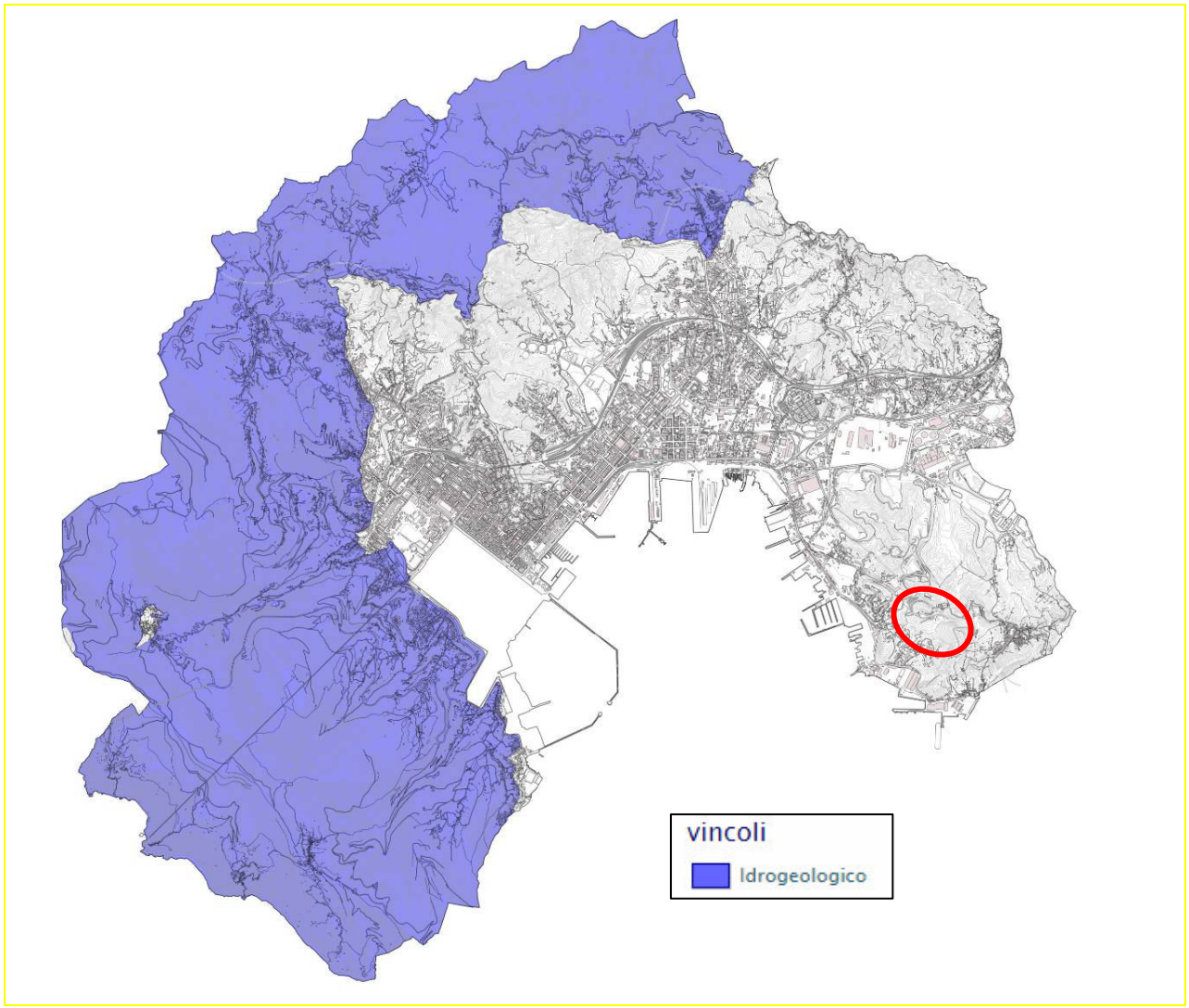


Figura 3.2 – Delimitazione delle aree soggette a vincolo idrogeologico nel Comune di La Spezia con evidenziata in rosso l'area di progetto (fonte: http://sit.spezianet.it/puc).

3.4 Piano Urbanistico Comunale

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione vigenti a livello comunale il Comune di La Spezia è dotato di Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.). Il P.U.C. in vigore dal 17/01/2007 (Del. C.C. n. 21 del 21/09/2006) è stato aggiornato con le successive con varianti approvate, rispettivamente, con Del. C.C. n. 35 del 10/10/2011 e con Del. C.C. n. 22 del 26/03/2012.

Tra la documentazione a supporto della classificazione d'uso del territorio, la "Carta di zonizzazione e di suscettibilità d'uso del territorio" suddivide la superficie comunale in classi di utilizzo, a loro volta raggruppanti aree omogenee per caratteristiche e problematiche geologico-tecniche. Il territorio comunale è stato suddiviso in tre tipologie di suscettibilità d'uso: ampia, condizionata, limitata, ad ognuna delle quali corrisponde un livello di pericolosità crescente. Sulla base del quadro geologico-geomorfologico individuato dal P.U.C., l'area in esame (Fig. 3.3) risulta compresa nelle zone caratterizzate da:

- Suscettibilità d'uso: Condizionata
- Pericolosità: media
- Classe: C2
- Caratteristiche: A3

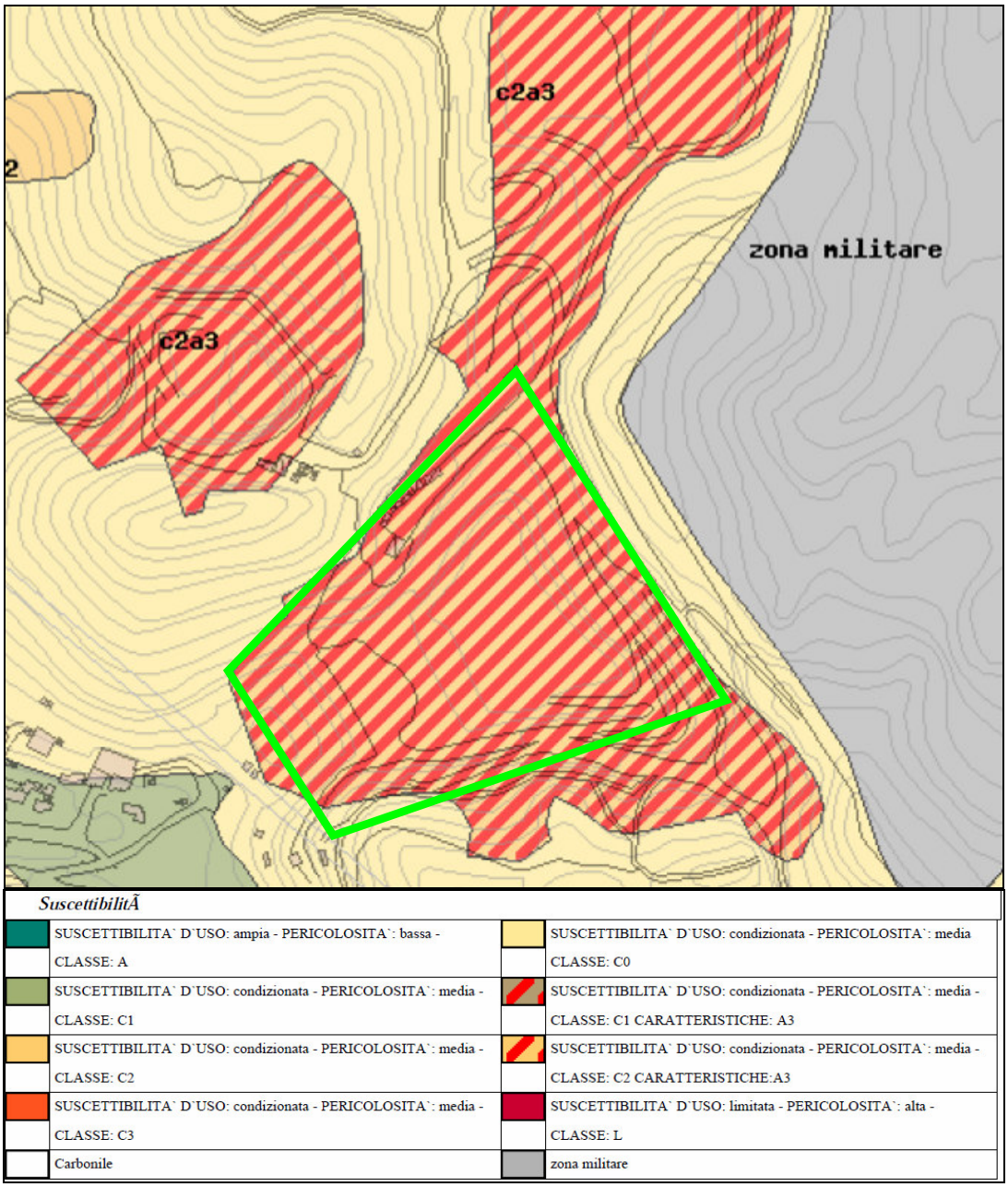


Figura 3.3 – Stralcio della Carta della suscettività d'uso del territorio del comune di La Spezia (http://sit.spezianet.it/gisclient/template/spezianet/?mapset=suscettibilita&). In colore verde il perimetro schematizzato dell'area di intervento.

In base alle "Norme geologiche di attuazione" del PUC (http://urbanistica.spezianet.it/piano-urbanistico-comunale/normative/norme-geologiche-di-attuazione/1-normativa-geologica-di-attuazione) l'area di Progetto è sottoposta alle seguenti vincolistiche di carattere idrogeologico:

Suscettibilità d'uso: Condizionata

Comprende zone a cui è stato assegnato un livello di pericolosità medio, dove sono presenti situazioni geologico-tecniche affette da fenomeni di instabilità superficiale, o apparentemente

stabili sulle quali però permangono dubbi, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia. In taluni casi, pur non essendo presenti fenomeni attivi, le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito sono tali da ritenere che esso si trovi al limite dell'equilibrio. In queste zone ogni intervento edilizio è vincolato all'esecuzione di indagini di approfondimento, che dovranno essere condotte a livello di area complessiva. In taluni casi, in aree ricadenti in classi di suscettibilità d'uso C2 e C3, sono da prevedersi interventi di bonifica e miglioramento dei terreni e/o l'adozione di tecniche fondazionali di un certo impegno tecnico ed economico.

Per quanto sopra sono richieste indagini di dettaglio condotte a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di Strumenti Urbanistici Attuativi che nel caso di intervento diretto. L'esecuzione di quanto previsto dai risultati di tali indagini in termini di interventi di bonifica, miglioramento dei terreni e/o tecniche fondazionali particolari costituisce un vincolo specifico per il rilascio della concessione edilizia. Comunque sulla base della tipologia di intervento in zone ricadenti in "Aree con suscettibilità condizionata " sono di seguito indicati i "modi" di indagine prescritti.

Classe: C 2

Aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-alta difficoltà ed onerosità, previo accertamento preliminare dell'effettiva compatibilità generale (C2).

Corrispondono a porzioni di territorio con una pericolosità medio-alta, anche per opere di modesta entità, che può essere superata solo con interventi di medio–alta difficoltà ed onerosità. Le opere ed i suddetti interventi non dovranno, in alcun modo, incidere negativamente sulle aree limitrofe, ne condizionarne la propensione all'edificabilità. In alcuni casi le opere e/o gli interventi dovranno essere preceduti da un accertamento preliminare dell'effettiva compatibilità generale.

-omissis-

TIPO IVb: ogni altro intervento modificatorio e ogni altra costruzione edilizia di qualsiasi destinazione e fruizione, i quali comportino scavi e sbancamenti, o riporti, o strutture murarie di sostegno, o scarpate libere, o volumi edilizi eccedenti i limiti considerati nei punti precedenti.

MODO 5/b: in relazione alle diverse fasi, nel modo 5/b, dovrà essere fornito:

- nella fase di progetto: relazione geologica e geologico-tecnica esecutiva di 3° livello;
- nella fase di realizzazione: relazione geologica-tecnica esecutiva ed eventuale campagna integrativa di indagini geognostiche di tipo "completo";
- nella fase di fine lavori, collaudo e consegna: relazione geologica di fine lavori e collaudo.

3.5 Altri fattori limitanti per l'ubicazione dell'impianto ai sensi del D. Lgs. n. 36 del 2003

Faglie attive

La consultazione delle Normative, degli strumenti di pianificazione territoriali, dei data-base scientifici specializzati (INGV-DISS 3.2.0, ecc.), della cartografia e degli studi geologici recenti (Progetto CARG, ecc.) non ha rilevato la presenza di faglie attive documentate in corrispondenza dell'area di intervento e del suo intorno significativo. L'analisi dello stato di attività delle strutture tettoniche presenti nell'intorno del sito e potenzialmente in grado di interferire con esso è svolta nel *Cap*. 10.

Aree a rischio sismico elevato

L'impianto localizzato interamente nel territorio di La Spezia ricade, a fini della pericolosità sismica, nella zona 3 classificata come a bassa pericolosità (si veda Cap. 10), non interessa quindi aree a rischio sismico elevato (in zona 1 secondo la Normativa introdotta con l' OPCM n. 3274/2003, categoria 1 secondo la Normativa precedente).

Attività vulcanica

Nel territorio di La Spezia non è segnalata la presenza di attività vulcanica, né di fenomeni post- e/o epi-vulcanici quali attività di fumarole, campi solfatarici, ecc.

Carsismo

Il rilievo dell'intera dorsale collinare M. Valdilocchi – M. Montada in cui si localizza l'area di progetto è impostato nell'unità delle "quarziti e filladi" compresa nella successione metamorfica del Gruppo del Verrucano. Non sono presenti, quindi, né affioramenti di rocce carbonatiche, né forme di modellamento epigeo o ipogeo tipiche dell'ambiente carsico. La stessa verifica del Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico elaborato a cura del Dipartimento per la Pianificazione Territoriale della Regione, per quanto riguarda la Sezione "Individuazione delle principali aree carsiche" – Schede descrittive redatte ai sensi della Legge Regione Liguria n.14 del 03/04/1990 art. 4 (D.C.R. n. 6 del 26 febbraio 1990) ha dato esito del tutto negativo.

L'areale non interessa, direttamente o indirettamente, porzioni di territorio carsificato e non rientra negli ambiti tutelati dalla Legge Regione Liguria n.14 del 03/04/1990.

Dissesti dovuti all'azione delle acque superficiali e alla gravità

L'analisi geomorfologica svolta per mezzo di rilievi puntuali sul terreno, analisi fotogeologica di riprese aeree multi-scala e multi-temporali, l'esame degli studi territoriali sui fenomeni di dissesto e della documentazione d'archivio, non ha individuato evidenze o segnalazioni di fenomeni di instabilità verificatesi o potenziali. Gli studi e la cartografia elaborate a supporto del Piano Urbanistico Comunale non riportano fenomeni d'erosione accelerata dovuti all'azione delle acque superficiali, processi morfogenetici di elevata intensità, né fenomeni d'instabilità gravitativa in atto o potenziali in corrispondenza dell'area di interventoe del suo intorno significativo.

Risultati analoghi sono stati ottenuti dall'esame retrospettivo della storia del sito a partire dalla sua individuazione (metà anni Ottanta) sino alla recente conclusione del Piano di caratterizzazione (2014). In questo intervallo temporale si sono verificati vari eventi meteo-idrologici di elevata severita, tra cui il massimo valore di precipitazione annua dell'intero periodo 1921-2015 (anno 2010: altezza di pioggia annua = 1843,8 mm). Ciononostante, non sono stati segnalati dissesti, né i rilevamenti sul terreno hanno riscontrato evidenze di fenomeni di instabilità in atto o di potenziale mobilizzazione.

Lo stesso esame degli sbancamenti esistenti, realizzati alla metà degli anni Ottanta, ha permesso di riconoscere soltanto modesti e occasionali fenomeni di ruscellamento a seguito degli eventi meteorologici di maggiore intensità lungo le scarpate. I sopralluoghi sono stati ripetuti periodicamente nel periodo aprile 2015 – giugno 2016 (comprensivo dell'ultimo evento di intensa precipitazione – 03/06/2016), senza rilevare comunque fenomeni di dissesto in atto o potenziali.

Dinamica fluviale

In corrispondenza dell'area di progetto e del suo intorno significativo non è presente alcun corso d'acqua, né permanente né a regime di deflusso effimero, la cui evoluzione anche a seguito di eventi meteo-idrologici di particolare severità possa interferire con l'impianto e le sue strutture di servizio.

Aree esondabili

Per la sua posizione plano-altimetrica, ubicata alla sommità della dorsale collinare, il sito non può essere interessato, né in modo diretto né indirettamente, da eventuali fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua secondari e/o della rete di canali artificiali presenti nelle piane circostanti il rilievo, poste in prossimità del livello del mare. L'unica asta drenante nell'intorno del

sito è rappresentata dal Rio Pagliari, la cui vallecola si dispone con direzione SE – NO al margine del rilievo collinare. L'intero sviluppo del corso d'acqua, comprensivo sia dei tratti superiori degli impluvi naturali, che dell'alveo oggetto di importanti condizionamenti antropici nella zona di fondovalle, si sviluppa esternamente all'area di intervento e in posizione plano-altimetrica tale da non interferire con lo sbancamento che ospiterà il sito di deposito.

Posizione della falda

Il D. Lgs. 26/2003 prescrive, per le discariche per rifiuti non pericolosi, l'adozione di una distanza minima tra il piano di imposta dello strato inferiore della barriera di confinamento e la falda pari ad almeno 1,5 m nel caso di acquiferi confinati e non meno di 2,0 m in presenza di acquiferi liberi. Il piano di imposta del fondo dell'impianto è previsto alla quota di circa 30 m slm. Le indagini idrogeologiche hanno individuato la presenza di un acquifero di tipo libero nel sottosuolo dell'area dell'impianto (si *cfr*. Cap. 7.3), con livello medio della superficie piezometrica disposto tra 11 ÷ 13 m slm (rilievi Maggio 2015 – Giugno 2016). Nello stesso periodo di monitoraggio il livello massimo della falda, rilevato a seguito di eventi di eventi di precipitazione rilevante (Ptot 1° quadrimestre 2016 pari al 50 % del valore medio annuale 1921-2015) ha raggiunto livelli compresi tra 16,3 e 13,5 m slm, nelle zone poste rispettivamente a monte e a valle rispetto al deflusso sotterraneo. Il requisito relativo al franco minimo tra la quota della base d'imposta dell'impianto e la superficie della falda risulta ampiamente rispettato.

Pietre verdi

Nell'area di intervento e nel suo intorno significativo né la banca-dati della Regione Liguria, né la cartografia e la documentazione geologica recente segnala la presenza di pietre verdi o di unità tettono-stratigrafiche che possono potenzialmente includerne.

4. LINEAMENTI DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

4.1 Aspetti generali

L'intervento previsto comporta la "Messa in sicurezza permanente" e contemporanea riqualificazione ambientale del sito di ex discarica presente in Località Saturnia, nel Comune di La Spezia, mediante realizzazione di nuovo impianto di "Discarica per rifiuti speciali non pericolosi" (classificazione ai sensi del D.Lgs. n. 36/2003). Gli aspetti principali delle opere e delle lavorazioni in programma sono riassunti nel *Cap*., mentre per la trattazione di dettaglio si rimanda agli elaborati di progetto.

La realizzazione dell'opera nel suo complesso comporta l'esecuzione delle opere necessarie alla bonifica dell'area, attualmente occupata dalla pre-esistente discarica, con la completa dismissione di tutti i manufatti ad essa riconducibili e la successiva realizzazione, mediante fasi di lavorazione tra loro interconnesse, di una nuova discarica per rifiuti non pericolosi in grado di garantire l'abbancamento di un volume complessivo lordo di circa 774.000 m³ (comprensivo dei materiali a deposito e delle opere di sistemazione finale). L'impianto è finalizzato al recepimento di categorie selezionate di rifiuti in ingresso, comprendenti terre da scavo e frazione organica stabilizzata (FOS), oltre ai materiali depositati in precedenza nel sito per un volume complessivo stimato in circa 58.000 m³.

I lavori di bonifica consistono fondamentalmente nello scavo dei rifiuti già presenti nell'area di discarica, RSU abbancati nella seconda metà degli anni Ottanta e ceneri di combustione del carbone utilizzato nel ciclo delle centrali termoelettriche depositate negli anni 1992-93, e nella loro riallocazione all'interno della nuova discarica dotata di rivestimenti di fondo e laterali in grado di assicurare requisiti prestazionali coerenti con l'assetto geologico del sito e le prescrizioni della Normativa (*landfill mining*). Una volta completato l'allestimento del nuovo fondo impermeabilizzato, è prevista una fase transitoria di gestione dell'impianto, con la separazione di una porzione del settore basale dell'invaso tramite un arginello provvisorio, all'interno del quale saranno abbancati i materiali esistenti. Tutte le attività di scavo e movimentazione dei rifiuti saranno effettuate con modalità tali da rendere minimo l'impatto sull'ambiente circostante in termini di dispersione di polveri e odori, presenza di biogas, ecc..

4.2 Configurazione dell'invaso di deposito

La nuova discarica comporta la realizzazione di un invaso su 3 lati impostato direttamente nell'ammasso roccioso in posto. L'impronta complessiva corrisponde in gran parte allo sbancamento già esistente, con superficie di fondo posta in prossimità dell'attuale, alla quota di

circa 30 m slm. In relazione all'assetto della circolazione idrica sotterranea, ricostruito su vasta scala (ARPAL, 2005) e direttamente riconosciuto nel sito con il monitoraggio piezometrico attivato a supporto delle attività progettuali (si veda il *Cap*. 8), che individua la piezometria della falda basale del substrato a quote inferiori ai 20 m slm, tale posizione è in grado di assicurare un adeguato franco (> 10 m) tra il fondo della discarica e la posizione massima della superficie di falda.

Le pareti laterali impostate direttamente nella roccia in posto saranno configurate a gradoni con dislivello di circa 10 m, soltanto sul lato SO, a chiusura dell'incisione relativa all'impluvio preesistente all'esecuzione dello scavo attuale (si *cfr*. *Cap*. 6.2), è prevista la costruzione di un argine.

La nuova profilatura delle pareti dello sbancamento, su cui sarà applicato il pacchetto di impermeabilizzazione, prevede per le scarpate inclinazioni poco superiori alle attuali, con valori medi nell'ordine di 35°. Tale configurazione, pur assicurando le condizioni di stabilità imposte dalla normativa in relazione alle caratteristiche dell'ammasso roccioso in cui saranno impostate, consente la rimozione della porzione di roccia degradata a seguito della prolungata esposizione delle pareti dello scavo esistente, unitamente alla massimizzazione dei volumi disponibili per l'abbancamento dei rifiuti.

4.3 Argine di contenimento del corpo rifiuti

Sul lato SO dell'area di deposito, posto in prossimità del tracciato in galleria artificiale del Raccordo autostradale La Spezia – Lerici e non confinato naturalmente dal rilievo, per il contenimento del corpo rifiuti sarà realizzato un argine di contenimento del piede dell'abbancamento adeguatamente dimensionato. Nell'ambito dei lavori di bonifica della vecchia discarica, una volta rimossi i rifiuti depositati in precedenza, si procederà alla demolizione del muro esistente in calcestruzzo, quindi alla costruzione della nuova opera in terra rinforzata con altezza complessiva di circa 20 m, strutturata su due banche con un berma intermedia.

La soluzione costruttiva in terra rinforzata viene proposta in quanto consente risultati prestazionali analoghi a quelli di un'opera in terra ordinaria, richiedendo tuttavia volumi realizzativi significativamente inferiori. In questo modo, sul lato di monte (interno al sito di deposito) si dispone di una maggiore volumetria per l'abbancamento dei rifiuti, mentre al piede dell'argine verso valle si rende fruibile un piazzale di maggiore ampiezza rispetto all'attuale, da destinare alle attività di monitoraggio, e ai servizi di gestione e manutenzione del nuovo impianto. L'opera in terra rinforzata, inoltre, comporta un impatto visivo ridotto, rispetto ad esempio ad altre

tipologie di strutture, quali quelle in muratura, e consente una rinaturalizzazione in tempi molto rapidi della superficie esterna.

Sul lato di valle dell'argine antistante la Galleria artificiale, allo scopo di impedire qualsiasi possibile interferenza con il tracciato autostradale, è prevista la costruzione di un'opera di sostegno al piede costituita da un muro in c.a. placcato con tiranti e sottofondato su mediopali. La struttura si localizza pressoché in corrispondenza del muro di contenimento esistente (circa 6 m a monte), e la sua altezza fuori terra, analogamente all'opera esistente, sarà di 5 m. La sua visibilità risulterà estremamente ridotta, in funzione della posizione, compresa tra la copertura della galleria artificiale e il piede dell'argine, e della ridotta elevazione. Per l'immorsamento del nuovo muro nel substrato roccioso è prevista la realizzazione di un'opera di connessione strutturale comprendente una doppia fila di mediopali verticali (con lunghezza 10 m e diametro 350 mm), associati a tiranti di ancoraggio con lunghezza di 30 m (tratto inferiore relativo al bulbo = 10 m).

Per la realizzazione del rilevato arginale vero e proprio si prevede di utilizzare i terreni provenienti dagli scavi (ammasso roccioso, copertura detritica), previa selezione e verifica delle caratteristiche geotecniche, stabilizzati con cemento. L'impatto visivo dell'opera sarà comunque limitato data la posizione e l'assetto morfologico circostante che ne assicura una copertura visiva quasi completa. La soluzione in terra rinforzata consente di ridurre significativamente le dimensioni del manufatto, favorendo l'inserimento ambientale e l'ottimizzazione nell'occupazione degli spazi, sia in termini di volumi per la coltivazione dei rifiuti, che di aree tecniche disponibili per la gestione dell'impianto. Dimensionamento e verifica strutturale dell'opera sono trattati nel dettaglio nella *Relazione geotecnica* e negli *Elaborati di progetto*.

4.4 Impermeabilizzazione dell'invaso

L'assetto del sottosuolo, acquisito con le precedenti indagini e verificato, ulteriormente, per mezzo delle campagne geotecniche e geofisiche condotte nel 2015-16 specificatamente a supporto del Progetto Definitivo (si veda il *Cap*. 7), evidenzia come la barriera geologica presente in corrispondenza del sito non possieda caratteristiche in grado di assicurare un adeguato isolamento naturale dell'impianto, come imposto dalla Normativa. E' stata prevista, pertanto, la realizzazione di un adeguato sistema di impermeabilizzazione con la funzione di garantire in modo completo, sia sull'impronta di fondo che sulle pareti del sito di deponia, un idoneo isolamento della matrice naturale sottostante.

La barriera artificiale di confinamento di fondo avrà proprietà tali da fornire una protezione equivalente ad uno strato di argilla con caratteristiche:

- coefficiente di conducibilità idraulica $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s;

- spessore $s > 1{,}0$ m.

La sua struttura di tipo composito comprende, a partire dal basso, gli elementi seguenti:

- strato basale di argilla con spessore ≥ 1,0 m, steso con modalità adeguate e compattato sino al raggiungimento di una permeabilità $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s; per una maggiore garanzia di tenuta questo strato sarà disposto lungo la parete inferiore sino ad un'altezza di almeno 3 m dal piano di base in maniera tale da fornire una maggior garanzia di tenuta;
- geomembrana in HDPE (polietilene ad alta densità) ad aderenza migliorata su entrambe le superfici dello spessore di 2 mm;
- geotessile non tessuto a protezione della geomembrana;
- strato drenante in materiale arido adeguatamente selezionato, con spessore ≥ 0,5 m; al suo interno vengono alloggiate le tubazioni di captazione del percolato ed il relativo bauletto drenante;
- geotessuto a maglia larga per la separazione del corpo rifiuti dallo strato in materiale granulare.

Per l'impermeabilizzazione delle pareti laterali dello scavo costituente il "contenitore" destinato ad accogliere il corpo dei rifiuti è stata adottata una diversa soluzione in relazione alla natura e all'acclività delle scarpate modellate per la maggior nel substrato roccioso o rappresentate dal paramento interno dell'argine di valle. In questo caso la barriera di tipo artificiale sarà costituita da un pacchetto di geosintetici in grado di fornire una protezione equivalente a quella prevista dalla normativa, costituito a partire dalla superficie di appoggio sul terreno da:

- geocomposito bentonitico laminato (con film in HDPE), coesivizzato meccanicamente, di spessore minimo pari a 7 mm e permeabilità $k \leq 5 \times 10^{-13}$ m/s;
- geomembrana in HDPE (polietilene ad alta densità) ad aderenza migliorata su entrambe le superfici dello spessore di 2 mm;
- geotessile non tessuto a protezione della geomembrana;
- strato di materiale di protezione avente caratteristiche drenanti, con spessore ≥ 0,5 m, posato in avanzamento nella fase di abbancamento dei rifiuti.

Tale sistema di impermeabilizzazione dei fianchi del bacino, adeguatamente collegato a quello di fondo, sarà applicato in modo integrale sull'intero sviluppo delle pareti perimetrali corrispondenti allo sbancamento e all'argine di valle, come pure sulle berme che interrompono la continuità delle gradonature.

Il pacchetto previsto comporta, rispetto alle prescrizioni contenute nel D. Lgs. n. 36/2003, una sola variazione rappresentata dalla sostituzione dello strato di argilla di spessore 1 m, con un

geocomposito bentonitico laminato. Per la verifica dell'idoneità della soluzione tecnica alternativa, e la dimostrazione della sua equivalenza idraulica rispetto ai requisiti imposti dalla Normativa, si rimanda alla trattazione svolta nella *Relazione tecnica generale*.

4.5 Gestione delle acque di superficie

Nella progettazione dell'impianto sono stati adottati criteri di gestione delle acque superficiali, di provenienza meteorica, che consentissero di minimizzare le interferenze con la rete idrica superficiale e sub-superficiale, sia in fase di coltivazione che successivamente al termine della vita utile della discarica. Con riferimento alle precipitazioni incidenti nell'ambito areale della discarica si distinguono 3 diverse tipologie di acque, tutte derivanti dall'aliquota di scorrimento superficiale:

- Acque bianche esterne: relative allo scolo di aree non direttamente interessate dal transito e dallo stoccaggio dei rifiuti (aree circostanti il sito), sono raccolte dal sistema di convogliamento delle acque meteoriche e, nello specifico, dai canali di gronda esterna. Tali acque, non entrando in contatto con le aree di discarica, potranno essere recapitate direttamente presso il recettore finale. E' previsto comunque il controllo della qualità di tali acque per mezzo di campionamenti e analisi chimiche periodiche.
- Acque bianche interne: provengono dallo scolo di aree d'impianto esterne alle aree con coltivazione in corso o coltivabili, nonché le acque che interessano le parti delle vasche impermeabilizzate ma non ancora contenenti rifiuti, opportunamente separate dalle zone di stoccaggio in attività. Nelle acque bianche interne sono comprese anche quelle che cadono sul corpo della discarica una volta posizionato il manto di copertura definitivo. La loro raccolta e allontanamento avviene tramite un sistema di canalizzazioni superficiali, con convogliamento al punto di recapito superficiale. La geometria definita per la discarica è in grado di garantire il deflusso delle acque meteoriche verso il sistema di raccolta anche nel lungo periodo (fase di post-gestione) e qualora vi siano cedimenti differenziali nel corpo rifiuti.
- Acque di prima pioggia: comprendono le acque meteoriche ricadenti sulle superfici pavimentate all'interno dell'area di discarica.

Le acque di ruscellamento che interessano le aree della discarica autorizzata diverse da quelle in coltivazione, saranno canalizzate tramite un reticolo di canalette superficiali, canali di gronda e di restituzione e immesse per gravità nel reticolo superficiale a valle della discarica. In fase di esercizio la raccolta delle acque sarà effettuata attraverso la berma di riprofilatura subito a

monte di queste opportunamente sagomata per ottenere un canale di forma triangolare che recapiterà nel canale di gronda. Nelle aree interne ai lotti, la regimazione delle acque provenienti da aree al momento non interessate dalla coltivazione avverrà per mezzo delle stesse linee di drenaggio del percolato che, limitatamente a tali fasi, provvederanno a convogliare le acque verso i punti di raccolta finali sul fondo, o alla fine delle berme, e da qui recapitate nei recettori superficiali per mezzo dei sistemi di sollevamento meccanico.

La regimazione definitiva delle acque meteoriche interesserà, sia l'aliquota di ruscellamento sulla copertura definitiva, che le acque di infiltrazione nello strato vegetale costituente la copertura. Sulla superficie sommitale della copertura definitiva del corpo rifiuti è prevista l'impostazione di un reticolo di fossi in terra a sezione trapezia, tracciati lungo le berme e lungo le piste interne sul corpo rifiuti, con recapito nel canale di gronda. L'intercettazione delle acque di filtrazione attraverso il suolo di copertura sarà assicurato da un sistema di drenaggio posizionato alla base del terreno vegetale costituito, rispettivamente, da uno strato di materiale arido al di sotto della superficie sommitale, e da un geocomposito drenante in corrispondenza delle pareti inclinate.

Per la raccolta delle acque di prima pioggia relative alla strada di accesso proveniente dall'impianto di Val Bosca e al piazzale di servizio è prevista una rete idraulica specifica con dedicata vasca di prima pioggia. I contributi provenienti dalla strada di accesso all'argine di valle saranno convogliati, invece, alla relativa vasca attraverso una tubazione decorrente sul rilevato di base.

4.6 Estrazione del percolato

Per percolato si intende il complesso dei prodotti liquidi derivanti dalla decomposizione della sostanza organica ad opera dei batteri e dall'estrazione, per azione solvente dell'acqua meteorica o già contenuta nei rifiuti, dei contaminanti organici. Il progetto ha previsto l'impostazione e l'esercizio del sistema di drenaggio con riferimento alle diverse condizioni di esercizio caratterizzanti, rispettivamente, la fase transitoria (*landfill mining*) e quella definitiva (post-gestione della discarica).

Per la raccolta del percolato nella fase di coltivazione dell'impianto è stato considerato un sistema costituito da linee drenanti costituite da tubazioni macrofessurate in HDPE, contenute in strato di materiale granulare, posizionate sul fondo della discarica. Nella fase di sistemazione definitiva le linee drenanti di fondo, portate al piede del paramento interno dell'argine di valle, avranno recapito in pozzi in acciaio a sviluppo obliquo addossato alla parete dell'argine. Un ulteriore sistema di drenaggio sarà predisposta alla base delle berme impermeabilizzate della discarica per la raccolta del percolato scolante lungo le pareti. Anche queste linee di drenaggio

saranno costituite da tubazioni macrofessurate in HDPE alloggiate all'interno di un bauletto di materiale drenante.

Nella configurazione definitiva dell'impianto, l'estrazione del percolato dai pozzi di raccolta avverrà mediante pompe sommerse collegate ad un pozzetto di rilancio interrato in cls posto in corrispondenza della pista sull'argine di valle, alla quota di 50 m slm. Dal pozzetto il percolato sarà avviato, mediante idonei sistemi di sollevamento e una linea di convogliamento in costituita da una tubazione in HDPE posizionata all'interno di una camicia in HDPE, verso una vasca interrata in cls, posta in corrispondenza del piazzale di servizio a quota di circa 70 m slm, con capacità tale da assicurare il contenimento dei liquidi prodottisi in un intervallo temporale significativo, anche in occasione di elevate produzioni. In caso di necessità potranno essere utilizzati per lo stoccaggio del percolato anche parte dei serbatoi presenti nella vicina discarica di Val Bosca, il cui impiego è progressivamente ridotto in relazione alla chiusura dell'impianto. E' stato prevista, pertanto, anche l'installazione di una tubazione di collegamento tra il nuovo sistema di stoccaggio del percolato e il parco serbatoi presente nel sito di Val Bosca, posizionata lungo il nuovo tratto stradale di accesso.

4.7 Copertura definitiva

Per la copertura definitiva dell'impianto al termine della sua vita utile sono stati previsti due tipologie di sistemazione in relazione alle diverse caratteristiche dei due ambiti morfologici fondamentali derivanti dal completamento dell'abbancamento dei rifiuti: la zona sommitale a sviluppo sub-pianeggiante, i paramenti laterali caratterizzati da acclività significative e una certa variabilità nell'orientazione.

La copertura della superficie sommitale è costituita da un pacchetto di materiali naturali e artificiali con spessore complessivo pari a 2,5 m. La stratigrafia-tipo comprende, procedendo dall'alto verso il basso, i seguenti termini:

- strato di terreno vegetale, con spessore pari a 1,00 m, contenente una percentuale di sostanza organica in grado di accogliere la vegetazione finale;
- geotessuto di protezione del dreno da eventuali intasamenti;
- strato di drenaggio delle acque di infiltrazione in materiale arido di adeguata granulometria, con spessore di almeno 0,5 m;
- telo impermeabile in polietilene a bassa densità dello spessore di 1 mm;
- strato di argilla compattata ($k \leq 10^{-8}$ m/s) avente lo spessore 0,5 m;
- geotessuto non tessuto di protezione del dreno;
- dreno di raccolta del biogas con spessore di circa 0,5 m;

Per la copertura definitiva delle superfici inclinate, date le difficoltà di posa e dei materiali nonché ai possibili problemi di stabilità del sistema connessi all'elevata inclinazione (nell'ordine di 35°), in alternativa agli strati di drenaggio e allo strato di argilla comtemplati nel D. Lgs. n. 36/2003, è previsto l'impiego, rispettivamente, di un geocomposito drenante e di un geocomposito bentonitico. La stratigrafia-tipo del sistema di copertura finale di parete, con spessore complessivo di circa 1,0 m, comprende dall'alto verso il basso i termini:

- strato di terreno vegetale, con spessore pari a 1,00 m. I primi 30 cm comprendono uno strato di terreno vegetale naturale, con contenuto in sostanza organica tale da assicurare l'attecchimento e il sostentamento del manto vegetale di copertura finale, i restanti 70 cm saranno costituiti da una miscela di biostabilizzato e terreno. Il quantitativo di biostabilizzato e le caratteristiche del terreno saranno scelte in maniera tale da ottenere le caratteristiche geotecniche minime atte a garantire la stabilità della copertura. Lo strato nel suo complesso sarà rinforzato con geogriglie;
- geocomposito drenante per l'intercettazione e il convogliamento delle acque di infiltrazione;
- geocomposito bentonitico coesionato meccanicamente di spessore minimo pari a 0,5 cm con coefficiente di permeabilità $k \leq 5 \times 10^{-11}$ m/s;
- geocomposito drenante per l'intercettazione del biogas.

Il geocomposito drenante posto al di sotto del terreno vegetale favorirà il deflusso delle acque di infiltrazione verso il materiale drenante di berma all'interno del quale sarà posto un collettore per il convogliamento delle acque al sistema di regimazione delle acque meteoriche.

Il geocomposito drenante posto a contatto con gli arginelli di coltivazione, in modo analogo, favorirà il deflusso del biogas verso le tubazioni di drenaggio in HDPE poste all'interno del materiale drenante di berma. Come specificato nel D. Lgs. n. 36/2003 (All. 1, punto 2.4.3), le caratteristiche di permeabilità del geocomposito bentonitico impiegato come impermeabilizzazione al posto dell'argilla, dovranno essere equivalenti a quelle di uno strato di argilla con spessore di 0,5 m e con $k \leq 10^{-8}$ m/s.

4.8 Strada di accesso e opere accessorie

L'intervento in progetto comprende, insieme alla realizzazione del sito di deposito vero e proprio, l'esecuzione delle opere e dei manufatti accessori, tra le quali assume maggiore rilevanza la strada di accesso all'impianto. Attualmente la viabilità è costituita dalla pista con fondo in ghiaia, di competenza e sottoposta al controllo diretto da parte della Marina Militare, che si distacca da Via Valdilocchi e risale la collina costeggiando l'area militare, sino ad allacciarsi alla strada asfaltata decorrente lungo il margine est dell'invaso.

Per la gestione dell'impianto è prevista la realizzazione, con caratteristiche di maggiore funzionalità, di un nuovo breve collegamento stradale diramantesi dalla vicina discarica di Val Bosca, di proprietà e gestita della stessa Soc. ACAM Ambiente SpA, attualmente in fase di post-gestione. L'adozione di tale soluzione consente, sia di limitare dimensioni e impatto del nuovo tratto stradale, sia nel contempo di poter utilizzare parte degli impianti tecnologici già presenti nel vicino impianto.

La realizzazione della viabilità avverrà nella prima fase dei lavori, in quanto sarà utilizzata già nella cantierizzazione della discarica Saturnia, e nelle successive fasi di gestione e post-gestione dell'impianto. Nell'ambito dell'impianto di Val Bosca saranno utilizzati l'accesso su Via Valdilocchi e la viabilità interna esistente sino al raggiungimento della sommità collinare, dal margine SE dell'area si svilupperà il collegamento sino al piazzale di ingresso al nuovo impianto. Il tratto da realizzare ex-novo, decorre tra le quote di 71 m (cancello uscita dall'impianto di Val Bosca) e 62 m slm (cancello entrata lato Nord discarica Saturnia), è lungo 175 m e si svolge a raso o su rilevato in genere di modesta altezza (0,5 ÷ 3,0 m). In corrispondenza dell'attraversamento di un piccolo impluvio, privo di deflusso idrico permanente, dove si raggiungono spessori maggiori (altezza massima 8,4 m) è prevista l'articolazione del rilevato su due o tre banche. Il corpo del rilevato sarà realizzato con il terreno di risulta, opportunamente selezionato e posto in opera, proveniente dagli scavi necessari all'allestimento del nuovo impianto. Nei tratti di maggiore altezza è previsto l'utilizzo di terre rinforzate con geogriglie, per le scarpate esterne sono previste inclinazioni di circa 60°.

Il piano di imposta della nuova strada di collegamento tra i due impianti è costituito per un ampio tratto da un abbancamento di ceneri, terreni di riporto e macerie, poggiante direttamente sul substrato roccioso, realizzato negli anni Ottanta. L'assetto del sottosuolo dell'area è stato indagato per mezzo di sondaggi e rilievi geofisici nel corso della campagna d'indagine geognostica del Febbraio 2015 (*Cap*. 7.3).

Per la nuova discarica Saturnia il piazzale di servizio è previsto sul lato Nord del confine del sito, nell'area adiacente al cancello di ingresso posta alla quota media di 62 m slm. La localizzazione degli impianti necessari alla gestione della discarica è stata condotta in modo raccordarsi al meglio alla viabilità di accesso e ottimizzare l'utilizzo degli spazi disponibili. Sul piazzale saranno ubicati i locali uffici e di servizio, il deposito attrezzi, un ricovero mezzi, l'impianto lavaggio mezzi, la centrale per la combustione/trattamento del biogas, le vasche di prima pioggia e di stoccaggio del percolato. In fase di coltivazione saranno sfruttati anche alcuni

servizi ubicati presso l'adiacente impianto di Val Bosca, quali l'Ufficio accettazione conferimento rifiuti, con il relativo locale per gli addetti ai lavori, e la pesa a ponte per la verifica dei carichi in ingresso.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Nel contesto strutturale del versante tirrenico dell'Appennino settentrionale il sito in progetto, posto al margine della dorsale delimitante a Est il Golfo di La Spezia, si localizza nell'ambito delle Unità metamorfiche toscane, in corrispondenza del lembo affiorante in posizione più occidentale (Fig. 5.1). Gli studi specialistici recenti, unitamente al rilevamento del nuovo Foglio La Spezia della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 (Serv. Geol. It., 2005) consentono una ricostruzione adeguata dell'assetto geologico-strutturale.

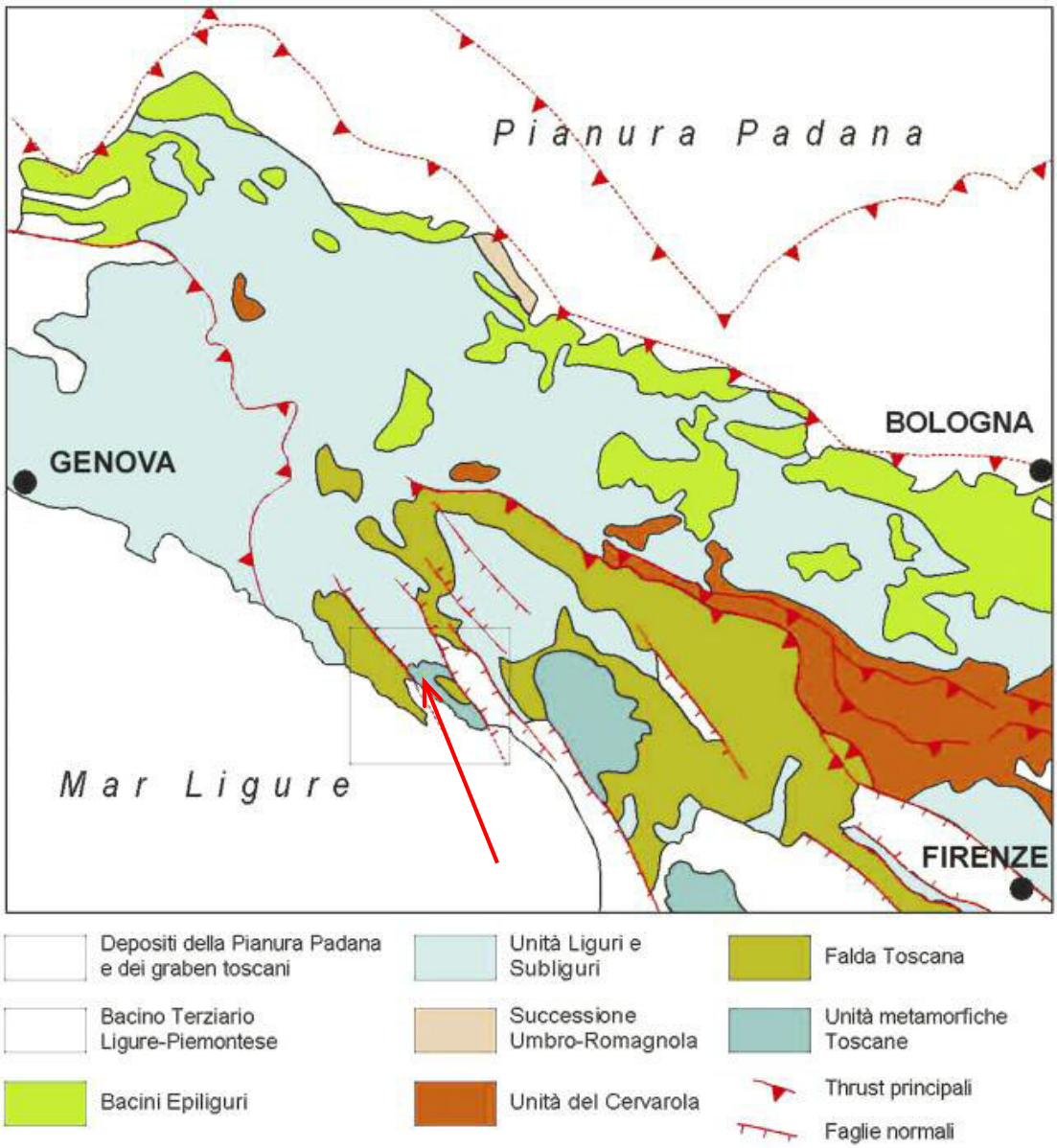


Figura 5.1 – Inquadramento del Golfo di La Spezia nel contesto geologico-strutturale dell' Appenino settentrionale (Abbate *et alii*, 2005). La posizione dell'impianto in progetto è indicata dalla freccia rossa.

Il golfo della Spezia rappresenta il margine meridionale di una depressione tettonica allungata secondo la direzione appenninica, compresa tra due dorsali collinari con disposizione parallela orientate anch'esse NO-SE. La struttura del rilievo occidentale, esteso dalle Cinque Terre (M. Gaginara) all'Isola Palmaria, è caratterizzata a scala complessiva da una grande piega anticlinalica rovesciata, con vergenza tirrenica, comprendente i termini della Falda Toscana e l'Unità tettonica di Canetolo (Fig. 5.2). Verso Est, la dorsale di Lerici – Punta Bianca presenta un assetto maggiormente complesso con l'accavallamento delle Unità Liguri e sub-Liguri sulla Falda Toscana, a sua volta sovrascorsa sulla Successione Metamorfica di Punta Bianca compresa nell'Unità di Massa.

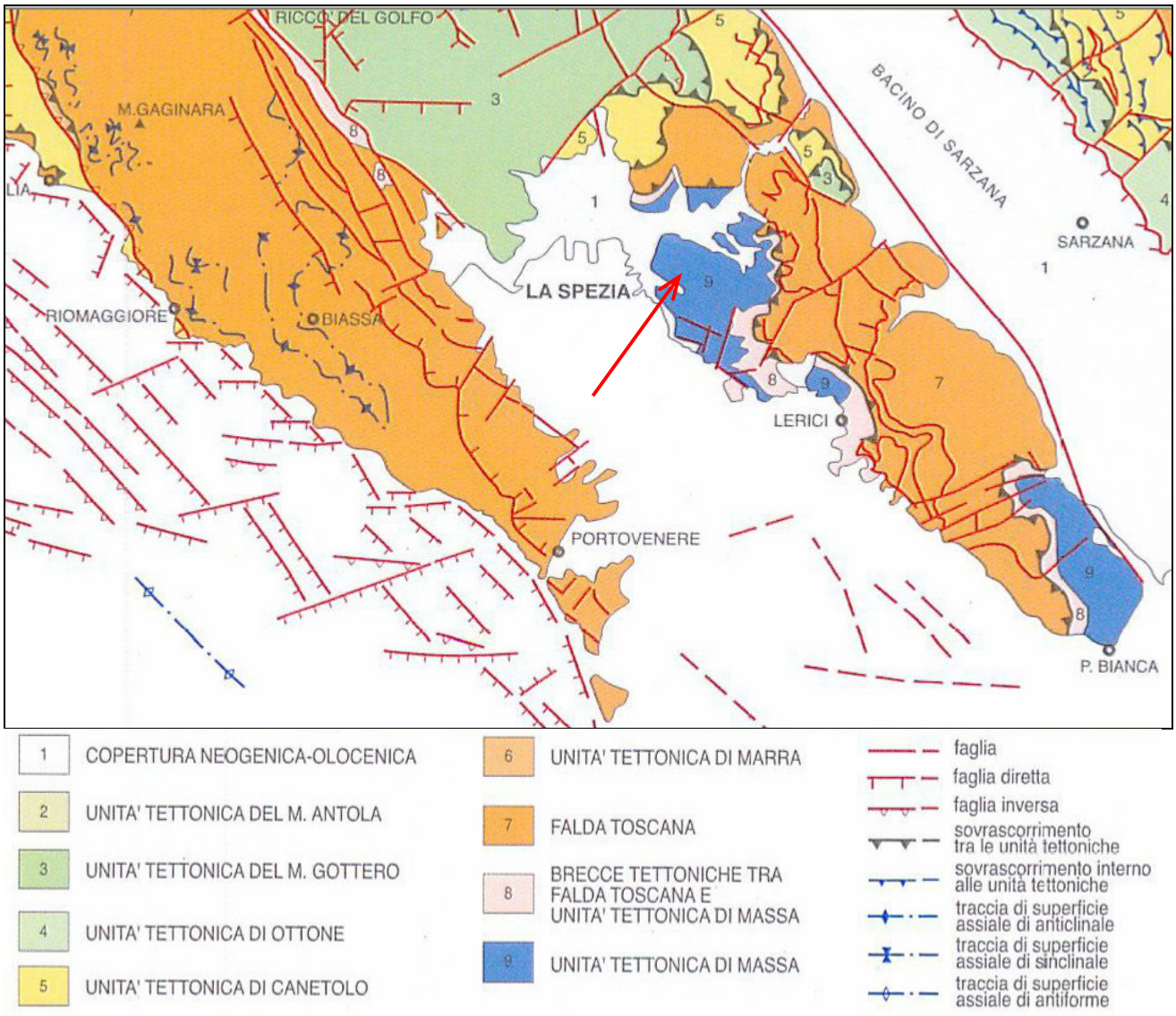


Figura 5.2 – Schema tettonico del Golfo di la Spezia (Serv. Geol. It., 2005). La freccia rossa individua la posizione del sito di progetto.

A partire dai termini in posizione geometrica inferiore, la struttura della dorsale di Lerici nel suo complesso comprende (Serv. Geol. It., 2005):

- l'Unità tettonica di Massa, comprendente la Successione metamorfica di Punta Bianca (Ciarapica *et alii*, 1985) rilevabile con continuità nei settori compresi tra La Spezia e Lerici e tra Ameglia e Punta Bianca;
- le brecce tettoniche interposte tra l'Unità di Massa e la Falda Toscana;
- la successione della Falda Toscana dapprima a composizione calcareo-dolomitica, quindi prevalentemente calcareo-silico-marnosa, affiorante diffusamente lungo l'intero rilievo tra Vezzano Ligure e Montemarcello;
- le unità di Marra e di Canetolo, argilloso-marnoso-calcaree, appartenenti al dominio sub-Ligure, presenti a nord di Vezzano e nel settore a NE di La Spezia;
- la successione arenaceo-argillitica dell'Unità tettonica del M. Gottero, compresa nel Dominio Ligure esterno, affiorante con continuità nel settore a settentrione della città.

La località Saturnia si localizza nell'ambito dell'areale occupato dalle litologie relative all'Unità di Massa affioranti nel settore a est di La Spezia (Fig. 5.2). La Successione Metamorfica di Punta Bianca, come pure l'Unità Toscana Metamorfica hanno la loro derivazione da ambienti marginali della crosta continentale africana implicati in una fascia di taglio ensialica durante la fase collisionale dell'orogenesi appenninica (Carmignani *et alii*, 1978; Carmignani *et alii*, 1980). La Successione di Punta Bianca affiora nel promontorio orientale del golfo è costituita da un basamento pre-Triassico deformato dall'orogenesi ercinica, sormontato da due cicli sedimentari. Per entrambi i cicli, datati rispettivamente al Trias medio e superiore (Martini *et alii*, 1985), la successione delle formazioni sottolinea l'evoluzione distensiva della crosta. Ad un metamorfismo ercinico, legato alla fase scistogena sudetica e probabilmente anche all'evento termico del Permiano inferiore riconosciuto nei corrispondenti terreni del M. Pisano (Borsi *et alii*, 1967; Ferrara & Tonarini, 1985), si sovrappone un metamorfismo polifasico in facies di Scisti Verdi di età alpina che interessa tutta la successione, substrato incluso.

Con un contatto tettonico, segnato da livelli di brecce con clasti prevalentemente carbonatici, alla Successione Metamorfica della Punta Bianca si sovrappone la Falda Toscana, una copertura di età triassico-oligomiocenica scollata dall'avampaese africano. Questa successione di tipico margine passivo inizia con ambienti di piattaforma carbonatica in via di progressivo approfondimento e si chiude con una sedimentazione torbiditica arenacea di avanfossa al fronte di altre unità in avanzamento dalle aree più interne.

La strutturazione dell'Appennino Settentrionale si è realizzata attraverso numerose fasi deformative che hanno dapprima interessato i singoli domini paleogeografici e successivamente il complesso delle unità tettoniche ormai sovrapposte. Già in tempi antecedenti alla individuazione dei limiti di placca europea ed africana in connessione con l'apertura della Tetide, alcuni settori del cratone preesistente erano stati coinvolti nel tardo Paleozoico nell'orogenesi ercinica. Di ciò rimane traccia nelle porzioni più basse dell'Unità Toscana Metamorfica e nella Successione Metamorfica di Punta Bianca (Abbate *et alii*, 2005).

Dopo l'espansione dell'oceano giurassico cominciano sin dal Cretaceo superiore forti raccorciamenti connessi alla chiusura dell'area oceanica, i quali implicano nella costruzione di un prisma di accrezione i bacini sedimentari originari delle Liguridi (Treves, 1984). Nel quadro generale di trasporto tettonico verso l'esterno (avampaese adriatico) la vergenza di questa "fase ligure" negli stadi precoci e per certi settori risulterebbe verso l'interno (avampaese europeo) (Pertusati & Horremberger, 1975; Boccaletti *et alii*, 1971; Elter & Marroni, 1991). I terreni paleogenici delle Successioni Epiliguri (Bacino Ligure-Piemontese) sigillano nell'Eocene medio i domini deformati durante la fase ligure. Durante le successive fasi "toscane" le Liguridi sono traslate sullo zoccolo continentale adriatico al quale si è saldata, collidendo, la placca sardo-corsa ruotata a seguito dell'apertura del Bacino Ligure-Balearico. Lungo un piano di subduzione immerso verso ovest le Unità Toscane scorrono al di sotto delle Unità Liguri e Subliguri subendo vistosi fenomeni di taglio ensialico. Si sviluppano così accavallamenti molto estesi con metamorfismo cinematico (facies degli scisti verdi; Franceschelli *et alii*, 1986).

A questa prima fase tangenziale (D1) viene ricondotta la strutturazione principale a livello delle Unità Toscane con individuazione di una Falda Toscana al di sopra di una Successione Toscana Metamorfica. Segue una fase estensionale (D2) durante la quale la pila delle unità tettoniche viene deformata per lo sviluppo di un alto strutturale domiforme con scarichi laterali che coinvolgono Falda Toscana e Liguridi in accordo con un modello di tipo "core complex" (Carmignani & Kligfield, 1990). La reazione dell'edificio delle falde all'estensione è stata essenzialmente fragile nei livelli più superficiali, ma già duttile a livello della Falda Toscana con formazione di grandi pieghe asimmetriche, quali quella di La Spezia.

Una nuova fase deformativa connessa all'apertura del bacino tirrenico inizia nel Tortoniano, per svilupparsi poi con la massima intensità nel Messiniano. Lungo il margine occidentale dell'Appennino si imposta un regime distensivo con faglie sub-verticali che smembrano

l'edificio strutturale costruito in precedenza, mentre nel versante emiliano si verificano raccorciamenti significativi con sovrascorrimenti verso l'avampaese adriatico.

Un'importante differenziazione evolutiva si rileva a partire dal Messiniano, ad est dell'attuale fascia costiera si riconosce un'area emersa in blando sollevamento, mentre verso ovest il margine continentale sommerso è soggetto a una rilevante subsidenza (Abbate *et alii*, 2005). Nella parte emersa la tettonica disgiuntiva produce bacini intermontani (graben di Sarzana, Federici, 1973, 1987, e quello di La Spezia, Raggi, 1985), i cui depositi essenzialmente pliocenici e fluvio-lacustri vengono in seguito ricoperti da potenti successioni detritiche derivanti dall'erosione dei rilievi circostanti. Alcuni eventi compressivi (Boccaletti *et alii*, 1992) si alternano con la tettonica prevalentemente distensiva, riattivando strutture precedenti. Nella parte sommersa si sviluppano bacini subsidenti che rappresentano la propaggine settentrionale del sistema disgiuntivo tirrenico. La più importante e conosciuta di queste strutture è il Bacino di Viareggio, a NO del quale il sistema si estende ulteriormente in direzione appenninica, con un imponente half-graben che separa la zona costiera della Riviera di Levante dai seamount del Mar Ligure (Bacino di Levante).

Il substrato di tali bacini è costituito dalle unità appenniniche del Dominio Toscano, del Dominio Subligure e del Dominio Ligure che si prolungano a mare in direzione NNO-SSE, e vengono disgiunte dalle strutture distensive tirreniche che le ribassano tanto verso SO che verso S. Le strutture principali assumono orientazione NO-SE con immersione a SO, oppure antiappenninica con immersione a SE, costituiscono eccezioni le faglie di La Spezia e della bassa Val Magra che, pur essendo di direzione appenninica, immergono a ESE (*Structural Model of Italy*, 1990). Il Bacino di Viareggio (Nicolich, 1977) ha il suo depocentro in corrispondenza della città omonima; il graben della bassa Val Magra e il golfo di La Spezia possono esserne considerate delle propaggini, anche se parzialmente separate da soglie sepolte. La base della successione sedimentaria che lo colma è costituita da formazioni del Miocene superiore, tra cui si distingue un livello di evaporiti di spessore notevole. La potenza della serie plio-pleistocenica supera i 2.000 m. I livelli che la costituiscono assumono precocemente un andamento progradante che prefigura la costruzione dell'attuale piattaforma. Il Bacino di Levante si struttura come ampio e regolare *half-graben* che si apre tra la costa ligure e gli alti morfologici che culminano più ad ovest nei *seamount* del golfo di Genova. Anch'esso è interessato da livelli messiniani di limitata estensione e potenza e da una serie plio-pleistocenica di potenza considerevole. Il substrato pre-miocenico viene rialzato verso terra da importanti *step-faults* e modellato inizialmente come piattaforma di erosione. Precocemente si imposta una piattaforma di costruzione sedimentaria più volte rimodellata da

eventi erosivi. I più recenti sono riferibili ai cicli glacio-eustatici pleistocenici; mentre i più antichi sono attribuiti, in letteratura, al Miocene terminale e al Pliocene inferiore (Fanucci, 1983).

5.1 Successione stratigrafica

L'area di progetto interessa l'areale di affioramento delle successioni litologiche appartenenti al Dominio Toscano, in particolare quelle relative all'Unità tettonica di Massa, Gruppo del Verrucano (Figg. 5.3a ÷ 5.3b). Una revisione sistematica delle conoscenze e il loro aggiornamento è contenuto nel nuovo Foglio geologico La Spezia (Abbate *et alii*, 2005; Serv. Geol. It., 2005), a cui si fa riferimento diffusamente nella trattazione seguente.

Il Dominio Toscano comprende potenti successioni affioranti estesamente nell'Appennino settentrionale, originarie del margine continentale africano (Adria) della Tetide. In seguito alla collisione con il margine continentale europeo, queste successioni sono state smembrate in unità tettoniche sovrapposte che, nel settore circostante La Spezia, sono rappresentate dalla Falda Toscana e dalla sottostante Successione Metamorfica di Punta Bianca. Lungo il contatto tra queste due successioni è presente un livello, con spessore massimo di poche decine di metri, di brecce poligeniche interpretate come brecce tettoniche. Queste brecce delimitano la base della Falda Toscana rispetto alla sottostante successione metamorfica.

Riguardo i rapporti originari tra la Falda Toscana e la sottostante successione metamorfica, secondo alcuni Autori (p.e., Ciarapica & Passeri, 1982, 1994, con rif. bibl.) le due unità possono essere riferibite ad un'unica successione stratigrafica sulla base dei seguenti elementi:

- a tetto della successione metamorfica sono presenti gli "scisti di San Terenzo" di età verosimilmente carnica, analoga a quella dei fossili rinvenuti nelle "dolomie di Coregna" poste alla base della soprastante Falda Toscana;
- sia la successione metamorfica, sia la base della Falda Toscana, è caratterizzata dall'assenza delle evaporiti triassiche ("anidriti di Burano" *Auctt*.) e delle rocce da esse derivate.

I nuovi dati acquisiti con il rilevamento del Foglio geologico La Spezia confermano questa interpretazione. A tetto degli "scisti di San Terenzo", infatti, è localmente conservato il passaggio stratigrafico verticale a calcari dolomitici e dolomie stratificate di colore nerastro, talora alternate a peliti marnose, del tutto analoghe a quelle presenti nelle unità sedimentarie triassico superiori della Falda Toscana.

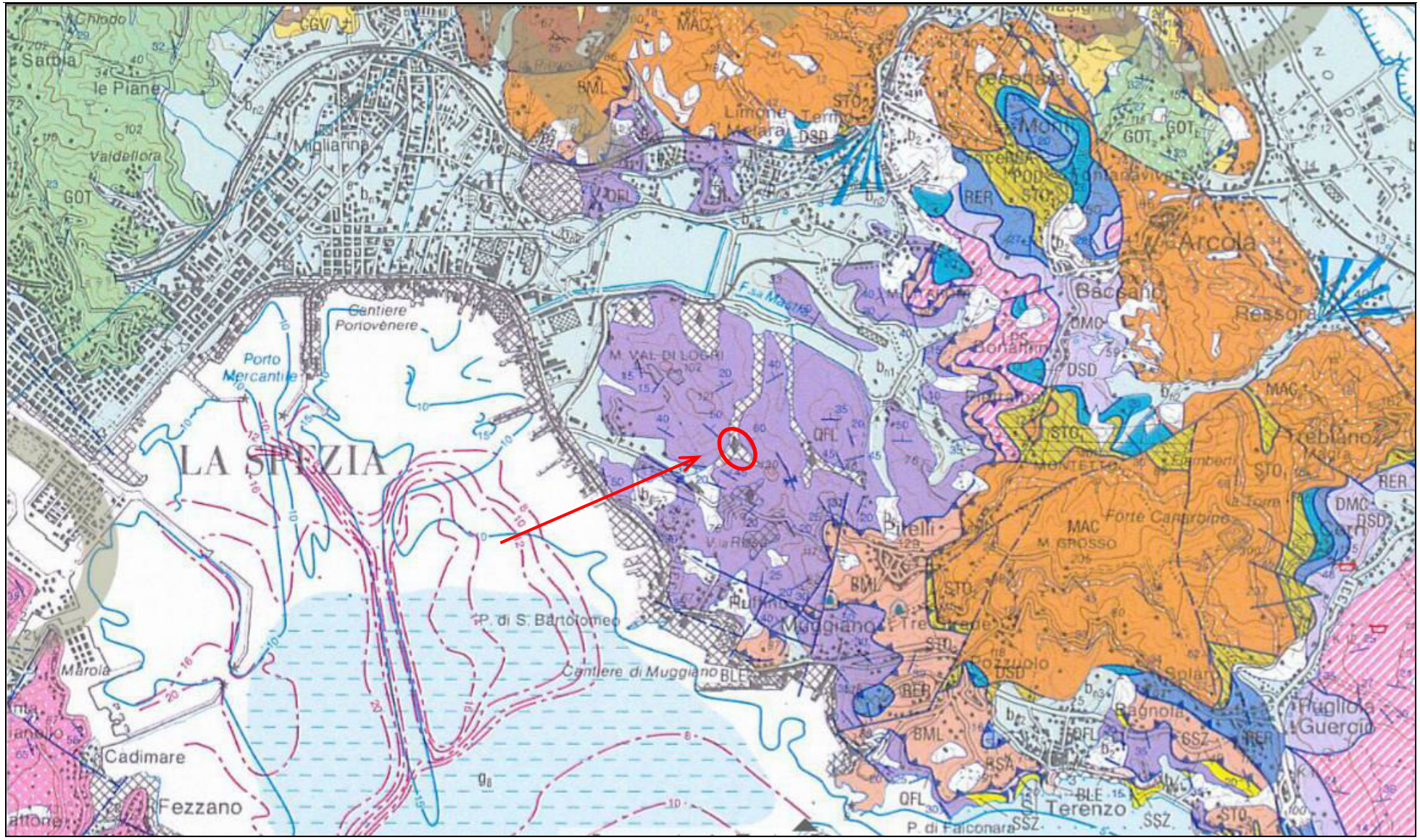


Figura 5.3a – Geologia del settore orientale del Golfo di La Spezia, tratta dal F. 248 della nuova Carta Geologica d'Italia (Serv. Geol. It., 2005). Rappresentazione a scala 1:35.000, Legenda in Fig. 5.3b. La freccia individua la posizione prevista per la realizzazione dell'impianto.

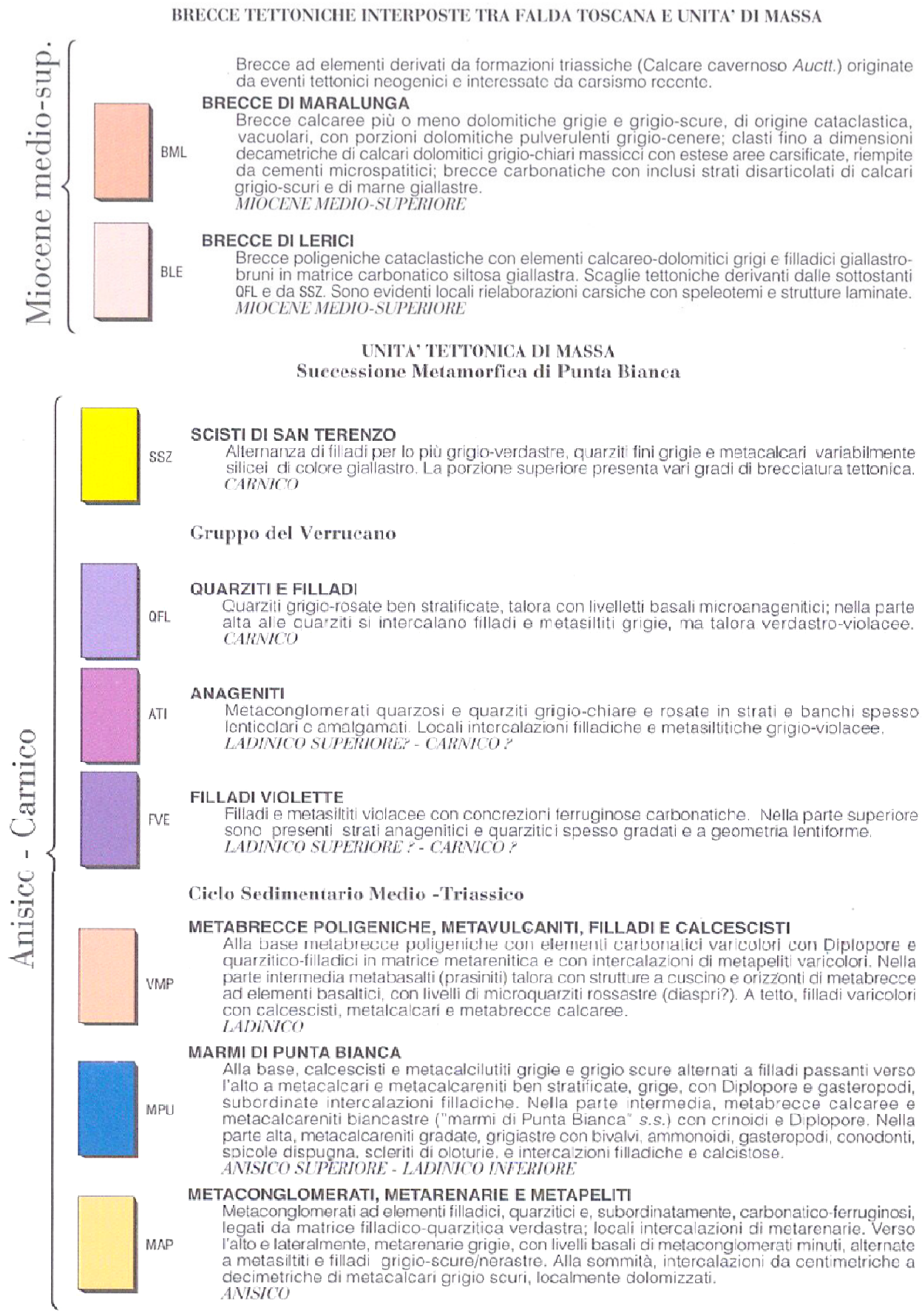


Figura 5.3b – Legenda della Fig. 5.3a relativa ai termini dell'Unità tettonica di Massa e alle brecce tettoniche interposte alla base della Falda Toscana (Serv. Geol. It., 2005).

Nel settore ad est di La Spezia, la serie presente si compone, a partire dai termini in posizione stratigrafica inferiore, delle unità seguenti:

- Successione metamorfica di Punta Bianca, comprendente il basamento paleozoico già deformato, il ciclo sedimentario medio-triassico e la porzione basale del ciclo sedimentario alpino;
- brecce tettoniche interposte tra e la Successione Metamorfica di Punta Bianca e le unità sedimentarie della Falda Toscana, costituite dalle "brecce di Lerici" e dalle "brecce di Maralunga";
- la successione sedimentaria marina della Falda Toscana, comprendenti nell'intorno prossimo all'area di interesse la Formazione di La Spezia, la Formazione di Ferriera, le Marne a Posidonia, i Diaspri, la Scaglia toscana e il Macigno.

La Successione Metamorfica di Punta Bianca, corrispondente all'Unità di Punta Bianca (Ciarapica *et alii*, 1985), presenta una potenza complessiva superiore ai 280 m. Nel suo ambito si distinguono a partire dal basso 3 unità litostratigrafiche: le rocce paleozoiche del basamento già deformate dall'Orogenesi Ercinica, il ciclo sedimentario medio-triassico (Elter & Federici, 1964; Martini *et alii*, 1985, 1986; Passeri, 1985) e la porzione basale del ciclo sedimentario alpino (Martini *et alii*, 1985, 1986; Passeri, 1985; Ciarapica *et alii*, 1985), quest'ultima correlabile su scala regionale al Gruppo del Verrucano (sensu Rau & Tongiorgi, 1974; Tongiorgi *et alii*, 1977). La successione affiora lungo la dorsale a est di La Spezia, tra la città e la foce del F. Magra. I rapporti tra le diverse unità sono illustrati nella Fig. 5.4.

Il basamento**,** costituito dalle "filladi e quarziti di Buti" (età Ordoviciano sup.; Rau & Tongiorgi, 1974), è rappresentato esclusivamente in limitate aree circostanti la Punta Bianca. Il ciclo medio-triassico, trasgressivo sulle rocce del Basamento Ercinico, affiora solo nel promontorio orientale. Il Gruppo del Verrucano, arealmente il più esteso, affiora sia sul promontorio orientale, tra Punta Bianca ed Ameglia, nel tratto tra Lerici-Pitelli e la centrale termoelettrica di La Spezia comprendente anche il sito in esame, sia a nord-est di La Spezia, alla base dei rilievi e nell'intorno del cimitero.

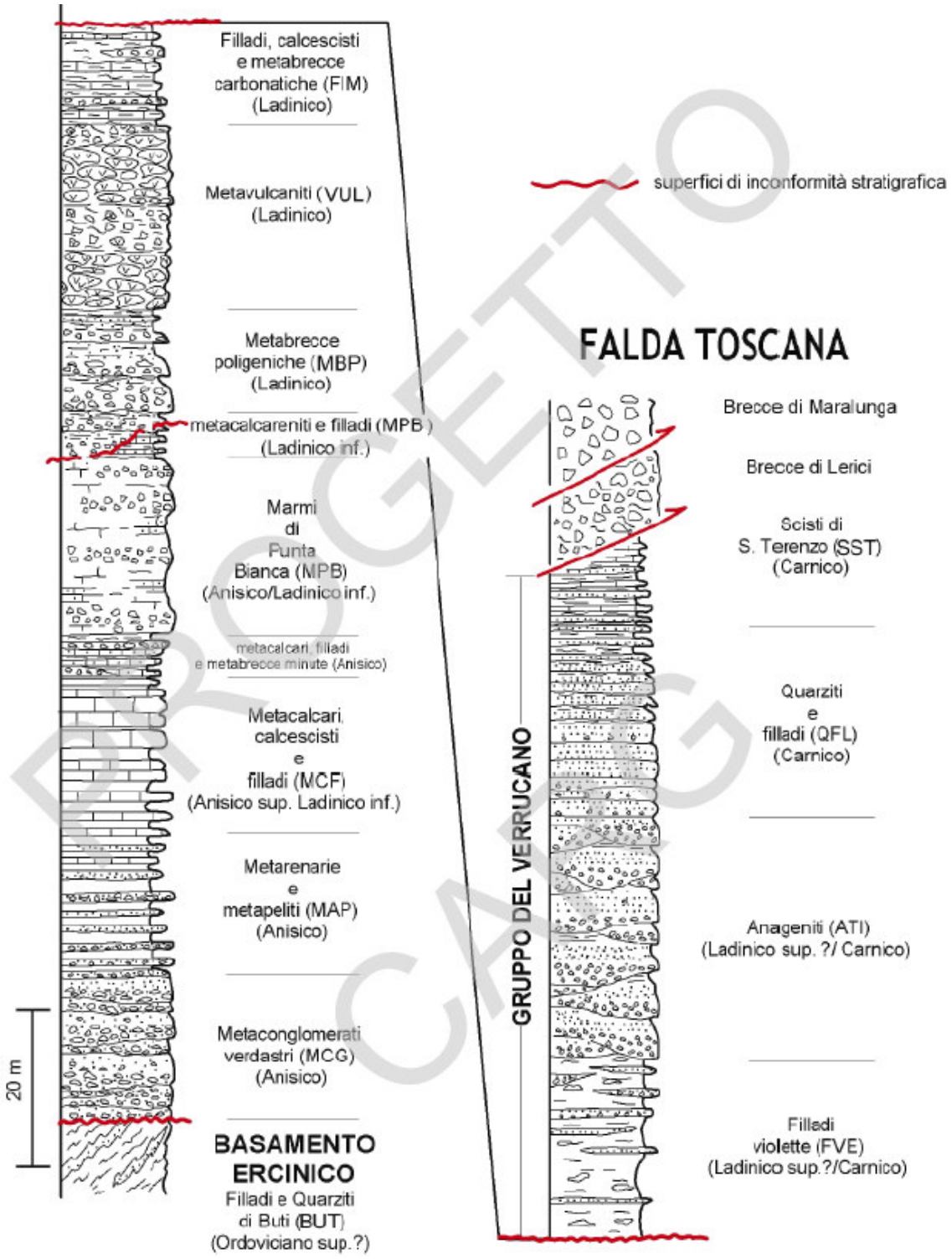


Figura 5.4 – Schema litologico-stratigrafico della Successione Metamorfica di Punta Bianca (Abbate *et alii*, 2005), affiorante lungo il promontorio orientale del Golfo dal margine della Città sino al Promontorio di Punta Bianca (Figg. 5.2, 5.3a). L'area di interesse si localizza interamente nell'ambito delle "Quarziti e filladi" (QFL), unità compresa nella porzione superiore del Gruppo del Verrucano. Al Gruppo del Verrucano fanno seguito verso l'alto, tramite contatti di tipo tettonico, le "Brecce di Lerici" e le "Brecce di Maralunga", costituenti l'orizzonte cataclastico che caratterizza il sovrascorrimento della sovrastante Falda Toscana sulla Successione metamorfica.

Il **Gruppo del Verrucano**, correlabile alla tipica successione del Verrucano dei M. Pisani (età Ladinico superiore? - Carnico; Rau & Tongiorgi, 1974; Tongiorgi *et alii*, 1977; Martini *et alii*, 1986) comprende, a partire dal basso:

- "Filladi violette": filladi e metasiltiti violacee e rossastre con locali intercalazioni di strati quarzitici grigi e grigio-rosati (Abbate *et alii*, 2005). Sono rilevabili estesamente dalla costa ad occidente di Punta Bianca alla zona di Ameglia; altri affioramenti sono presenti lungo la strada provinciale Ameglia – Montemarcello. Lo spessore di quest'unità è variabile, anche in relazione alle laminazioni tettoniche che ha subito alla base, rappresentata dalla superficie di scorrimento del Gruppo del Verrucano sul sottostante Ciclo medio-triassico. Nella zona a monte di Punta Bianca e in quella di Ameglia può raggiungere spessori fino ad oltre 50 m. L'età, in base a considerazioni stratigrafiche a scala regionale, è attribuibile al Ladinico superiore ?-Carnico (si *cfr*. Formazione della Verruca, Rau & Tongiorgi, 1974).
- "Anageniti": metaconglomerati quarzosi con clasti da sub-angolari a sub-arrotondati di taglia media, in matrice quarzoso-filladica. Costituiscono strati e banchi con spessore sino ad alcuni metri, la stratificazione non sempre risulta evidente a causa dei contatti di tipo erosivo, amalgamazioni e fenomeni di canalizzazione tra i diversi banchi. L'unità, oltre ad affiorare estesamente tra Cala Marola ed Ameglia, è esposta a monte della provinciale Ameglia-Bocca di Magra. Lo spessore massimo è circa di 50-60 m. L'età, in base a considerazioni stratigrafiche a scala regionale, è attribuibile al Ladinico superiore ? - Carnico ? (cfr. Formazione della Verruca, Rau & Tongiorgi, 1974).
- "Quarziti e filladi": quarziti con interstrati metasiltitici e filladici in strati da centimetrici a decimetrici. Si rilevano estesamente nelle aree tra Lerici e La Spezia, oltre ad essere presenti a tetto delle "anageniti" tra Cala Marola e Ameglia. Presso Ameglia e Lerici questa unità costituisce localmente scaglie tettoniche a tetto o all'interno delle "brecce di Lerici". Le esposizioni più rappresentative sono riconoscibili ad occidente di S. Terenzo, nel tratto di costa di Punta Galera, e tra Pitelli e la zona industriale di La Spezia, in corrispondenza degli sbancamenti realizzati lungo la viabilità locale e le discariche esistenti. Lo spessore complessivo è dell'ordine dei 60 m. Età: Carnico.
- "Scisti di San Terenzo": alternanza di quarziti talora carbonatiche grige e metacalcari grigi o giallastri, con intercalazioni di filladi e metasiltiti varicolori, in strati da alcuni centimetri sino ad alcuni decimetri. A luoghi la successione è composta solo da alternanze carbonatico-filladiche, con litologie carbonatiche a tratti prevalenti. I litotipi carbonatici

presentano spesso fenomeni di decalcificazione ocracea e/o di brecciatura. L'unità affiora localmente a tetto del Gruppo del Verrucano nelle aree tra Cala Marola (c/o Punta Bianca) e Ameglia e tra Lerici e Punta Galera (ad ovest di S.Terenzo). In entrambe le aree questa unità costituisce da sola o con le sottostanti "quarziti e filladi" anche delle scaglie tettoniche piuttosto estese che poggiano o sono presenti all'interno delle "brecce di Lerici". La porzione sommitale degli "scisti di San Terenzo" è interessata spesso da vistosi fenomeni di brecciatura. La superficie limite superiore con le soprastanti "brecce di Lerici" è brusco e verosimilmente di natura tettonica. Lo spessore massimo affiorante è di 30 ÷ 40 m. L'unità è stata attribuita al Carnico, sia per la sua posizione stratigrafica, che per correlazione con le corrispondenti formazioni affioranti in altre aree dell'Appennino settentrionale. La presenza di fossili del Carnico superiore nelle "dolomie di Coregna", presenti alla base della Falda Toscana, ha fatto ipotizzare una possibile originaria continuità stratigrafica tra gli "scisti di San Terenzo"e le unità carbonatiche triassiche della Falda Toscana stessa (Ciarapica *et alii*, 1985; Ciarapica & Passeri, 1994 con rif. bibl.).

L'orizzonte cataclastico interposto tra la Falda Toscana e la Successione Metamorfica di Punta Bianca comprende le **Brecce tettoniche**:

- "Brecce di Lerici" (Abbate *et alii*, 2005): brecce massive o grossolanamente suddivise in banchi metrici di colore giallastro e con aspetto talora vacuolare ("cavernoso"). Gli elementi detritici estremamente eterometrici (da pochi mm fino a blocchi di taglia decimetrico-metrica) sono rappresentati da clasti degli "scisti di San Terenzo": calcari grigi e giallastri, localmente decalcificati, filladi grigie e verdastre e, subordinatamente, quarziti. Il legante è costituito da cemento calcitico. Le brecce di Lerici" possono includere porzioni di successioni quarzitico-filladiche e, talora, anche carbonatiche interpretabili come scaglie tettoniche di dimensioni metrico-decametriche provenienti dalla porzione sommitale della Successione Metamorfica di Punta Bianca ("quarziti e filladi", "scisti di S. Terenzo). L'unità affiora estesamente tra Lerici e S. Terenzo-Punta Galera, mentre più a sud, tra Cala Marola (c/o Punta Bianca) e Ameglia, sono ristrette ad una fascia stretta e discontinua. L'origine è riferibile ai fenomeni cataclastici e di scagliatura tettonica ("breccia tettonica" p.p., Ciarapica, 1988; "fault rock" p.p., Storti, 1995) occorsi durante gli eventi deformativi miocenici alla sommità della Successione Metamorfica di Punta Bianca. Le strutture sedimentarie riconosciute all'interno di questa unità sarebbero, invece, da riferirsi a locali fenomeni di rielaborazione carsica. La distribuzione dell'unità è fortemente discontinua,

dove presente lo spessore risulta molto variabile, generalmente nell'ordine di 4 ÷ 5 m, può arrivare localmente a superare i 30 ÷ 35 m.

- "Brecce di Maralunga" (Abbate *et alii*, 2005). L'unità comprende varie litologie: *a)* - brecce massive e *b)* - brecce vacuolari, entrambe con clasti esclusivamente carbonatici e con aree dolomitiche pulverulente grigiocenere; *c)* - calcari grigio scuri e calcari dolomitici grigio chiari massivi con estese aree carsificate in modo pervasivo; *d)* - brecce carbonatiche con presenza di marne giallastre-nocciola (probabilmente riferibili al "membro dei calcari e marne di M. Santa Croce" della Formazione di La Spezia); *e)* livelli di brecce carbonatiche con interposti pacchi di strati a litologia mista, tipo "calcari e marne di M. Santa Croce", variamente disarticolati. L'unità è presente sia nel promontorio occidentale che in quello orientale di La Spezia, lungo quest'ultimo in particolare costituisce una striscia pressoché continua tra Capo Corvo ed Ameglia ed affiora lungo la costa tra Punta di Maralunga e Punta delle Stelle. Le superfici di contatto con le formazioni sottostanti e sovrastanti sono di tipo tettonico. A NO di La Spezia, tra Bersedo e S. Anna, le "brecce di Maralunga" si trovano sul fianco rovesciato della piega di La Spezia, in prossimità del nucleo, a contatto con le "dolomie di Coregna" o con la Formazione di La Spezia ("membro dei calcari e marne di M. S.Croce"). Lo spessore apparente massimo in affioramento è di circa 60 m. L'unità rappresenta un orizzonte cataclastico ("breccia tettonica" p.p., Ciarapica, 1988; "fault rock" p.p., Storti, 1995) formatosi a spese delle unità inferiori della Successione Toscana ("dolomie di Coregna" e Formazione di La Spezia, "membro dei calcari e marne di M. Santa Croce"). Su queste brecce tettoniche si sono sovraimposti fenomeni carsici, dovuti sia a dissoluzione pervasiva che a precipitazione di cementi microcristallini. Nell'attribuzione cronologica occorre distinguere l'età dei clasti, triassica superiore, da quella della matrice verosimilmente molto più recente. Per quanto riguarda l'età di formazione del corpo delle brecce, le caratteristiche indicano una posizione alla base della Falda Toscana, un'origine tettonica a spese delle formazioni più antiche ed una genesi precedente alla formazione della piega rovesciata, di cui questo livello costituisce il nucleo. L'insieme di questi elementi è indicativo di un'età precoce nell'ambito delle fasi deformative dell'orogenesi appenninica (Miocene medio-superiore).

La successione sedimentaria della **Falda Toscana** comprende, a partire dalla base, una serie di unità a composizione dapprima calcareo-dolomitica, poi calcareo-silico-marnosa, argillitico-marnosa e, infine, arenaceo-marnosa, di età compresa nell'insieme dal Trias superiore

all'Oligocene superiore. La Falda Toscana nel suo complesso si presenta sradicata è sovrapposta, tramite l'orizzonte cataclastico di brecce tettoniche, ai termini metamorfici (Unità di Massa). In relazione alla traslazione subita e alla presenza di ulteriori dislocazioni tettoniche al suo interno, la successione sedimentaria conservatasi risulta spesso incompleta. Quale schema di riferimento per l'assetto del settore a SE di La Spezia, in cui rientra il sito in esame, può essere assunta la sezione geologica di M. Brandi, ubicata trasversalmente al promontorio orientale, tra la costa e la valle del F. Magra (Fig. 5.5).

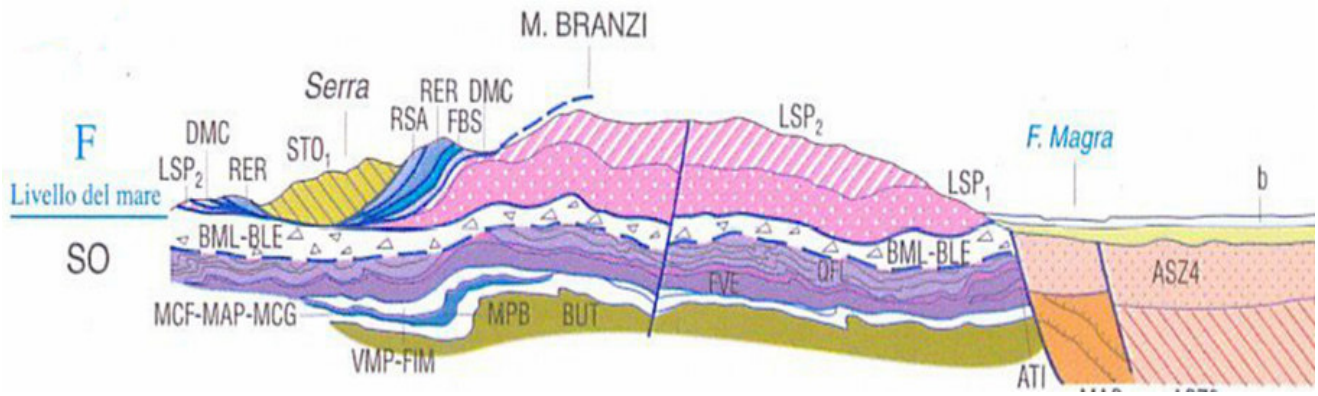


Figura 5.5 – Stralcio della sezione geologica disposta SO – NE attraverso il promontorio orientale, in corrispondenza dell'allineamento Lerici – Sarzana (modificato dal F. 248 – La Spezia, Serv. Geol. It., 2005). Lungo il versante ovest del M. Branzi si rileva, a partire dai termini in posizione geometrica inferiore, la successione seguente:
- basamento, "Filladi e quarziti di Buti (sigla BUT);
- Ciclo sedimentario medio-triassico: unità MAP, MPU, MPB;
- Gruppo del Verrucano: "Filladi violette" (FVE), "Anageniti" (ATI), "Quarziti e filladi" (QFL);
- Brecce tettoniche: "Brecce di Lerici" (BLE), "Brecce di Maralunga" (BML);
- Falda Toscana: Formazione di La Spezia (LSP1, LSP2), Dolomie di M. Castellana (DMC), Formazione di Biassa (FBS), Formazione di Ferriera (RER), Rosso Ammonitico (RSA), Scaglia Toscana (STO1), Macigno (MAC).

La successione della Falda Toscana presente nell'intorno dell'esteso affioramento del Gruppo Verrucano compreso tra La Spezia, Arcola e Pitelli (Fig. 5.3a) include, a partire dal basso, le unità (Abbate *et alii*, 2005):

- Formazione di La Spezia, costituita dai membri sovrapposti dei:
  - "calcari e marne di Monte Santa Croce" (LSP1), alternanza di calcilutiti, marne e calcareniti, con intercalazioni di dolomie, in strati e banchi da decimetrici a metrici; spessore noto 160 m;

- "membro dei calcari Portovenere" (LSP2), calcilutiti in strati decimetrici organizzati in banchi di spessore metrico con interstrati marnosi o dolomitici; spessore accertato sino a 80 ÷ 100 m.

- "Dolomie del M. Castellana" (DMC), dolomie più o meno calcaree, saccaroidi, massive o grossolanamente stratificate, con plaghe riconoscibili più o meno estese di calcilutiti con tracce di stratificazione; spessore compreso tra 100 ÷ 200 m.
- "Formazione di Biassa" (FBS), dolomie calcaree prevalenti con subordinati calcari dolomitici, in strati variabili da 10 cm a 4 ÷ 5 m, regolarmente alternate a interstrati calcareo-dolomitico-marnosi spessi qualche centimetro; spessore complessivo sino a 100 m.
- "Formazione di Ferriera" (RER), Calcilutiti marnoso-siltose in strati mediamente spessi 30 ÷ 50 cm, regolarmente alternate a interstrati marnosi. Spessore complessivo circa 150 m.
- Rosso Ammonitico (RSA), calcilutiti marnose in strati spessi mediamente 30÷50 cm, regolarmente alternati a marne spesse 10÷15 cm, passanti nella parte intermedia a calcilutiti marnose e marne a struttura nodulare. Nella parte alta presenza di uno o più livelli con strutture da slumping, passanti lateralmente a debris-flow, costituiti da livelli metrici di brecce a matrice marnosa molto ridotta e clasti calcilutitici; spessore riconosciuto variabile da 2 a 30 m.
- "Diaspri" Prevalenti radiolariti in strati spessi da 3 a 15 cm con interstrati millimetrici di argilliti rosse, con subordinate marne silicee in strati budinati; spessore variabile da 30 a 70 m.
- Scaglia Toscana "membro delle argilliti di Brolio" (STO1), argilliti e calcareniti fini con rarissimi livelli silicei; spessore sino a 100 m.
- Macigno (MAC), sequenza torbiditica in strati da sottili a molto potenti (vari metri), con prevalenza di arenarie medie o grossolane, talora con superfici basali erosive o amalgamate, e peliti marnose. Localmente è presente una "litofacies pelitico-siltosa" (MACb), costituita da argilliti e argilliti siltose, in strati da centimetrici a decimetrici; lo spessore riconosciuto nell'area, alcune centinaia di metri, è molto inferiore a quello complessivo noto per l'unità (2400 m).

La successione relativa alla Falda Toscana affiorante sul promontorio orientale presenta blandi piegamenti simmetrici con tendenza al rovesciamento lungo costa, come ad esempio a Punta Bianca (Abbate *et alii*, 2005). Tale assetto è stato riferito alla presenza di una piega rovesciata, analoga a quella del promontorio occidentale (Robbiano, 1996). In questo caso affiorerebbe solo il

fianco normale e una porzione della cerniera mentre il fianco rovescio della piega sarebbe in parte sotto il livello del mare e in parte eliso tettonicamente. I rapporti fra il possibile fianco normale e la cerniera, tuttavia, non sono del tutto chiari.

4.2 Assetto tettonico

Nell'ambito del settore appenninico comprendente il Golfo di La Spezia si individuano, sulla base della giacitura delle unità e la configurazione delle principali deformazioni sovraimposte, settori con assetti strutturali nettamente diversificati (Abbate *et alii*, 2005):

a) – il promontorio occidentale del golfo di La Spezia;

b) – il promontorio orientale e l'entroterra di La Spezia;

c) – il bacino di Sarzana;

d) – l'area a NE del bacino di Sarzana;

e) – le aree marine.

Ai fini della caratterizzazione di area vasta della zona di intervento rivestono specifico interesse i settori relativi al promontorio orientale – entroterra e l'adiacente bacino di Sarzana.

Il primo settore corrisponde all'ampia area compresa tra la faglia di La Spezia, ad ovest, e la faglia di Ameglia, lungo il bordo occidentale del bacino di Sarzana, ad est. Nell'area affiorano la Successione Metamorfica di Punta Bianca, la Falda Toscana e le Unità Liguri e Sub-Liguri. Relativamente estesi sono anche gli affioramenti delle brecce tettoniche interposte tra la Falda Toscana e la Successione Metamorfica (Serv. Geol. It., 2005). La geometria delle deformazioni è più complessa che nel promontorio occidentale, anche se resta comune il sostanziale orientamento appenninico delle strutture e la tendenza generale delle linee di cerniera ad essere inclinate verso nord. La struttura principale è l'anticlinale che coinvolge la Successione Metamorfica e che ha evidente vergenza tirrenica. Tra Lerici e La Spezia la sovrastante Falda Toscana, con una generale struttura di blanda anticlinale, è interessata da superfici tettoniche a basso angolo, che riducono o elidono numerose unità (Abbate *et alii*, 2005). La faglia di La Spezia e quella di Ameglia hanno abbassato sistematicamente i blocchi orientali dei promontori durante il Plio-Quaternario ed impartito ai blocchi abbassati una pendenza di massima verso occidente. Il blocco abbassato della faglia di La Spezia non ha costituito un'area di richiamo per la deposizione di quantità rilevanti di sedimenti neogenici, come invece è avvenuto per il blocco abbassato della faglia di Ameglia al margine del bacino di Sarzana.

Il bacino di Sarzana comprende, sia l'ampia pianura del Magra e del tratto finale del Vara, sia i rilievi che la fiancheggiano. L'area è delimitata verso sud est dalla foce del Magra, mentre nelle altre direzioni è delimitata dalle faglie ad alto angolo presenti (o presunte) ai bordi del bacino

di Sarzana. All'interno dell'area affiorano successioni fluviali e lacustri del Miocene superiore?-Pleistocene (Serv. Geol. It., 2005). Di queste ultime, quelle stratigraficamente inferiori si trovano in corrispondenza delle colline del margine orientale e sono caratterizzate da pendenze verso SO anche di 50°, mentre quelle più recenti hanno giaciture orizzontali e le loro aree d'affioramento sono mediamente spostate verso l'asse della valle. Nella parte centrale ed occidentale del bacino queste successioni scompaiono sotto i depositi alluvionali terrazzati o attuali, anche se è ragionevole ritenere che proseguano in profondità e che raggiungano spessori complessivi anche superiori al migliaio di metri (Abbate *et alii*, 2005). A partire dal Miocene superiore, l'area del bacino di Sarzana risulta caratterizzata da importanti faglie normali ad alto angolo che hanno provocato l'abbassamento e il riempimento del bacino con cospicue quantità di sedimenti continentali. L'attività delle faglie è proseguita durante la sedimentazione delle successioni più recenti, come indicato dalle giaciture inclinate di alcune di loro e dalle discordanze angolari al loro interno. La configurazione asimmetrica del substrato all'interno del bacino, inclinata verso il margine occidentale, evidenzia un maggiore sviluppo della subsidenza tettonica in corrispondenza del margine occidentale. Il bacino e le faglie che lo delimitano longitudinalmente terminano, verso NNO, in corrispondenza dell'intersezione del Vara con il Magra, in corrispondenza di alcune faglie anti-appenniniche orientate NE-SO. La loro presenza, particolarmente evidente nelle riprese satellitari fa ritenere verosimile che abbiano rappresentato un ostacolo all'ulteriore prosecuzione delle strutture fragili longitudinali e all'estensione verso NO del bacino di Sarzana (Abbate *et alii*, 2005).

6. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

6.1 Assetto morfologico

La dorsale collinare delimitante ad est il Golfo di La Spezia, dalla periferia cittadina al Promontorio di Punta Bianca (Fig. 6.1), rappresenta l'espressione morfologica della struttura geologica determinata dalla sovrapposizione della Falda Toscana deformata sulla successione metamorfica dell'Unità di Massa.

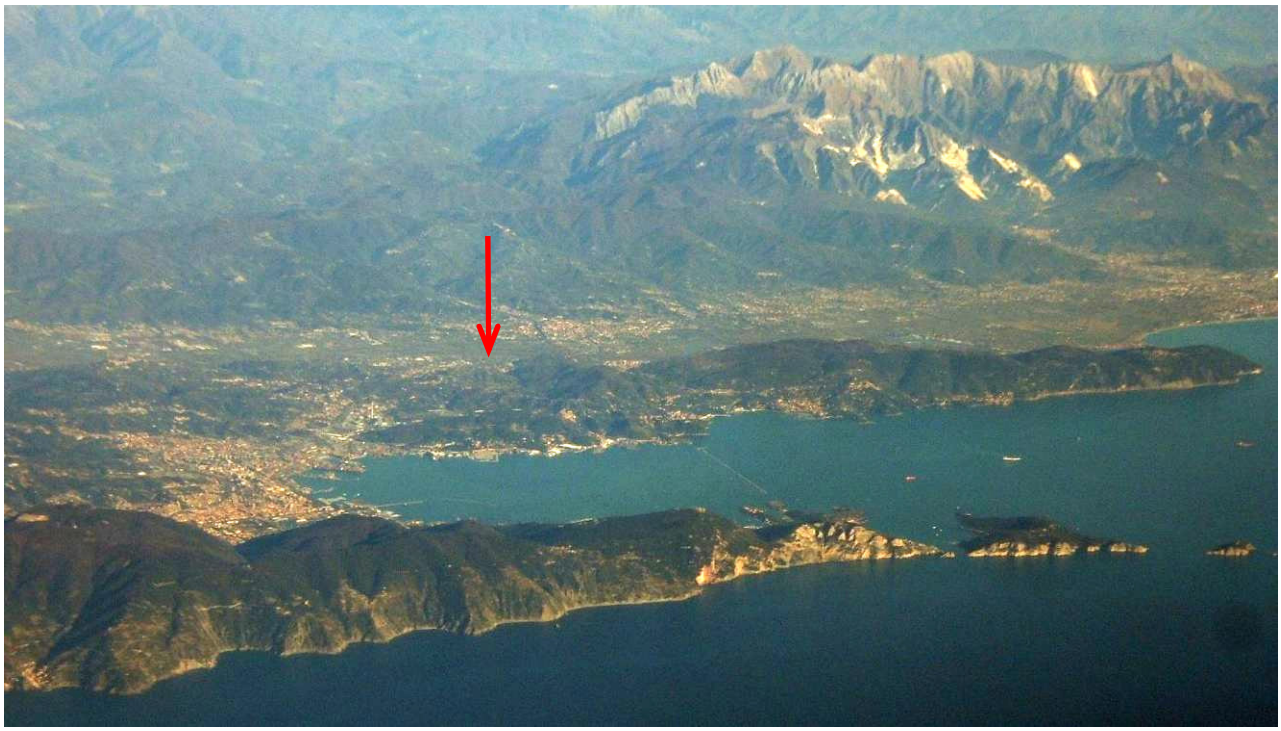


Figura 6.1 – Panoramica del Golfo di La Spezia ripresa da sud-ovest. In primo piano il promontorio occidentale con l'Isola Palmaria. Al centro della foto, oltre l'insenatura, si individua il promontorio orientale con, in secondo piano, l'ampia pianura percorsa dal F. Magra. Sullo sfondo le Alpi Apuane e l'Appennino Tosco-Emiliano. L'impianto in progetto (freccia rossa) si localizza nell'ambito del basso rilievo collinare che rappresenta l'innesto del promontorio orientale sulla piana degli Stagnoni al margine est dell'area urbana di La Spezia.

Propaggine meridionale della più ampia dorsale interposta tra la Riviera di Levante e la media Valle del Vara, il rilievo presenta nell'insieme uno sviluppo nastriforme, esteso per circa 12 km con orientazione NO–SE, e un'ampiezza limitata (2 ÷ 4 km). Verso est, la netta delimitazione della dorsale (sempre disposta NO–SE) corrisponde al sistema tettonico distensivo principale che ha controllato l'evoluzione recente del graben di Sarzana, di cui l'estesa piana del F. Magra

rappresenta il colmamento sedimentario attuale. La configurazione complessiva della dorsale, andamento lineare, orientazione sub-parallela tra loro dei versanti principali e secondari secondo direzioni preferenziali (NE–SO e NO–SE), analoga disposizione delle linee di drenaggio effimere e degli impluvi minori, evidenzia il controllo diretto della tettonica nell'impostazione e successiva evoluzione della morfologia di superficie.

A nord, il rilievo si individua a partire dalla vallecola percorsa dalla ferrovia Livorno-Genova, che dalla Val di Magra raggiunge la località Termo e l'area industriale di La Spezia. Nel primo tratto sono riconoscibili due blande dorsali allungate sempre in direzione appenninica, su cui sorgono rispettivamente gli abitati di Pitelli e Arcola, caratterizzate da quote modeste (100 ÷ 200 m slm), sommità sub-pianeggianti e limitate acclività dei versanti. Il tratto di pianura interposto percorso dalla Fossa Mastra, attualmente completamente occupato dall'area industriale e dai raccordi autostradali, deriva dalla bonifica svolta nella seconda metà dell'Ottocento dell'area paludosa salmastra condotta ("gli Stagnoni"), come riconoscibile dal confronto della cartografia storica (Corpo R. Stato Maggiore, 1827-32; IGM, 1877).

A partire dall'abitato di Pitelli, appena oltrepassata l'incisione trasversale del Canale Ressora impostata lungo una delle faglie trasversali (NE–SO) che interessano la struttura, il rilievo costituisce una dorsale unica, dalla morfologia più aspra ed elevazioni gradualmente crescenti. Le quote passano da 235 m slm del M. Grosso, a 363 m del M. Branzi, a 378 m del M. Garana, e a 270 m di Montemarcello, per degradare poco oltre sul litorale in corrispondenza della Punta Bianca.

A scala complessiva, la presenza di numerose faglie e sistemi di fratture trasversali con orientazione prossima a NE–SO, che hanno condizionato l'impostazione di piccole incisioni e impluvi trasversali interrompenti la continuità del crinale, conferisce alla dorsale un assetto segmentato, corrispondente lungo il litorale alla tipica alternanza di insenature e punte. L'elevato numero di litologie presenti, la loro eterogeneità in termini di composizione e comportamento nei confronti del modellamento esogeno, lo stato di tettonizzazione e gli elementi tettonici (sovrascorrimenti, faglie distensive e trascorrenti), determinano un'elevata morfoselezione responsabile della variabilità morfologica rilevabile lungo gran parte della dorsale alla meso e macroscala.

L'area di progetto si localizza nel tratto settentrionale del rilievo, nell'ambito della dorsale minore occidentale, compresa tra la Piana della Fossa Mastra e il litorale di San Bartolomeo. La conformazione topografica complessiva è riferibile ad un blando rilievo collinare sfumante direttamente nei tratti di pianura circostanti relativi alla ristretta fascia costiera (Lungomare di San

Bartolomeo), alla vallecola del Rio Pagliari e alle piane in posizione più interna (Stagnoni, Fossa Mastra). Il crinale principale, dalla sommità sub-pianeggiante, si sviluppa secondo la direzione NE–SO, con quote prossime ai 100 m slm. A partire da nord, si susseguono il M. Val di Locchi (104 m slm), il M. Montada (100 m slm) e il piccolo dosso (m 121 slm) a margine del cimitero di Pitelli. Quote maggiori sono raggiunte soltanto più a sud, in corrispondenza dell'altura di Rigazzara (m 161 slm) posta a margine dell'abitato di Pitelli.

La struttura del rilievo è impostata interamente nell'unità delle Quarziti e filladi (Gruppo del Verrucano), il cui assetto generale sembra evidenziare localmente la giustapposizione di strutture plicative con asse disposto NO–SE, mentre la giacitura della stratificazione mostra una maggiore variabilità. Il modellamento di superficie, pertanto, risulta improntato fondamentalmente dall'assetto giaciturale e dalla presenza degli elementi strutturali in grado di favorire lo sviluppo dei processi erosivi. L'area nel corso del Quaternario è stata soggetta ad un modellamento polifasico riferibile sia a processi di tipo areale che lineare. Nell'ambito della dorsale non sono presenti attualmente corsi d'acqua con deflusso idrico permanente. Gli unici corpi idrici sono rappresentati dalla Fossa Mastra, la cui prima impostazione risale presumibilmente al Medioevo, realizzata per facilitare il drenaggio del Pian di Pitelli e dell'area degli Stagnoni, e del Rio Pagliari anch'esso oggetto diffusamente di interventi di incanalamento. L'assetto dell'area circostante tuttavia fa ritenere che nel corso del Pleistocene medio-superiore fosse attivo un reticolo locale, inizialmente con recapito nel Golfo, quindi indirizzato verso la Val di Magra (Abbate *et alii*, 2005). Lo stato dell'ammasso roccioso, caratterizzato in genere da una fitta stratificazione e da una diffusa fratturazione, ha favorito anche lo sviluppo dei processi di modellamento areale, sopratutto nei periodi con scarsa o limitata copertura vegetale. Nelle condizioni ambientali attuali, i processi di modellamento più significativi appaiono riferibili all'azione delle acque di ruscellamento effimero, libere o incanalate, all'azione della gravità e alla degradazione atmosferica.

La configurazione originaria dei versanti, rilevabile nei tratti che non hanno subito interventi antropici, è caratterizzata in generale da acclività non elevate, assenza di scarpate e significative rotture di pendio. In relazione alla composizione delle unità lapidee presenti (quarzite) e al modellamento polifasico subito, la presenza dei terreni di alterazione e delle coperture appare estremamente ridotto sia come spessori (in genere decimetrici) che diffusione areale. Come rilevabile direttamente lungo la viabilità locale e gli estesi fronti di scavo, il substrato roccioso risulta costantemente sub-affiorante. Il telerilevamento e le analisi di terreno condotte in corrispondenza del sito e del suo areale circostante significativo non hanno rilevato la presenza di evidenze riconducibili a fenomeni di instabilità in atto o di potenziale attivazione, riferibili allo

scorrimento delle acque superficiali e/o all'azione della gravità. Indicazioni analoghe sono state fornite dalla consultazione del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) consultato sul Geoportale della Regione Liguria e di cui si riporta uno stralcio nella Fig. 6.2.



Figura 6.2 – Stralcio dell'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) relativo al territorio regionale Ligure (tratto dal Geoportale della Regione Liguria, consultazione del 25 novembre 2015). In corrispondenza dell'area di intervento (circolo blu) e del suo intorno significativo non sono riportati dissesti di natura gravitativa (indicati dai perimetri in linea rossa).

Nell'ambito della dorsale, che nel complesso presenta un'impronta ellissoidale con profili trasversali convessi, si riconoscono nel dettaglio una serie di piccoli crinali alternati a vallecole in genere a fondo piatto e prive di aste di drenaggio permanenti. La tessitura morfologica che ne deriva, di tipo pressoché geometrico con versanti, linee di deflusso effimero, impluvi, sub-paralleli e orientati generalmente NO–SE, evidenzia il ruolo svolto dagli elementi strutturali nel condizionarne il modellamento (Fig. 6.3). Tale assetto ben identificabile nella cartografia IGM della fine '800 e prima metà '900 (IGM, 1877; 1904; 1933) e nelle riprese aeree, attualmente risulta spesso poco riconoscibile sul terreno a seguito dei diffusi e rilevanti interventi antropici

condotti a partire dall'inizio del Novecento e, in particolare, nella seconda metà del secolo in tutto il settore.



Figura 6.3 – Coreografia originaria dell'area di intervento, precedentemente allo sviluppo degli insediamenti industriali nelle aree di pianura e alla realizzazione degli interventi di rimodellamento che hanno coinvolto il territorio collinare. La posizione dell'area di progetto è indicata dal perimetro rosso. Stralcio della Tavoletta 95 – SE Vezzano Ligure a scala 1:25.000 (rilievi generali del 1933 (IGM, 1933). Il lato della griglia è pari a 1 km.

Sul lato settentrionale, la bonifica della piana degli Stagnoni e il successivo insediamento dell'area industriale e della Centrale termoelettrica, insieme allo spianamento generalizzato e all'obliterazione del reticolo originario, hanno comportato nella porzione inferiore del rilievo, la realizzazione di ampi sbancamenti per lo stoccaggio del carbone utilizzato per alimentare la

centrale, per le strutture di servizio e per il deposito dei materiali di risulta. Più ad ovest, il Pian di Pitelli, la vallecola che si protrae verso sud e l'ampia testata dell'impluvio (loc. Bersaglio) è occupata dal deposito della Marina Militare il cui insediamento risale agli inizi del Novecento. Sul lato meridionale, la vallecola a fondo piatto del Rio Pagliari è occupata da attività produttive ed edifici residenziali, il corso d'acqua canalizzato e tombinato per ampi tratti risulta confinato sul lato SO. Al piede del rilievo si sviluppa in galleria il Raccordo autostradale La Spezia – Muggiano realizzato alla metà degli anni Novanta.

Il rilievo vero e proprio, dal M. Val di Locchi sino al M. Montada, è stato interessato dagli Anni Ottanta da diffuse attività di sbancamento e rimodellamento finalizzate allo stoccaggio di rifiuti che hanno comportato diffuse e rilevanti alterazioni alla configurazione morfologica originaria.

L'impianto in progetto (Fig. 6.4a) si localizza a ridosso del crinale secondario (esteso tra le quote 82 ÷ 88 m slm) che delimita la testata dell'impluvio in località Bersaglio, tra l'elevazione del M. Montada (m 100 slm) e la coppia di culminazioni poste poco più a SE (m 92 slm). La morfologia originaria del settore appare profondamente obliterata dagli interventi antropici susseguitisi a partire dalla metà degli anni Ottanta che hanno comportato estesi sbancamenti. Per una completa caratterizzazione dell'area è stata condotta un'analisi delle trasformazioni subite dal territorio a partire dagli anni Cinquanta, i cui risultati sono sintetizzati nel *par*. seguente.

L'assetto dell'area principale, che costituirà il sito di deposito, è riferibile ad un ampio e profondo sbancamento già esistente, realizzato a partire quasi dal crinale spartiacque, a margine dell'area militare, che si sviluppa tra le culminazioni locali del rilievo (M. Montada, quote 92 m slm) sino in prossimità della galleria del Raccordo autostradale (Fig. 6.4a). La localizzazione delle strutture di servizio dell'impianto è prevista nei settori semi-pianeggianti esistenti ai margini dello scavo, mentre la viabilità di accesso definitiva sarà costituita da un breve tratto di strada diramantesi dalla viabilità esistente dell'adiacente impianto di Val Bosca.

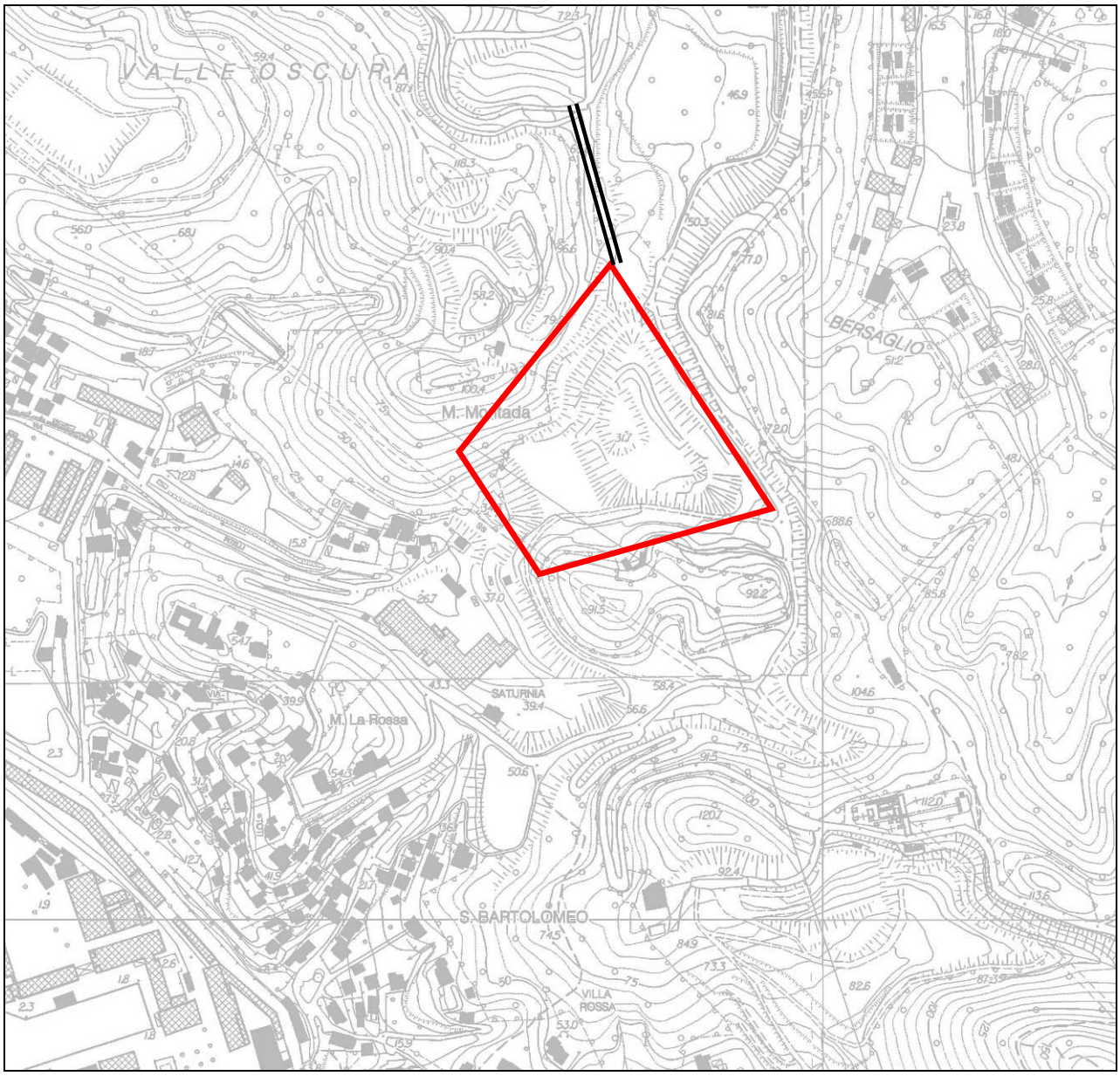


Figura 6.4a – Assetto attuale dell'area di intervento. L'impronta del sito di deposito è rappresentata schematicamente dal perimetro rosso, la doppia linea nera individua il tracciato della viabilità di accesso, che prevede la realizzazione di un breve nuovo tratto di strada, della lunghezza di circa 175 m, a partire dall'adiacente impianto di smaltimento di Val Bosca. Stralcio della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5:000 (sezioni F. 248).

Lo sbancamento è stato realizzato in corrispondenza della confluenza di due modesti impluvi, confluenti in origine in una linea di drenaggio effimera a sua volta tributaria in destra idrografica del Rio Pagliari, il cui corso inferiore è stato canalizzato a margine della Strada per Pitelli. L'assetto morfologico originario è ben riconoscibile nelle riprese aerofotografiche 1954 del Volo IGM-GAI (Fig. 6.6), nonché nella prima elaborazione della Carta Tecnica Regionale (Fig. 6.4b).

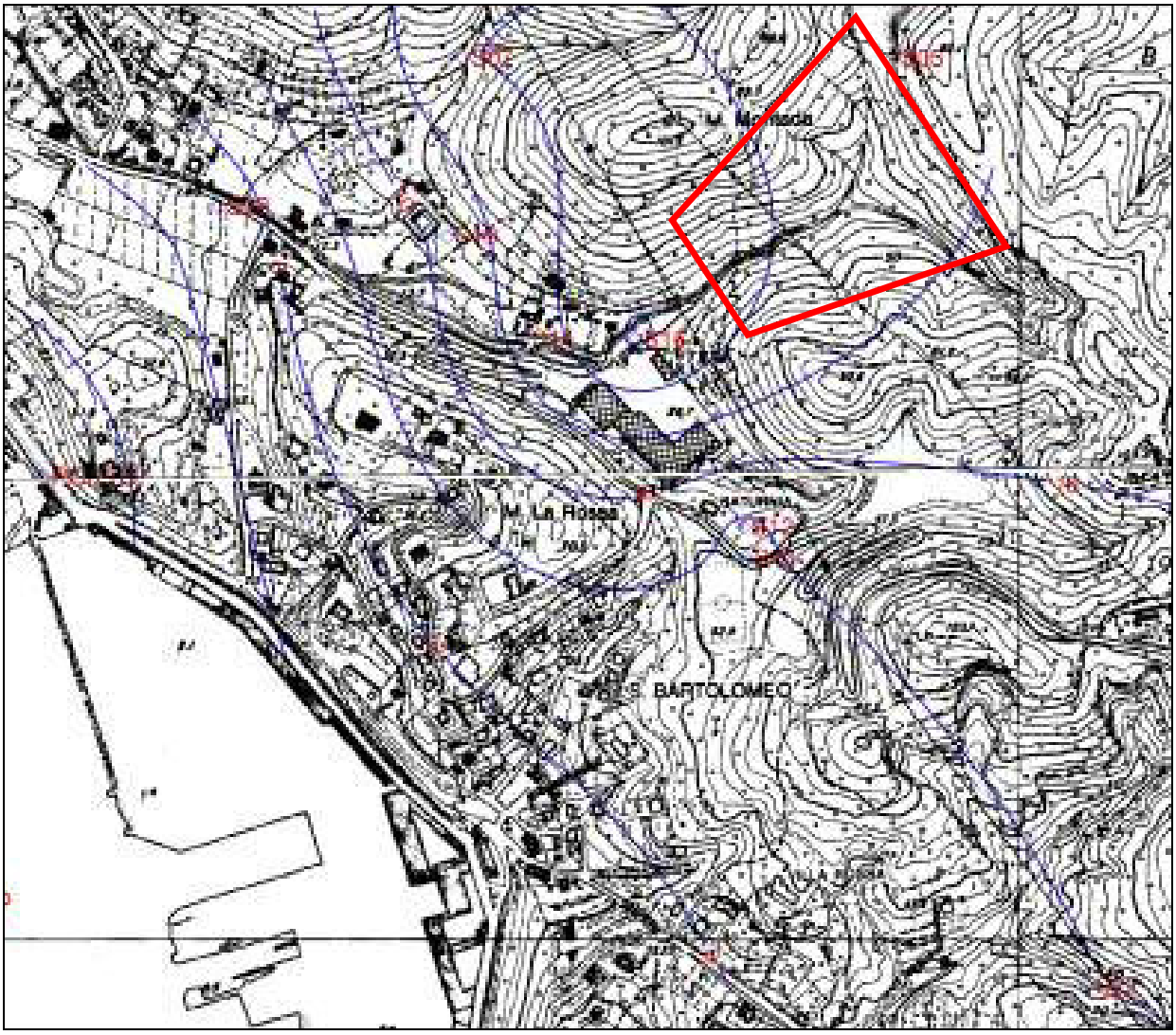


Figura 6.4b – Assetto topografico originario dell'area di progetto, precedentemente all'esecuzione dello sbancamento attualmente presente, realizzato alla metà degli anni Ottanta. Stralcio della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5:000 (sezioni F. 248), prima edizione. L'impronta del sito di deposito è rappresentata schematicamente dal perimetro rosso.

Planimetricamente la sua configurazione è riferibile nell'insieme a un'area trapezoidale (Fig. 6.5), con il margine orientale corrispondente alla base maggiore, lunga circa 300 m, disposta secondo la direzione NE–SO. La base minore, lunga circa 60 m, costituisce il margine occidentale ubicato in corrispondenza dell'originale sbocco dell'impluvio tributario del Rio Pagliari, in prossimità della galleria artificiale del Raccordo (circa 25 m a monte). La distanza relativa tra le due basi è di circa 250 m.



Figura 6.5 – Panoramica dell'area scavata ripresa nella seconda metà degli anni Novanta. Nell'angolo in alto a destra della foto è visibile parte della recinzione del comprensorio della Marina Militare. In corrispondenza dello sbancamento l'assenza della copertura arborea non ancora sviluppatasi consente di riconoscere la geometria delle gradonature e l'iniziale posa in opera del manto impermeabilizzante sul fondo. Sul margine SO (angolo in basso a sinistra) si intravede, coperto dalla vegetazione, il cumulo di cenere di carbone e RSU deposto nella prima fase di utilizzo del sito.

Il perimetro sommitale esterno si sviluppa tra le quote 60 ÷ 70 m slm sul lato NE, e i 45 ÷ 50 m del lato SO, dove è presente una sorta di argine costituito da un cumulo di ceneri derivanti dalla combustione del carbone e RSU deposti nella prima fase di impianto nel corso degli anni Ottanta. La realizzazione del nuovo impianto in progetto prevede la rimozione di questi materiali e il loro ri-allocamento una volta completata la realizzazione del manto di impermeabilizzazione. Sul lato interno, il piede dell'argine definitivo a contenimento dell'accumulo è previsto alla quota di circa 30 m slm.

Lo scavo è conformato lungo il perimetro interno secondo una serie di gradonature di altezza compresa generalmente tra 5 e 10 m, sormontate da piste di servizio e unite da rampe di raccordo. L'acclività media delle scarpate sulle gradonature è compresa tra 30 e 45°, mentre inclinazioni sensibilmente maggiori (60 ÷ 80°) si rilevano lungo alcuni tratti delle scarpate scavate a margine dell'area e lungo le piste di cantiere esistenti. Il fondo dello scavo, configurato a catino con piano orizzontale posto alla quota di 31 ÷ 32 m slm, è rivestito con teli impermeabili in HDPE

e dotato di una tubazione di allontanamento delle acque di precipitazione. Nell'ambito dell'intervento è prevista la rimozione di tale copertura e la realizzazione ex-novo di un rivestimento di fondo unitario per l'intero sito di deposito.

Dalle informazioni acquisite lo sbancamento nella configurazione complessiva attuale è stato realizzato attorno alla metà degli anni Ottanta. Da allora le pareti di scavo sono state lasciate inalterate, senza interventi di rivestimento o protezione. La stessa copertura attuale, composta da arbusti e specie arboree tipiche della vegetazione costiera e della macchia mediterranea, deriva dallo sviluppo spontaneo della vegetazione avutosi nel corso degli ultimi venti anni. I rilievi di terreno svolti, tuttavia, hanno confermato le condizioni di sostanziale stabilità del sito e dei fronti di scavo. Nonostante nel periodo trascorso dalla sua realizzazione si siano verificati ripetuti eventi meteo-idrologici anche di rilevante intensità (piogge 30 min = 30 ÷ 50 mm; piogge 24 ore = 200 ÷ 250 mm; per maggiori dettagli si confronti l'analisi delle precipitazioni svolta nell'ambito della Relazione idraulica acque meteoriche), non è stata rilevata la presenza di significativi fenomeni di instabilità derivanti dallo scorrimento idrico superficiale e/o dall'azione della gravità. Anche in corrispondenza delle pareti di scavo sub-verticali, le uniche azioni di modellamento evidenziabili sono relative ai limitate mobilizzazioni dei terreni a granulometria più fine derivanti dai lembi residui delle coperture o dalle porzioni di roccia maggiormente fratturate, erose dalle acque di ruscellamento e deposte al piede delle scarpate.

6.2 Ricostruzione delle trasformazioni recenti subite dall'area

Per una ricostruzione completa delle caratteristiche del sito e, modo specifico, per poter analizzare l'assetto originario precedentemente agli interventi di rimodellamento riconosciuti, i rilievi di terreno e la consultazione della cartografia storica è stata integrata con l'esame delle riprese aerofotografiche disponibili. Stralci delle immagini maggiormente rappresentative sono riportate nel seguito.

Le prime foto aeree utilizzabili sono della metà del Novecento (volo GAI dell'Agosto 1954), nonostante la quota elevata di ripresa, per la nitidezza delle immagini e l'epoca precedente allo svolgimento degli interventi di maggiore impatto consente di riconoscere nel dettaglio l'assetto dell'area in cui sarà realizzato lo sbancamento attualmente presente (Fig. 6.6).

Le immagini successive, riprese rispettivamente nel 1971 (Fig. 6.7) e nel 1981 (Fig. 6.8), documentano le trasformazioni attuate nel territorio circostante, in particolare la progressiva urbanizzazione del fondovalle del Rio Pagliari e gli sbancamenti nella vallecola posta più a settentrione.

Lo sbancamento realizzato attorno alla metà degli anni Ottanta e la sua prima fase di utilizzo è osservabile nelle riprese del 1988 (Fig. 6.9). Una volta cessate le attività al suo interno si assiste ad un progressivo sviluppo della copertura vegetale spontanea. Nel periodo più recente, anni 2004 (Fig. 6.9) e 2007 (Fig. 6.10), le trasformazioni più rilevanti si rilevano nei settori adiacenti, con il ripristino degli scavi svolti lungo la vallecola a nord, l'impostazione e l'entrata in esercizio dell'impianto di Val Bosca, l'urbanizzazione del fondovalle del Rio Pagliari e la costruzione del Raccordo stradale La Spezia – Muggiano.

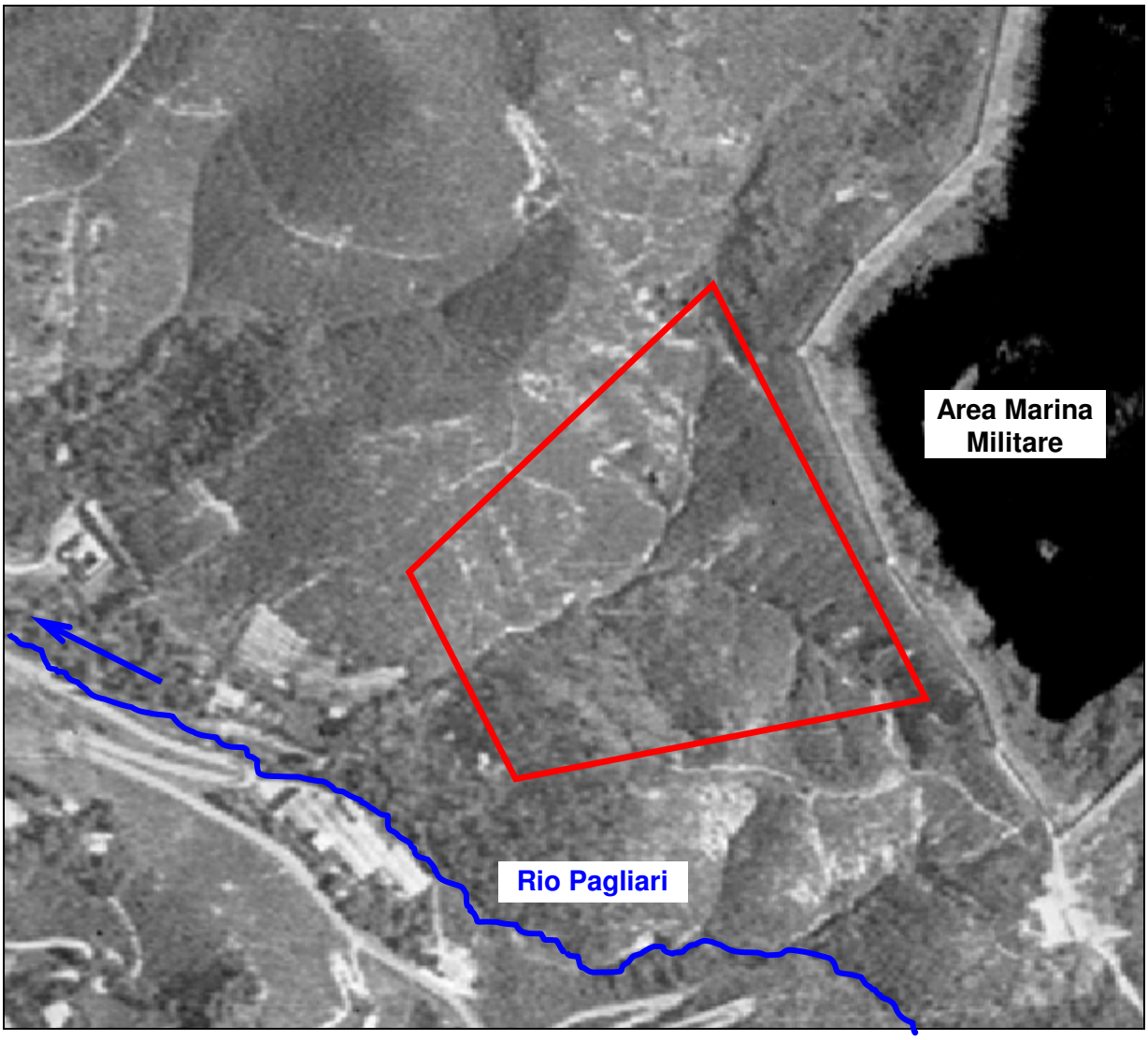


Figura 6.6 – Ripresa aerea 1954 del sito di progetto. L'area interessata successivamente dallo sbancamento (perimetro indicativo in rosso) corrisponde alla confluenza di due piccoli impluvi nell'asta disposta verso SO, a sua volta tributaria del Rio Pagliari. Il corso d'acqua (in azzurro) con origine nei pressi del cimitero di Pitelli scorre al margine della strada per Pitelli (tornanti visibili nell'angolo in basso a sinistra) con un alveo ancora non rettificato. Volo IGM-GAI, ripresa in b/n del 3 agosto 1954, strisciata 55, stralcio del fotogramma 2072.

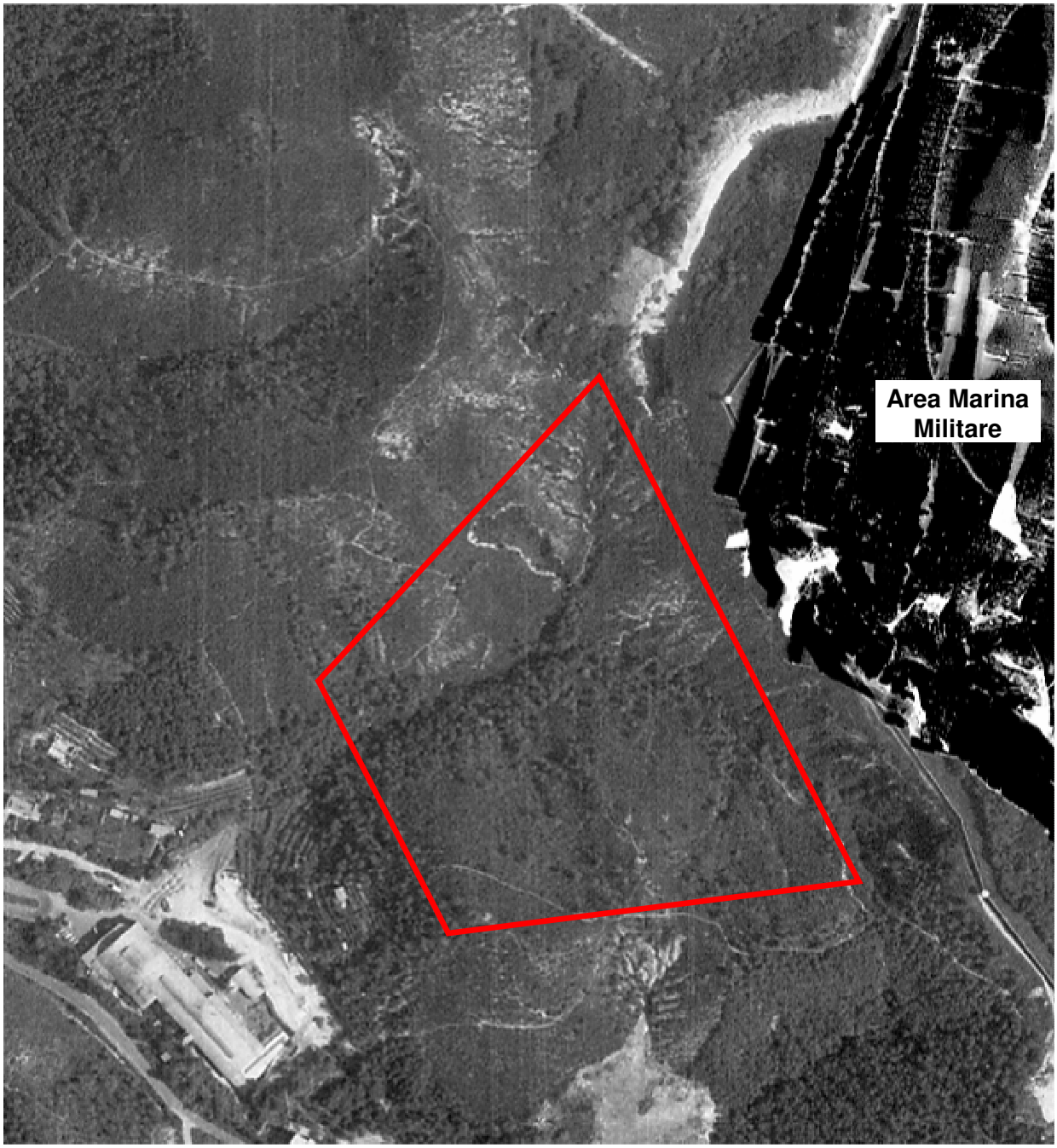


Figura 6.7 – Ripresa aerea 1971 del sito di progetto. L'area di specifico interesse è caratterizzata ancora da un assetto almeno in parte pressoché naturale. Sul lato nord è visibile tuttavia la strada sterrata di accesso alla parte superiore del rilievo realizzata per il trasporto dei rifiuti che saranno accumulati nelle aree limitrofe sede di discarica (Val Bosca, ecc.). Allo sbocco della vallecola si riconoscono dei terrazzamenti agricoli. L'ampliamento dello Stabilimento PBO (visibile nell'angolo in basso a destra) e la costruzione di alcuni edifici residenziali nella vallecola del Rio Pagliari comportano il progressivo "confinamento" del corso d'acqua in una ristretta fascia a ridosso della strada per Pitelli, a valle del tornante riconoscibile sul lato sinistro della foto. Volo IGM, ripresa in b/n del 2 luglio 1971, strisciata 16, stralcio del fotogramma 2873.



Figura 6.8 – Ripresa aerea 1981 del sito di progetto. Sono in atto interventi di rimodellamento nel settore più settentrionale. Nell'ambito dell'area di specifico interesse, a parte variazioni nello stato della copertura vegetale, non si osservano ancora significative trasformazioni. Nell'area circostante il fondovalle del Rio Pagliari, invece, si rileva un consistente incremento degli edifici. Volo IGM, ripresa in b/n del 2 agosto 1981, strisciata 23, stralcio del fotogramma 0008.

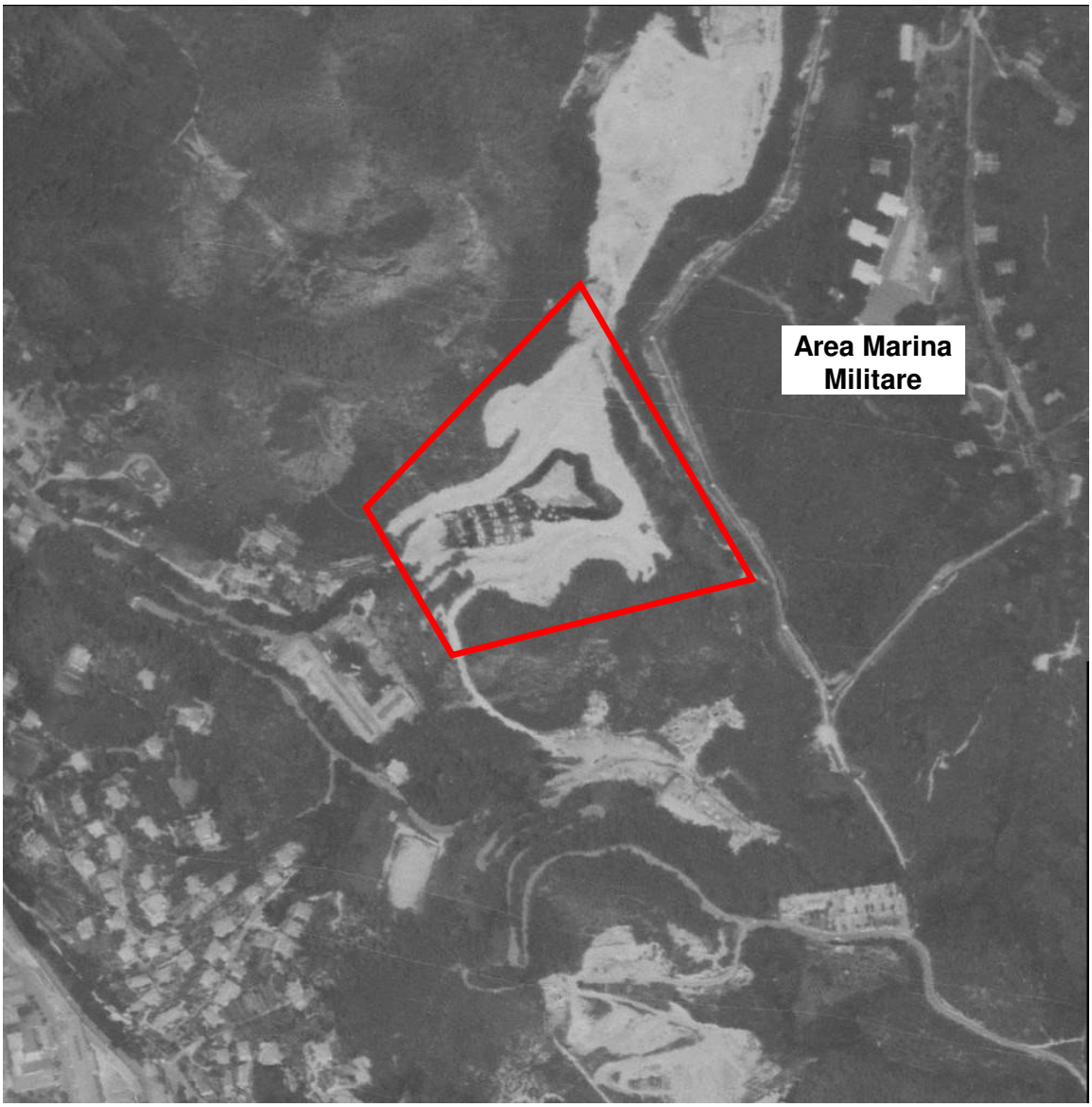


Figura 6.9 – Ripresa aerea 1988 del sito di progetto. Si riconosce l'ampio sbancamento da poco realizzato poco a sud del M. Montada (area bianca), in cui si sta procedendo anche all'abbancamento degli RSU, su cui verranno in seguito depositate le ceneri di combustione del carbone provenienti dalla Centrale termoelettrica. Nel settore più a nord si rilevano anche gli ampi sbancamenti in corso all'interno della piccola vallecola preesistente. Sul lato sinistro della foto, il fondovalle del Rio Pagliari risulta densamente edificato.

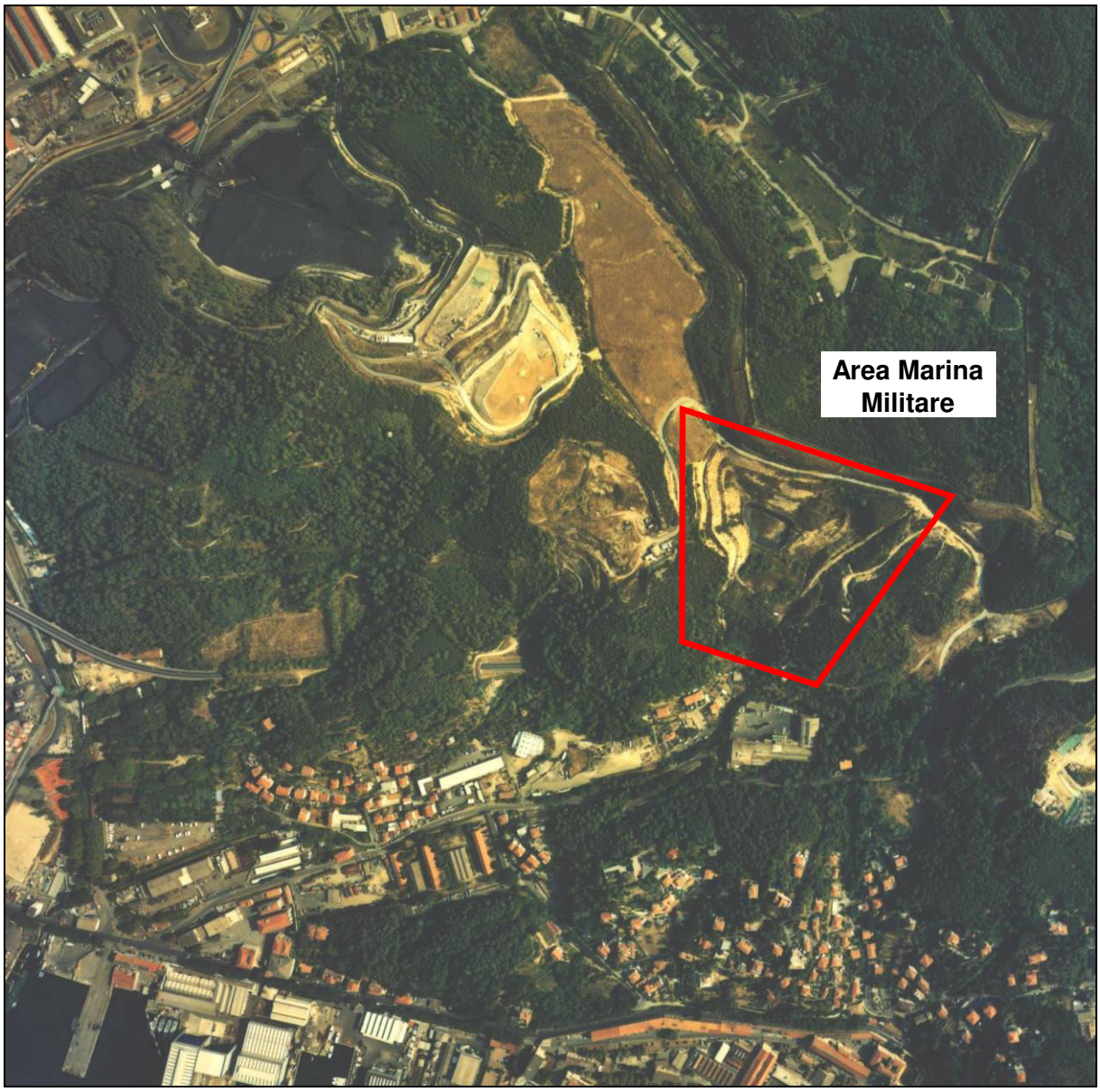


Figura 6.10 – Ripresa aerea 2004 del sito di progetto. Dopo le prime fasi di deposito di RSU e di ceneri, il bacino di stoccaggio della discarica esistente non viene più utilizzato. La vegetazione arbustiva e arborea si sviluppa progressivamente con la sola eccezione dei fronti di scavo con maggiore acclività. L'area all'interno della vallecola a nord, in precedenza parzialmente scavata, appare ripristinata con lo sviluppo anche della copertura erbacea. L'impianto di conferimento di Val Bosca è in corso di realizzazione. Sul lato superiore dell'immagine sono visibili anche i bacini di deposito del carbone a servizio della centrale termoelettrica. Sul lato a valle dell'area di progetto la vallecola del Rio Pagliari risulta oramai intensamente urbanizzata e al piede del rilievo è stato realizzato il raccordo autostradale La Spezia – Muggiano. Volo Regione Liguria, ripresa colori del 10 settembre 2004 strisciata 12, stralcio del fotogramma 274.



Figura 6.11 – Ripresa aerea 2007 del sito di progetto. Dopo la cessazione delle attività all'interno dello scavo si è ripristinata su ampie superfici la copertura vegetale composta da arbusti ed alberi, l'area ha già assunto una configurazione prossima all'attuale. Sul lato settentrionale è stata completata la copertura e il ripristino del manto erboso nella vallecola, mentre sono in funzione gli impianti di conferimento della discarica di Val Bosca. Volo Regione Liguria, ripresa in b/n del 14 settembre 2007 strisciata 8, stralcio del fotogramma 183.

6.3 Geologia dell'area di progetto

L'acquisizione degli elementi conoscitivi necessari alla formulazione del Modello geologico posto a base della Progettazione ha comportato l'esecuzione di un esteso rilievo geologico-geomorfologico nell'intorno dell'area di intervento, integrato con l'analisi aerofotogeologica delle riprese aeree. E' stato così possibile, sia verificare la rispondenza tra la cartografia geologica d'inquadramento, sia correlare puntualmente gli affioramenti con i dati di sottosuolo forniti dalle indagini geognostiche e geofisiche.

Rilievi litologico-stratigrafici di terreno sono stati condotti su un settore significativamente esteso attorno all'area di pertinenza dell'impianto, tale da consentire sia la verifica dell'area vasta, sia l'acquisizione del quadro geologico di base propedeutico alla caratterizzazione geotecnica del volume di sottosuolo significativo, necessario alla caratterizzazione geologico-tecnica e alla modellizzazione idrogeologica. I rilievi sono stati estesi al tratto di dorsale compresa tra la Via Valdilocchi, a nord, e la strada di Pitelli verso sud, dalla zona dell'esistente impianto di Val Bosca, a NO, sino in prossimità del cimitero di Pitelli verso SE. All'interno di questo ambito, il settore rilevato con maggiore dettaglio – rilievi di terreno a scala 1:500 e restituzione cartografica a scala 1:1.000 – copre un settore di circa 0,5 km², incentrato sulla prevista area di deposito che costituisce l'intervento di maggiore rilevanza del progetto (si veda l'elab. *Carta geologica di dettaglio*).

L'area di interesse si localizza nell'ambito della piccola dorsale collinare, delimitante verso SE la piana costiera di La Spezia, che costituisce il tratto iniziale del Promontorio orientale delimitante il Golfo. Con riferimento alla recente revisione del quadro geologico-strutturale condotta per la nuova Carta Geologica d'Italia – Progetto CARG (Abbate *et alii*, 2005; Serv. Geol. It., 2005), la struttura del rilievo è interamente impostata nella Successione metamorfica di Punta Bianca appartenente all'Unità tettonica di Massa. Le litologie di interesse specifico sono relative all'unità delle Quarziti e Filladi, compresa nel Gruppo del Verrucano (Fig. 6.11).

I depositi alluvionali terrazzati più recenti (età Olocene medio-superiore), costituenti la porzione superficiale della piana percorsa dalla Fossa Mastra e il colmamento della porzione basale delle vallecole modellate ai margini della collina (Fig. 6.11), presentano generalmente spessori di 5 ÷ 10 m, crescenti verso la zona centrale degli ex Stagnoni (10 ÷ 20 m) dove si sovrappongono e/o associano in eteropia a depositi paralici e salmastri. In relazione alla configurazione plano-altimetrica dell'area di intervento, interamente compresa nella porzione sommitale del rilievo, tale successione stratigrafica non interferisce in alcun modo con gli interventi in progetto, come

verificato puntualmente anche per mezzo delle indagini di sottosuolo (si *cfr*. Cap. 7. *Indagini geognostiche*).

Nell'ambito del rilievo collinare le coperture quaternarie, presenti in lembi di limitato spessore, costituiscono affioramenti limitati e discontinui, anche in relazione ai diffusi interventi di rimodellamento artificiale che ne hanno comportato la completa rimozione su aree significative. I sedimenti individuati sono riferibili fondamentalmente alle coltri detritiche derivanti dalla degradazione ed alterazione in posto della porzione subaffiorante del substrato, localmente associati a un limitato rimaneggiamento ad opera di fenomeni effimeri di scorrimento libero delle acque di superficie lungo i versanti. In relazione al diffuso stato di fratturazione delle unità lapidee del substrato e alla loro permeabilità che comportano limitati contributi allo scorrimento idrico di superficie i fenomeni di erosione e trasporto si manifestano sostanzialmente a scala puntuale, assumendo un ruolo estremamente limitato.

Le coperture superficiali includono, oltre ai terreni detritico-colluviali, depositi di origine antropica derivanti dalle attività di rimodellamento della superficie topografica e conferimento di rifiuti di varia natura (Fig. 6.11).

I materiali di discarica presenti nell'area di progetto comprendono ceneri di combustione del carbone, rifiuti solidi urbani, terre di scavo e materiali di demolizione. Per l'accumulo di rifiuti posizionato all'interno dell'invaso esistente, il progetto prevede la rimozione completa e, una volta completato il sistema di impermeabilizzazione di fondo, la sua ricollocazione nell'ambito del nuovo impianto. L'analisi della configurazione attuale del sito, l'acquisizione dei dati progettuali originari, unitamente all'esecuzione di nuove indagini geotecniche, geofisiche e ambientali (in riferimento alla Richiesta di integrazioni formulata nell'ambito della Procedura di VIA, prot. n. 2016/PG/DP69547 del 05/04/2016) ha consentito la ricostruzione puntuale dell'assetto dell'abbancamento esistente. Il modello geologico elaborato è illustrato nei Profili geologico-idrogeologici contenuti nelle Tav. D.02.04 ÷ D.02.09. E' stato così possibile riconoscere la natura del materiali depositati, le loro caratteristiche geotecniche e merceologiche, la geometria interna del deposito, la posizione del substrato lapideo e la totale assenza di percolato, sia nell'ambito della discarica che nella successione rocciosa su cui poggia. Il quadro conoscitivo complessivo è illustrato nei capp. 7, 8 e 9 della presente Relazione e nelle Tavv. D.02.04 ÷ D.02.10 per quanto riguarda gli aspetti geologici e idrogeologici, nella Relazione geotecnica (elab. R05 rev. 02), e nel Rapporto Risultati indagini ambentali (R17 rev. 02) per quanto riguarda la caratterizzazione chimico-ambientale e geoetcnica dei rifiuti.

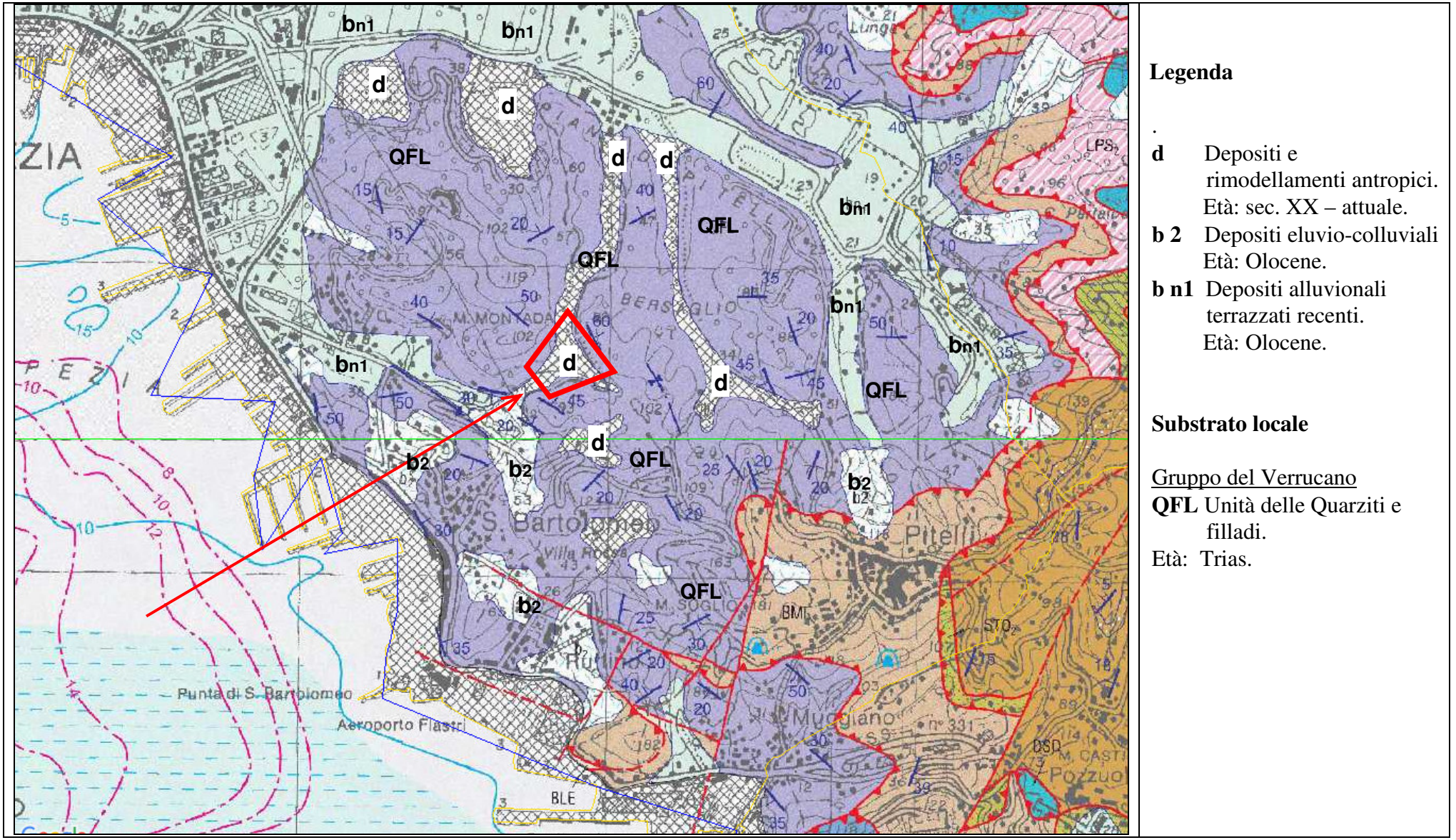


Figura 6.11 – Geologia dell'area di progetto, tratta dalla nuova Carta Geologica d'Italia, F. 248 II – Lerici restituzione a scala 1:25.000 (Regione Liguria, Geoportale/geoviewer/Repertorio cartografico, 2005). Il perimetro rosso individua l'area d progetto.

Nell'insieme la successione individuata nell'area di intervento e nel suo intorno significativo comprende, procedendo dalle unità poste in posizione stratigrafica inferiore (più antiche) verso l'alto i termini seguenti:

Substrato locale

- Quarziti e filladi (Gruppo del Verrucano – Unità tettonica di Massa)

Coperture quaternarie

- coltre detritica
- depositi antropici

Unità del substrato

Quarziti e filladi

L'unità appartenente al Gruppo del Verrucano (Unità tettonica di Massa) comprende quarziti con interstrati metasiltitici e filladici. La caratterizzazione svolta nell'ambito dei rilievi del F. 248 – La Spezia (Abbate *et alii*, 2005) consente una descrizione dettagliata delle caratteristiche litologico-stratigrafiche. Le quarziti a grana da medio-grossolana a fine, sono generalmente piuttosto cernite e di colore grigio e grigio-rosato, in strati di spessore centimetrico-decimetrico (max 70-80 cm) e con geometrie piano-parallele alla scala degli affioramenti. Strati con base grossolana, sino ad anageniti minute, e manifestamente erosiva possono essere localmente presenti come intercalazioni specie nella parte medio-bassa dell'unità.

Gli interstrati metasiltitici/filladici varicolori (grigi, verdastri e, talora, violacei) sono comuni e mostrano spessori di solito centimetrici (max 30 cm). Queste ultime litologie possono localmente formare anche dei corpi essenzialmente pelitici violacei di spessore fino a diversi metri, come, in particolare, all'interno e attorno alla zona militare Bersaglio adiacente al margine NE dell'area di progetto. Gli strati quarzitici, la porzione superiore dei quali può risultare talora verdastra-arrossata, contengono localmente laminazioni piano parallele ed incrociate.

L'unità mostra evidenti affinità di litofacies con i membri superiori (carnici) delle Quarziti di M. Serra ("quarziti bianco-rosa" e "quarziti viola zonate"; Rau & Tongiorgi, 1974).

L'ambiente deposizionale della successione sedimentaria originale è riconducibile ad una piana costiera, probabilmente prossima ad apparati deltizi e caratterizzata da periodici stagni e pozze d'acqua. L'età è riferibile alla porzione basale (Carnico) del Trias superiore.

Le "quarziti e filladi" stratigraficamente poggiano sull'unità delle "anageniti", dove rilevabile (Val di Magra, tra Cala Marola ed Ameglia) il contatto è graduale e sottolineato nell'unità inferiore dalla rapida diminuzione delle componenti clastiche grossolane e dallo sviluppo più regolare della stratificazione. Verso l'alto il passaggio ai soprastanti "scisti di S. Terenzo" appare sempre di tipo stratigrafico, per alternanze con la comparsa delle prime intercalazioni carbonatiche, tuttavia è raro individuare punti in cui il contatto non sia coinvolto in deformazioni tettoniche. Il passaggio a entrambe le unità non è segnalato nell'intorno dell'area di progetto, né è stato possibile individuarlo attraverso i rilievi di terreno e le indagini di sottosuolo.

La potenza complessiva delle "quarziti e filladi" è difficilmente valutabile per le frequenti laminazioni tettoniche a tetto, e per le evidenti deformazioni plicative polifasiche alle quali localmente è stata soggetta. Gli spessori massimi affioranti sono nell'ordine dei 60 m.

Nell'insieme l'assetto giaciturale, caratterizzato da un'orientazione prevalente delle direzioni di strato NO–SE, evidenzia due strutture plicative che interesano parzialmente l'area. Sul lato occidentale un'antiforme si individua lungo la vallecola del Rio Pagliari, mentre più ad est, una piega sinforme è rilevabile in corrispondenza dello spartiacque delimitante la vallecola del Bersaglio. La stratificazione assume in genere valori di inclinazione compresi tra bassi (15 ÷ 30°) e medi (40 ÷ 60°). Nei settori marginali del rilievo e in prossimità degli elementi tettonici (superfici di sovrascorrimento, faglie trasversali) si rileva una maggiore variabilità nelle giaciture anche con significative rotazioni nell'orientazione della direzione (sino a disporsi NE–SO).

In corrispondenza dello sbancamento esistente i rilievi strutturali condotti lungo le estese sezioni di affioramento hanno rilevato condizioni di giacitura relativamente costanti. La stratificazione mostra limitate variazioni nella direzione attorno all'orientazione media NO–SE, mentre maggiori oscillazioni caratterizzano l'inclinazione, variabile per lo più tra 30 ÷ 70°.

Unità delle coperture quaternarie

Coltre detritica

Ghiaie e clasti con elementi spigolosi a composizione quarzitica frammisti ad una matrice fine a granulometria sabbioso-limosa di colore giallo chiaro. Locale presenza di limi debolmente argillosi derivanti dall'alterazione della componente filladica di colore marrone-ocraceo. Gli

spessori rilevati in corrispondenza di sezioni di scavo, sondaggi e modeste incisioni sono generalmente compresi tra 1 ÷ 3 m.

Depositi antropici

Comprendono materiali posti a discarica nelle precedenti fasi di utilizzo dell'area (anni Ottanta-Novanta), sia nel settore previsto per il nuovo impianto che nelle zone circostanti, e terreni di riporto derivanti dagli interventi di rimodellamento operati in passato.

Depositi di discarica

Gli accumuli di discarica comprendono principalmente rifiuti solidi urbani e ceneri della combustione del carbone nelle centrali termo-elettriche, con presenza minore di terre di scavo e residui di demolizioni di opere murarie. L'abbancamento di maggiore rilevanza, realizzato nell'ambito dei precedenti utilizzi del sito come discarica, occupa parte del settore inferiore dello sbancamento esistente, in prossimità della Galleria autostradale. La configurazione complessiva dell'accumulo è rilevabile dal confronto tra gli elaborati del progetto originario (DE.PE.TI. srl, 1989) e il nuovo rilievo topografico di dettaglio realizzato per il presente progetto (Tav. Stato attuale Area di Discarica, Planimetria di rilievo, Elab. D.03.01). L'esecuzione nell'ambito della Campagna d'indagine integrativa 2016 di una serie di sondaggi (S10 ÷ S15) eseguiti dalla sommità dell'abbancamento posta alla quota media di 47 m slm, unitamente a nuovi rilievi geolettrici e geosismici a rifrazione e con metodologia MASW2D, ha consentito la ricostruzione dell'assetto complessivo della discarica, insieme alla verifica diretta della natura dei materiali presenti e dei loro spessori. Il deposito costituisce un rilevato disposto circa N–S nella zona O, posta alle quote inferiori, dell'invaso di Saturnia ottenuto con il rimodellamento della morfologia originaria. Lo spessore totale dell'abbancamento, inclusi gli strati di regolarizzazione alla base, i sistemi di isolamento e la copertura sommitale, è compresa tra 5 e 20 m. Sul lato occidentale, l'adeguamento dell'accumulo alla topografia ha comportato la realizzazione di una banca intermedia collocata nel settore inferiore, già indagata con il sondaggio e il rilievo sismico Down-hole S4 DH (campagna 2015). La quota sommitale è posta attorno a 34,5 m slm, mentre l'accumulo di materiale abbancato costituito da ceneri di carbone e relativo strato di copertura raggiunge i 10,2 m di spessore.

Un abbancamento minore è presente, inoltre, lungo la dorsale che prosegue verso Nord, a un centinaio di metri dal margine settentrionale dell'attuale invaso di Saturnia. L'accumulo è stato indagato con i sondaggi SV 1 e SV 2, sezioni sismiche (Ps7 ÷ Ps10) e sezioni elettriche (Pe 1 ÷ Pe5). Il deposito nel complesso presenta una giacitura cuneiforme che si sovrappone alla morfologia originaria del pendio declinante verso E. I materiali presenti comprendono terre e rocce,

scarti di demolizione di murature, rifiuti solidi assimilabili agli urbani, e intercalazioni di ceneri. Gli spessori individuati variano tra 2 e 16 m, con valori maggiori sul lato orientale. Questo corpo di discarica è già stato oggetto di interventi di sistemazione, nell'ambito del Progetto attuale risulta di interesse in quanto su di esso si svilupperà parte del breve tratto stradale proveniente dall'adiacente discarica di Valbosca che costituirà la nuova viabilità di accesso all'impianto di Saturnia.

Riporti

Le attività di rimodellamento svolte in passato per la realizzazione del bacino di deposito esistente hanno comportato l'accumulo di terreni rimaneggiati derivanti dagli scavi per l'asportazione della coltre detritica e la porzione superficiale delle litologie relative al substrato. I depositi con spessori generalmente nell'ordine di alcuni metri sono distribuiti principalmente al margine dei gradoni maggiori, in corrispondenza delle rampe di collegamento tra i diversi livelli scavati, sul pianoro di fondo per regolarizzarne il piano di appoggio. Derivando dallo sbancamento, movimentazione e accumulo delle litologie del substrato questi materiali, in assenza di elementi estranei alla successione, spesso non sono chiaramente delimitabili rispetto ai depositi detritici di formazione recente e pertanto sono stati riportati in cartografia nell'ambito degli areali relativi alla coltre detritica.

La natura dei terreni, direttamente riferibile al substrato locale, comprende una frazione grossolana prevalente costituita da elementi quarzitici spigolosi, non elaborati, associata ad una matrice più fine presente in proporzioni variabili. La composizione granulometrica è fortemente eterometrica spaziando dalle ghiaie con ciottoli ai limi sabbiosi. Il grado di addensamento varia da sciolto a poco-mediamente addensato. L'accumulo di maggiore rilevanza è posto al bordo SE dell'invaso, dove risulta già evidente dall'esame del rilievo topografico. I riporti occupano il tratto compreso tra lo slargo dove termina la strada asfaltata e inizia la pista sterrata che porta al fondo del bacino (nell'intorno del sondaggio S2 DH) e, grosso modo, il tornante della rampa secondaria che raggiunge il piano basale proveniendo dalla parete est (poco a monte della posizione di S3). La parte superiore del deposito è stato attraversato per un tratto significativo con il sondaggio S2 DH (dal piano campagna sino a 12,5 m di prof.). I terreni comprendono alternanze di ghiaie con ciottoli a elementi spigolosi, con contenuto variabile in sabbia, e limi sabbiosi inglobanti clasti di quarzite forma spigolosa.

6.4 Assetto dell'ammasso roccioso

Nell'ambito dell'intera area di intervento l'unità lapidea delle "quarziti e filladi" risulta diffusamente affiorante e lo stessa realizzazione dell'impianto prevede l'impostazione del sito di deposito interamente all'interno del substrato locale. Un'analisi di dettaglio è stata pertanto condotta per la caratterizzazione dello stato dell'ammasso roccioso. Per la definizione di un quadro conoscitivo adeguatamente rappresentativo gli elementi acquisiti con i rilievi geologico-tecnici di terreno svolti specificatamente per il presente progetto sono stati inquadrati con i dati forniti dalle indagini svolte per la caratterizzazione della limitrofa discarica di Val Bosca, ubicata 300 m più a nord in un analogo contesto litologico-strutturale.

Per una verifica indipendente della rappresentatività delle precedenti indagini geotecniche e geofisiche, che in alcuni casi evidenziavano discordanze o elementi di non univoca interpretazione, è stata condotta, inoltre, una nuova e accurata campagna d'indagine comprendente sondaggi profondi a carotaggio continuo di elevata qualità e rilievi geofisici di tipo geoloettrico e sismico. Le indagini sono documentate dettagliatamente nel Rapporto *Fascicolo delle indagini geotecniche e geofisiche* – Addendum 1 (elab. R04 Rev. 02), mentre la trattazione dei risultati ottenuti è svolta nel Cap. 9 – *Modello geologico* della presente Relazione. Tra gli aspetti di maggiore rilevanza, si ritiene utile sottolineare l'esecuzione dei nuovi sondaggi S 6 (verticale, prof. 55,8 m), S7 Pz (verticale, con installazione nuovo piezometro, prof. 45,3 m) ed S9 (lungh. 61,5 m) che ha indagato, con un assetto inclinato a 45°, l'ammasso al di sotto della discarica esistente. Queste perforazioni, posizionate rispettivamente ai margini Est, Sud ed Ovest dell'impronta dell'area di abbancamento del nuovo impianto, hanno consentito di verificare l'effettivo assetto e le modalità della circolazione idrica sotterranea per alcune decine di metri al di sotto della quota di base prevista per il nuovo impianto, posta a circa 30 m slm.

La presenza diffusa di scarpate in roccia, di origine artificiale, relative agli interventi effettuati nei decenni precedenti, ha permesso di rilevare in modo sistematico direttamente la successione lapidea del substrato portato in affioramento dagli scavi, nonché di svolgere l'analisi strutturale degli affioramenti rocciosi più rappresentativi.

Le verifiche di dettaglio in sito hanno confermato la presenza in corrispondenza di tutte le sezioni di affioramento dei litotipi costituenti l'unità delle "quarziti e filladi", secondo la definizione contenuta nella nuovo Foglio geologico 248 – La Spezia (Abbate *et alii*, 2005). La successione comprende alternanze di quarziti a grana da medio-grossolana a fine, in strati di spessore centimetrico-decimetrico (max 70-80 cm) e con geometrie piano-parallele alla scala degli

affioramenti. Il colore varia da grigio chiaro a grigio-rosato. Strati con base grossolana, di tipo erosivo, possono essere localmente presenti come intercalazioni specie nella parte medio-bassa dell'unità. Gli strati quarzitici, la porzione superiore dei quali può risultare talora verdastra-arrossata, contengono localmente laminazioni piano parallele ed incrociate. Gli interstrati metasiltitici/filladici varicolori (grigi, verdastri e, talora, violacei) sono comuni e mostrano spessori di solito centimetrici (max 30 cm). Queste ultime litologie possono localmente formare anche dei corpi essenzialmente pelitici di colore bruno-violaceo di spessore fino a diversi metri, riconosciuti in affioramento nell'intorno della zona militare e individuati, nel sottosuolo, per mezzo dei sondaggi integrativi di elevata qualità eseguiti nell'ottobre 2015. Gli studi geologici e le campagne geognostiche svolte in precedenza nell'area descrivono questi termini come quarziti di colore grigio-rosato e scisti arenacei con locali intercalazioni di scisti sericitici varicolori.

La presenza della successione descritta, in particolare della porzione a composizione prevalentemente quarzitica, caratterizza le pareti di scavo dello sbancamento principale, sviluppate nell'intervallo altimetrico compreso tra la sommità del crinale delimitante la vallecola in loc. "Bersaglio" (quote 70 ÷ 80 m slm) e il fondo dello scavo (circa 30 m slm).

La fratturazione risulta sempre intensa e pervasiva, riducendo il volume roccioso unitario a frammenti prismatici con dimensioni in prevalenza centimetriche e solo raramente decimetriche. L'indice RQD, generalmente pari a zero, risulta determinabile solo in modo sporadico e assume valori sempre limitati. La fratturazione risulta sempre intensa e pervasiva, riducendo il volume roccioso unitario a frammenti prismatici con dimensioni in prevalenza centimetriche e solo raramente decimetriche. Le fratture sono prevalentemente aperte, in particolare nelle porzioni prossime alla superficie topografica, e ad alto angolo. Dove i processi di alterazione sono più spinti le discontinuità appaiono riempite di materiale fine, a granulometria prevalentemente limoso-sabbiosa fine. Nell'insieme l'ammasso risulta frequentemente scompaginato per l'intensa fratturazione che sovente si somma all'alterazione, dando così luogo a strutture caotiche, localmente interpretabili come fasce cataclastiche.

I rilievi di terreno e i dati di sottosuolo evidenziano a scala locale variazioni nella composizione della successione lapidea dovute ai rapporti tra la componente quarzitica e gli intervalli metapelitici. Le incertezze nella correlazione diretta tra le diverse sezioni di affioramento e, ancor più, tra le stratigrafie ottenute nelle diverse fasi di indagine, hanno comportato la definizione di una sola unità per le litologie del substrato. Solo l'adozione di tecniche di perforazione specifiche per rocce strutturalmente complesse, quali quelle adottate nelle recenti indagini integrative (ottobre 2015, maggio 2016), consente di ottenere campionamenti

adeguatamente rappresentativi della successione in posto, date le difficoltà nell'esecuzione di perforazioni a grado di disturbo limitato e recupero rappresentativo del carotaggio.

Nella porzione inferiore della successione, affiorante nel settore SO dell'area in esame e raggiunta solo con la parte basale dei sondaggi più profondi eseguiti nella zona, la roccia appare assumere caratteristiche geomeccaniche migliori. Porzioni di quarziti litoidi, con minore densità di fratturazione (spaziature di ordine decimetrico), sono state individuate dai sondaggi S7pz (Ott. 2015) tra le prof. 43,0 ÷ 45,3 m dal p.c., S4 DH (Feb. 2015) tra 25,0 ÷ 33,0 m dal p.c. e, presumibilmente, anche da S2pz (Feb. 2014). Per quest'ultima verticale, eseguita per la maggior parte a distruzione di nucleo, non si dispone tuttavia di indicazioni precise. Le migliori caratteristiche litotecniche hanno consentito, sia pure su intervalli discontinui, anche la determinazione dell'indice RQD che assume generalmente valori compresi tra 10 ÷ 40 %, e su brevi tratti 60 ÷ 70 %. Questo assetto dell'ammasso risulta confrontabile con quello individuato in limitati affioramenti (Fig. 6.15) nella parte inferiore del versante meridionale del M. Montada degradante verso il sottostante tracciato del raccordo stradale per La Spezia.

Gli aspetti caratteristici dell'ammasso roccioso nelle sezioni osservabili sono illustrati nelle Figg. 6.12 ÷ 6.17 e nell'elab. *Carta degli Affioramenti*.



Figura 6.12 – Aspetto in sezione di scavo dell' ammasso costituito da un'alternanza di strati quarzitici più compatti (in alto a sinistra), con interstrati scistoso-arenacei (in basso a destra).



Figura 6.13 – Sezione di scavo. Tipica fratturazione prismatica della quarzite derivante dall'intersezione dei giunti di stratificazione con i sistemi di discontinuità prevalentemente con orientazione perpendicolare. La roccia si presenta frammentata in blocchetti di dimensioni centimetriche.



Figura 6.14 – Fratturazione prismatica della quarzite associata ad alterazione profonda e diffusa testimoniata dalla colorazione rosa-ocracea.



Figura 6.15 – Affioramento di quarzite sul versante meridionale del M. Montada. I limitati tratti in cui l'ammasso roccioso presenta un aspetto massivo corrispondono alle porzioni con maggiore spessore (decimetrico) della stratificazione e più elevata spaziatura dei sistemi di fratturazione.



Figura 6.16 – Pendici orientali del M. Montada. Panoramica della scarpata che delimita lo sbancamento esistente sul lato NO. Nonostante l'intensa fratturazione dell'ammasso, l'elevata acclività delle pareti di scavo e la mancanza di opere di sistemazione (lo scavo è aperto da circa 30 anni), non si osservano fenomeni di instabilità significativa.



Figura 6.17 – Sezione di scavo presente al margine SE dell'area di intervento. Zona cataclasata L'ammasso roccioso costituito in prevalenza da quarziti intensamente fratturate assume un aspetto assimilabile ad un terreno granulare grossolano molto addensato.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'individuazione della area in esame quale possibile sito di deposito definitivo di rifiuti e il suo utilizzo in più fasi come discarica (secondo la Normativa vigente all'epoca di 2a Categoria tipo "B") partire dalla seconda metà degli Anni Ottanta, ha comportato lo svolgimento di varie campagne di indagine geognostica, condotte negli anni con obbiettivi e finalità differenti..

7.1 Campagne anni '80 e '90

Gli elaborati progettuali più remoti sono relativi alle attività di deposito di rifiuti condotte negli ultimi due decenni del secolo scorso. Per questa documentazione, tuttavia, è stata possibile solo un'acquisizione parziale, a seguito dei mutamenti della proprietà intervenuti e delle vicende amministrative susseguitesi. Degli studi e delle indagini condotte all'epoca, in particolare, è stato possibile recuperare informazioni sulla base del loro inserimento o citazione all'interno di elaborati più recenti.

In ordine cronologico, l primo Studio a carattere geologico-geotecnico, redatto dalla soc. Eptaconsult Srl di La Spezia per conto della Società DE.PE.TI. Srl, illustrava le risultanze di due campagne di indagini geognostiche.

Una prima, eseguita precedentemente al conferimento del modesto deposito di RSU (circa 1985-1988) in corrispondenza del settore inferiore della vallecola, è consistita nella perforazione di tre sondaggi meccanici di 15 m di lunghezza, condotti a rotazione nei terreni di copertura fino al raggiungimento del substrato roccioso e proseguiti a rotopercussione. Ubicati nel versante sinistro del bacino, i sondaggi rivelarono la seguente stratigrafia (espressa in metri dal piano campagna):

- 0,0 ÷ 5,5 m dal piano campagna: copertura sciolta di colore rossiccio costituita da argille, limi, sabbia e ciottoli a spigoli vivi;
- 5,5 ÷ 15,0 m dal piano campagna: roccia di substrato, alterata a tetto e costituita da termini quarzitici fessurati.

Nello studio, di cui abbiamo rilevanza solo sotto forma di citazione negli elaborati redatti successivamente sono inoltre riportate i risultati di n. 5 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc, che riscontrarono coefficienti k dell'ordine di $10^{-7} \div 10^{-8}$ m/s, sia per le coperture sciolte, sia per l'ammasso roccioso sottostante.

Prova documentale dell'avvenuto svolgimento dell'indagine è fornita dall'inserimento degli elementi riassunti e dei risultati ottenuti nella sintesi del quadro conoscitivo posto a base

dell'autorizzazione alla realizzazione della discarica rilasciata dalla Regione Liguria, nei confronti della Soc. DE.PE.TI. srl, con Del. di Giunta Regionale n. 5490 del 7 dicembre 1990.

La seconda campagna, svolta successivamente e dopo la realizzazione degli interventi di predisposizione del nuovo sito di discarica (posteriormente rispetto al 1990), consistette nell'esecuzione di sei sondaggi meccanici a rotazione, a carotaggio continuo, approfonditi fino al tetto della roccia di fondo, che venne rinvenuta in corrispondenza del piede del rilevato di valle dell'attuale invaso, a 3,0 ÷ 3,3 m dal p.c., tranne che nel sondaggio ubicato alla radice della piana alluvionale, che incontrò il substrato a 4,6 m di profondità.

Nel corso di tali indagini non sono state eseguite prove in sito o in laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei materiali; l'unico accertamento ha riguardato la messa in opera di piezometri per la verifica della presenza di acque di falda superficiali. Il Tecnico responsabile delle indagini per conto della Eptaconsult riferisce, nella Relazione geologica citata, che né nel corso della perforazione, né durante successivi controlli era stata riscontrata presenza d'acqua nel sottosuolo, e che nell'ambito delle profondità indagate l'area non era sede di una falda acquifera superficiale. I piezometri installati sono stati rimossi a seguito dei lavori di allestimento del sito condotti all'epoca. Nel corso dei rilievi e delle ricognizioni condotte nell'area per lo sviluppo dell'attuale Progetto in esame, sebbene siano stati anche condotti interventi di pulizia, non è stato possibile individuare nessuno dei punti di indagine e la strumentazione installata.

7.2 Campagna Febbraio 2014

Le indagini programmate e realizzate sulla base di quanto previsto dal Piano di Caratterizzazione approvato in Conferenza dei Servizi decisoria con decreto n. 369 del 30 ottobre 2010, notificato alla società D.R.I. Pagliari Srl, in data 12 novembre 2013, furono eseguite con la supervisione di ARPAL, condividendone numero ed ubicazione dei punti di indagine.

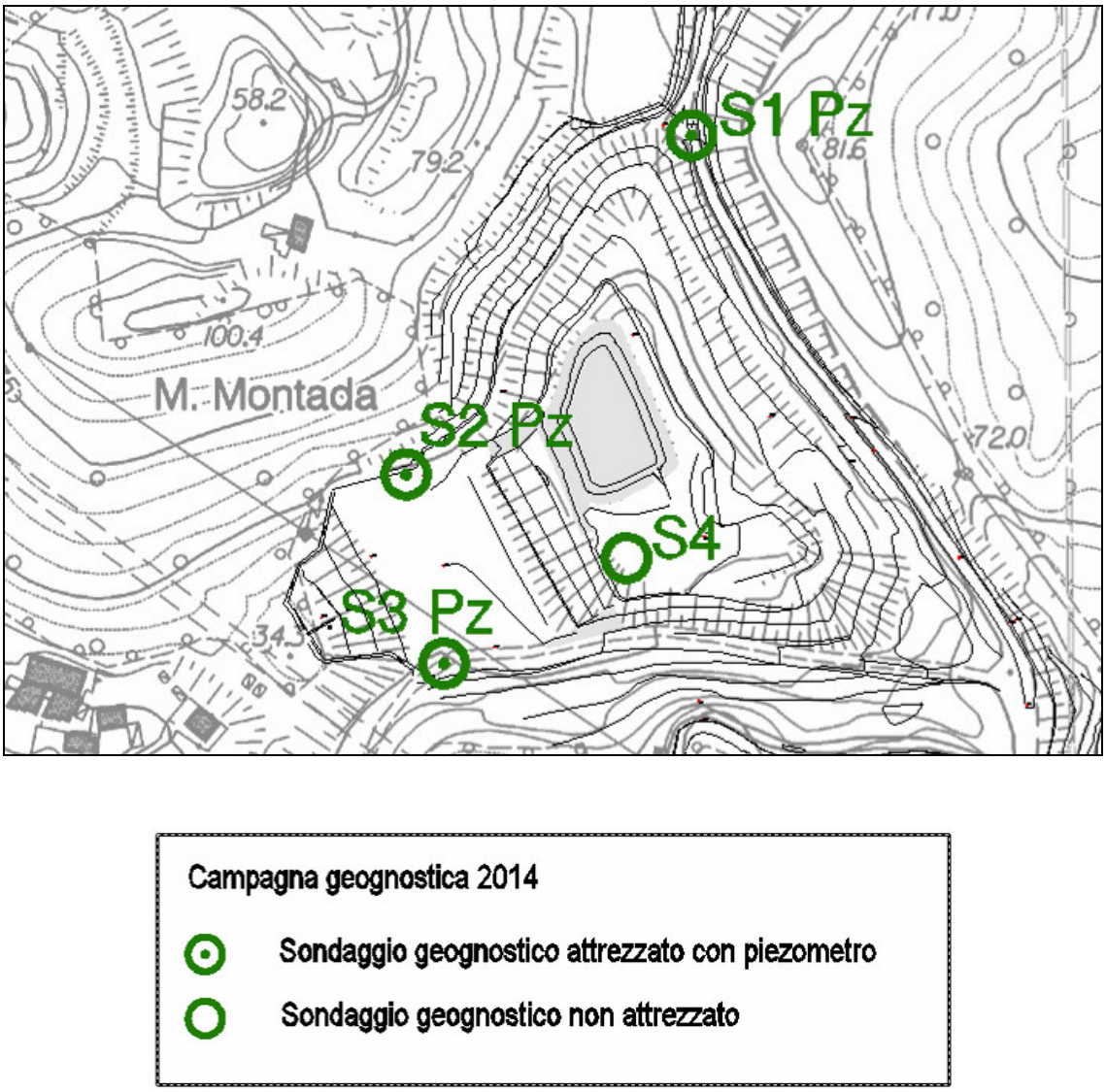


Figura 7.1 - Ubicazione sondaggi campagna geognostica 2014.

Il programma di indagine svolto nel Febbraio 2014, ha previsto la realizzazione di :

- n. 18 pozzetti esplorativi (SC1 ÷ SC16, SC18, SC19) realizzati mediante trincea esplorativa (spinta fino a tre metri di profondità o prima del raggiungimento del substrato roccioso);
- n. 3 Sondaggi profondi attrezzati con piezometro per il monitoraggio della qualità delle acque (uno a monte, S1, eseguito fino ad una profondità di 70 metri, e due a valle S2 e S3, eseguiti fino ad una profondità di 35 e 31 metri); tali sondaggi sono stati realizzati per i primi 10 metri a carotaggio continuo per la campionatura e la lettura stratigrafica dei tratti litologici significativi incontrati, e successivamente a distruzione di nucleo;
- n. 1 Sondaggio (S4) eseguito a carotaggio continuo fino ad una profondità di 10 metri ed ubicato immediatamente a monte del corpo rifiuti;

- prelievo di campioni di terreno nel corso dei sondaggi per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio.

Per la caratterizzazione ambientale del sito, da ciascun punto di indagine sono stati prelevati e analizzati campioni di terreno (in totale n. 39), di top-soil (n. 2) e di acque sotterranee (piez. S1pz, S3pz).

Le determinazioni condotte sui campioni di terreno sono risultate tutte comprese entro i limiti previsti dalla Tab. 1 colonna B (relativi a siti con destinazione d'uso industriale) dell'Allegato V Parte IV D. Lgs. 152/2006 (DRI Pagliari, 2014). Tale attribuzione è coerente con lo stato del sito indagato, che costituisce un'area già autorizzata ed utilizzata come discarica per rifiuti speciali non pericolosi e, pertanto, esso può essere considerato a destinazione d'uso industriale.

Nei campioni di top-soil sottoposti ad analisi per la ricerca di diossine, furani ed amianto, non è stato riscontrato alcun superamento dei valori (DRI Pagliari, 2014).

Le determinazioni condotte sui campioni di acque sotterranee hanno riscontrato concentrazioni comprese entro i limiti indicati nella Tab. 2 dell'Allegato V Parte IV D. Lgs. 152/2006, con la sola eccezione del piezometro S3pz per gli analiti Ferro e Manganese (DRI Pagliari, 2014). Quest'ultimo aspetto, tuttavia, non è da considerarsi indicativo di una contaminazione in sito, in quanto rappresenta un fattore ambientale caratteristico della litologia del sottosuolo come documentato dal recente studio condotto sulle acque sotterranee della limitrofa discarica di Val Bosca, posta circa 300 m a nord del sito in esame (ACAM, 2012).

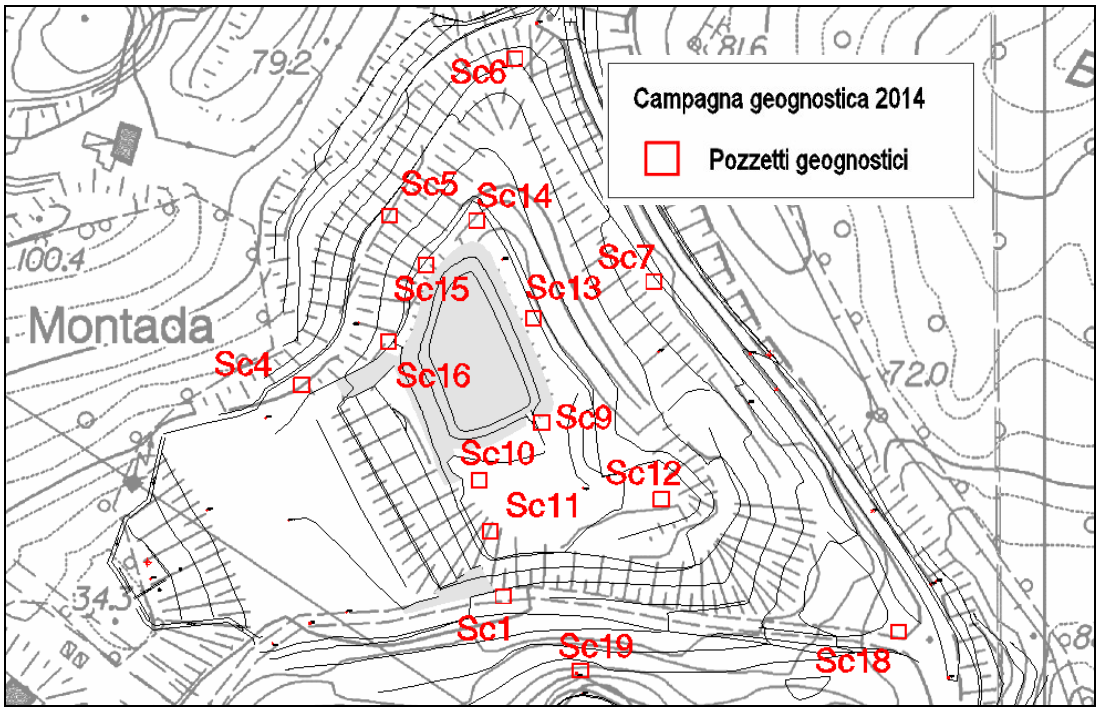


Figura 7.2 - Ubicazione pozzetti campagna geognostica 2014.

Sondaggio S1:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'794E – 4'883'630N
Quota piano campagna (m.slm)	59,98
Profondità perforazione (dal pc):	70 metri (carotaggio sino a prof. 10 m dal p.c., quindi a distruzione sino a fondo foro)
Strumentazione (verificata con video ispezione)	Piezometro tubo aperto (fenestratura tra le prof. 49,0 ÷ 61,0 m dal p.c.)

Campioni: n°2 indisturbati (Shelby tra 3,4-3,8 e 9,6-10,0)

CAMPIONE	P1C1
Profondità metri	3.4 - 3.8
Prova di taglio	
C (kPa)	2.3
ϕ (°)	36.0
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	20.0
Peso volume secco (kN/m³)	17.4
Contenuto d'acqua (%)	14.91
Granulometria	
Ghiaia (%)	9.5
Sabbia (%)	44.3
Limo (%)	30.4
Argilla (%)	15.8

CAMPIONE	P1C2
Profondità metri	9.6 - 10.0
Prova di taglio	
C (kPa)	0
ϕ (°)	34.3
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.5
Peso volume secco (kN/m³)	17.2
Contenuto d'acqua (%)	13.49
Granulometria	
Ghiaia (%)	10.7
Sabbia (%)	40.9
Limo (%)	32.5
Argilla (%)	15.8

Sondaggio S2:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'689E – 4'883'409N
Quota piano campagna (m.slm)	47,82
Profondità perforazione (dal pc):	35 metri (carotaggio sino a prof. 10 m dal p.c., quindi a distruzione sino a fondo foro)
Strumentazione (verificata con video ispezione)	Piezometro tubo aperto (fenestratura tra -21 e -35 metri dal pc)
Sondaggio S3:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'673E – 4'883'487N
Quota piano campagna (m.slm)	47,68
Profondità perforazione (dal pc):	31 metri (carotaggio sino a prof. 10 m dal p.c., quindi a distruzione sino a fondo foro)
Strumentazione (verificata con video ispezione)	Piezometro tubo aperto (fenestratura tra -19 e -28 metri dal pc)
Sondaggio S4:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'818E – 4'883'450N
Quota piano campagna (m.slm)	40,20
Profondità perforazione (dal pc):	10 metri (carotaggio)
Strumentazione	-

Tabella 7.1 - Sintesi della campagna geognostica 2014.

7.3 Campagna Febbraio 2015

La Società ACAM Ambiente spa ha dato incarico alla ditta Igetecma snc di eseguire una nuova campagna di indagine geognostica sull'intero settore di studio, propedeutica alla progettazione dei Lavori di messa in sicurezza permanente e realizzazione di nuovo impianto di discarica, nonché della viabilità di accesso alla stessa.

L'indagine, condotta nei mesi di Gennaio-Febbraio 2015, ha comportato l'esecuzione di:

- 4 sondaggi verticali a carotaggio continuo spinti a profondità compresa tra 30 e 70 m dal p.c. nell'area di Saturnia;
- 2 sondaggi a carotaggio continuo nell'area della ex discarica comunale di Val Bosca necessari alla progettazione della nuova strada di accesso;
- 2 prove sismiche tipo down-hole con onde P e SH all'interno dei sondaggi S3 e S4, per un totale di 63 m di rilievo sismico;
- 10 sezioni di sismica a rifrazione con onde di compressione P ed elaborazione tomografica, per uno sviluppo complessivo di profili sismici pari a 1944,5 m;
- 6 sezioni di tomografia geoelettrica con 48 canali di cui 1 con spaziatura degli elettrodi pari a 2,5 m, 4 con spaziatura a 3 m, e 1 con spaziatura a 4 m.

7.3.1 Sondaggi geognostici

I sondaggi verticali a carotaggio continuo sono eseguiti utilizzando come utensile di perforazione un carotiere semplice con corona con prismi in widia avente diametro 101 mm nello strato detritico e di riporto e con doppio carotiere e corona diamantata.

A sostegno della parete del foro è stata installata una tubazione metallica di rivestimento del diametro 127 mm, utilizzando acqua come fluido di circolazione.

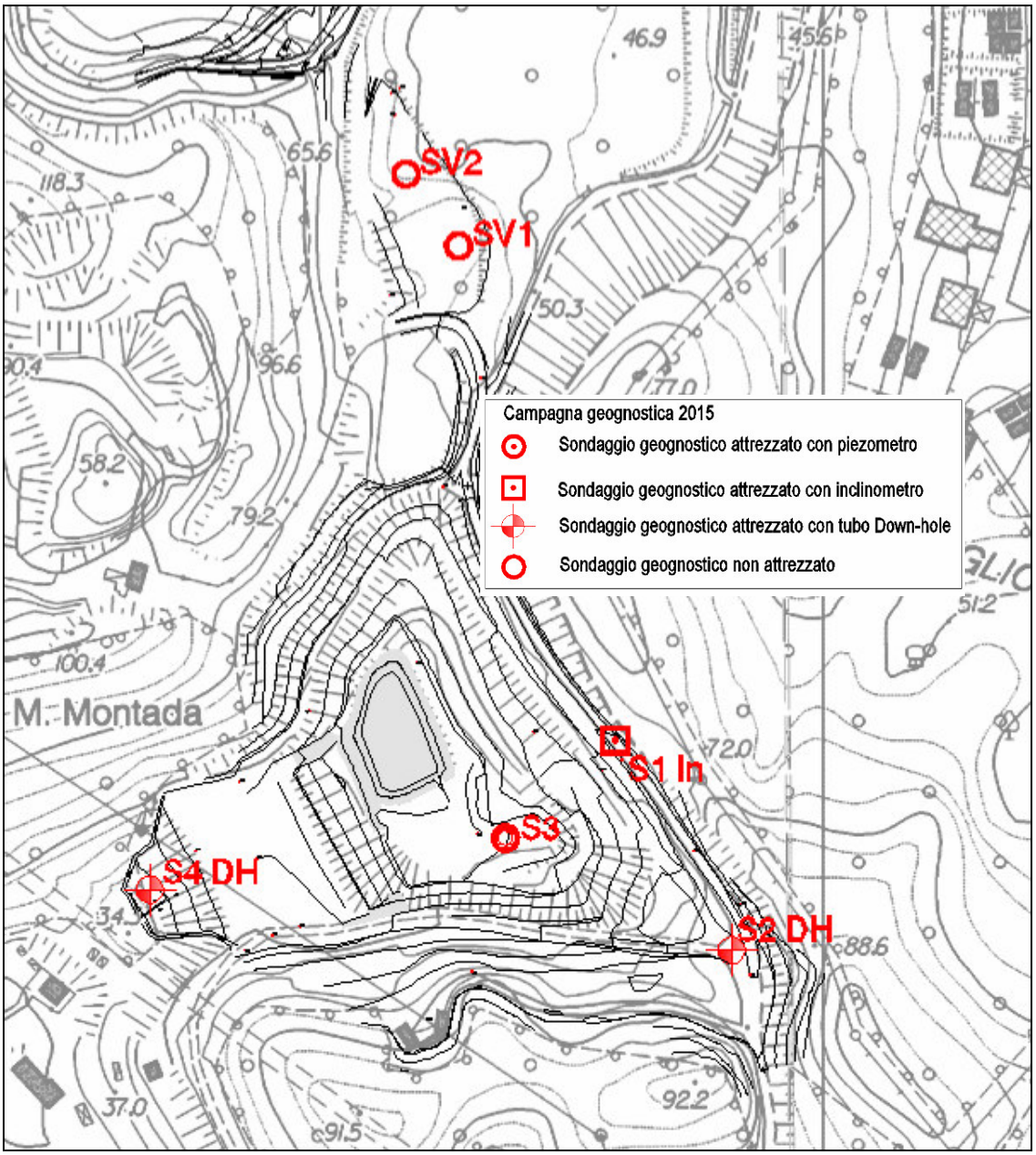


Figura 7.3 - Ubicazione sondaggi geognostici campagna febbraio 2015.

Sondaggio S1:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'867E – 4'883'508N	
Quota piano campagna (m slm)	65,06	
Profondità perforazione (dal p.c.):	70 metri (a carotaggio, con i tratti tra m 26,0 ÷ 32,5, 41,0 ÷ 46,5, 51,0-59,7 da p.c., eseguiti a distruzione)	
Strumentazione	primo inclinometro (0,0 ÷ 67,0 m); tubo guida ø 53 mm. secondo inclinometro in foro adiacente (0,0 ÷ 32,0m).	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	4,40 ÷ 4,95 = 9- 9-10 8,70 ÷ 9,15 = 13-15-29 12,40 ÷ 12,65= 17-19-26 15,00 ÷ 15,45= 28-39- R	19,00 ÷ 19,45 = 21-17-19 22,00 ÷ 22,45 = 40-R 25,00 ÷ 25,45 = 40-R 28,00 ÷ 28,45 = 36-R

Campioni: n. 1 indisturbato (S1c5) + n. 4 rimaneggiati

CAMPIONE	S1Cr1
Profondità metri	4.0 - 4.4
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.5
Peso volume secco (kN/m³)	16.1
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.33
Indice dei vuoti	0.695
Grado di saturazione (%)	85.07
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	21.73
Limite liquido (%)	21.1
Limite plastico (%)	18.6
Indice di plasticità (%)	2.5
Indice di consistenza	-0.16
Indice di attività	0.27
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	2.2
Sabbia (%)	38.3
Limo (%)	50.9
Argilla (%)	8.7
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	7

CAMPIONE	S1Cr2
Profondità metri	8.4 - 8.7
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	18.9
Peso volume secco (kN/m³)	17.5
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	7.93
Limite liquido (%)	21.8
Limite plastico (%)	18.5
Indice di plasticità (%)	3.3
Indice di consistenza	4.15
Indice di attività	0.41
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	36.7
Sabbia (%)	34.2
Limo (%)	25.5
Argilla (%)	3.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A2-4
Indice di gruppo	0

CAMPIONE	S1Cr3
Profondità metri	12.0 - 12.4
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	7.55E-08
K (cm/sec)	7.37E-08
K (cm/sec)	6.64E-08
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	20.6
Peso volume secco (kN/m³)	17.6
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.73
Indice dei vuoti	0.515
Grado di saturazione (%)	89.57
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	17.12
Limite liquido (%)	19.6
Limite plastico (%)	17.6
Indice di plasticità (%)	2.0
Indice di consistenza	1.22
Indice di attività	0.15
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	10.5
Sabbia (%)	40.5
Limo (%)	38.4
Argilla (%)	10.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	4

CAMPIONE	S1Cr4
Profondità metri	16.1 - 16.5
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.5
Peso volume secco (kN/m³)	17.1
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	13.91
Limite liquido (%)	23.8
Limite plastico (%)	17.9
Indice di plasticità (%)	6.0
Indice di consistenza	1.67
Indice di attività	0.38
Classificaz. Casagrande	ML-CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	21.8
Sabbia (%)	38.8
Limo (%)	29.5
Argilla (%)	9.9
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	1

CAMPIONE	S1C5
Profondità metri	18.5 - 19.0
Prova di taglio	
Cp (kPa)	14.1
φp (°)	27.9
Cr (kPa)	2.3
φr (°)	23.2
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0.01130
Cc (indice di compressione)	0.06035
Cs (indice di rigonfiamento)	0.02094
σ_{vmax} (kPa)	97.3
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	4.47E-08
K (cm/sec)	3.39E-08
K (cm/sec)	2.33E-08
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	20.2
Peso volume secco (kN/m³)	17.1
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.62
Indice dei vuoti	0.607
Grado di saturazione (%)	83.21
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	21.39
Limite liquido (%)	28.9
Limite plastico (%)	22.6
Indice di plasticità (%)	6.3
Indice di consistenza	1.19
Indice di attività	0.35
Classificaz. Casagrande	ML-OL
Granulometria	
Ghiaia (%)	17.5
Sabbia (%)	32.7
Limo (%)	37.6
Argilla (%)	12.2
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	3

Tabella 7.2 – Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio S2:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'925E – 4'883'404N	
Quota piano campagna (m slm)	68,86	
Profondità perforazione (dal pc):	30 metri (carotaggio)	
Strumentazione	Tubo in pvc ø3" per prove down-hole	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	6,00÷6,45 = 11-7-7 13,50÷13,75 = 23-38-50	20,00÷20,45= 16-50-R 23,00÷23,45= 38-38-50

Campioni: n°6 rimaneggiati

CAMPIONE	S2Cr1
Profondità metri	4.0 - 4.3
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.9
Peso volume secco (kN/m³)	17.5
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	11.00
Limite liquido (%)	24.3
Limite plastico (%)	17.6
Indice di plasticità (%)	6.7
Indice di consistenza	1.99
Indice di attività	0.50
Classificaz. Casagrande	ML-CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	30.3
Sabbia (%)	24.8
Limo (%)	36.9
Argilla (%)	8.0
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	2

CAMPIONE	S2Cr2
Profondità metri	5.5 - 6.0
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	22.0
Peso volume secco (kN/m³)	19.5
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.67
Indice dei vuoti	0.365
Grado di saturazione (%)	92.84
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	12.25
Limite liquido (%)	22.9
Limite plastico (%)	17.6
Indice di plasticità (%)	5.3
Indice di consistenza	2.04
Indice di attività	0.27
Classificaz. Casagrande	ML-CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	43.8
Sabbia (%)	28.4
Limo (%)	19.1
Argilla (%)	8.7
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A2-4
Indice di gruppo	0

CAMPIONE	S2Cr3
Profondità metri	10.5 - 11.0
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	1.384E-07
K (cm/sec)	1.216E-07
K (cm/sec)	1.048E-07
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	21.5
Peso volume secco (kN/m³)	18.5
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	17.69
Limite liquido (%)	24.7
Limite plastico (%)	20.9
Indice di plasticità (%)	3.8
Indice di consistenza	1.83
Indice di attività	0.30
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	28.0
Sabbia (%)	29.6
Limo (%)	34.8
Argilla (%)	7.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	2

CAMPIONE	S2Cr4
Profondità metri	19.0 - 19.5
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	22.9
Peso volume secco (kN/m³)	20.6
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.20
Indice dei vuoti	0.319
Grado di saturazione (%)	97.71
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	12.12
Limite liquido (%)	24.4
Limite plastico (%)	19.8
Indice di plasticità (%)	4.6
Indice di consistenza	2.51
Indice di attività	0.31
Classificaz. Casagrande	ML-CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	18.4
Sabbia (%)	38.3
Limo (%)	33.6
Argilla (%)	9.8
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	2

CAMPIONE	S2Cr5
Profondità metri	21.0 - 21.3
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	20.3
Peso volume secco (kN/m³)	17.4
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	14.75
Limite liquido (%)	22.2
Limite plastico (%)	19.5
Indice di plasticità (%)	2.7
Indice di consistenza	2.75
Indice di attività	0.27
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	32.1
Sabbia (%)	38.3
Limo (%)	24.4
Argilla (%)	5.2
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A2-4
Indice di gruppo	0

CAMPIONE	S2Cr6
Profondità metri	23.5 - 24.0
Prova di taglio	
Cp (kPa)	10.2
ϕp (°)	30.1
Cr (kPa)	0.5
ϕr (°)	27.6
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	20.4
Peso volume secco (kN/m³)	17.5
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	14.57
Limite liquido (%)	19.49
Limite plastico (%)	15.58
Indice di plasticità (%)	3.91
Indice di consistenza	1.26
Indice di attività	0.28
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	0.6
Sabbia (%)	38.0
Limo (%)	47.8
Argilla (%)	13.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	6

segue **Tabella 7.2 -** Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio S3:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'812E – 4'883'460N	
Quota piano campagna (m slm)	40,0	
Profondità perforazione (dal pc):	30 metri (carotaggio)	
Strumentazione	-	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	6,00 ÷ 6,45 = 27-37-R 12,00 ÷12,45 = 19-26-25	18,00 ÷ 18,30 = 31-R
Prove permeabilità in foro Lefranc (profondità e risultati)	4,5 ÷ 5,0 m da p.c., k = 1,54 x 10^{-07} m/s	12,5 ÷ 14,0 m da p.c., k = 3,19 x 10^{-05} m/s

Campioni: n°3 rimaneggiati

CAMPIONE	S3Cr1
Profondità metri	8.0 - 8.2
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.6
Peso volume secco (kN/m³)	16.6
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.4
Indice dei vuoti	0.7
Grado di saturazione (%)	78.3
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	17.99
Limite liquido (%)	21.7
Limite plastico (%)	18.6
Indice di plasticità (%)	3.1
Indice di consistenza	1.18
Indice di attività	0.44
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	6.5
Sabbia (%)	40.7
Limo (%)	47.1
Argilla (%)	5.8
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	4

CAMPIONE	S3Cr2
Profondità metri	13.0 - 13.5
Prova E.L.L.	
Cu (kPa)	48.9
E_h (kPa)	1686
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	3.46E-07
K (cm/sec)	3.10E-07
K (cm/sec)	2.70E-07
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.6
Peso volume secco (kN/m³)	15.4
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.97
Indice dei vuoti	0.750
Grado di saturazione (%)	100.84
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	27.33
Limite liquido (%)	40.2
Limite plastico (%)	34.3
Indice di plasticità (%)	5.9
Indice di consistenza	2.19
Indice di attività	0.59
Classificaz. Casagrande	ML-OL
Granulometria	
Ghiaia (%)	30.8
Sabbia (%)	36.0
Limo (%)	27.6
Argilla (%)	5.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A2-4
Indice di gruppo	0

CAMPIONE	S3Cr3
Profondità metri	16.3 - 16.7
Prova di taglio	
Cp (kPa)	2.1
φp (°)	33.6
Cr (kPa)	1.0
φr (°)	29.6
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	2.87E-08
K (cm/sec)	2.79E-08
K (cm/sec)	2.48E-08
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.8
Peso volume secco (kN/m³)	15.9
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.59
Indice dei vuoti	0.732
Grado di saturazione (%)	93.19
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	20.83
Limite liquido (%)	29.89
Limite plastico (%)	24.67
Indice di plasticità (%)	5.22
Indice di consistenza	1.70
Indice di attività	0.58
Classificaz. Casagrande	ML-OL
Granulometria	
Ghiaia (%)	7.8
Sabbia (%)	33.9
Limo (%)	50.6
Argilla (%)	7.8
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	5

segue **Tabella 7.2 -** Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio S4:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'636E – 4'883'434N	
Quota piano campagna (m slm)	34,61	
Profondità perforazione (dal pc):	33 metri (carotaggio)	
Strumentazione	Tubo in pvc ø 3" per prove down-hole	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	6,20 ÷ 6,65 = 6-9-11 10,50 ÷ 10,95 = 19-21-21	12,45 ÷ 12,45 = 20-15-21 19,50 ÷ 19,95 = 25-39-50
Prove permeabilità in foro Lefranc (profondità e risultati)	7,0 ÷ 8,0 m da p.c., k = 3,0 x 10^{-07} m/s	13,0 ÷ 14,5 m da p.c., k = 1,3 x 10^{-06} m/s

Campioni: n°5 rimaneggiati

CAMPIONE	S4Cr1
Profondità metri	6.0 - 6.2
Prova di taglio	
Cp (kPa)	3.5
φp (°)	36.3
Cr (kPa)	2.6
φr (°)	28.4
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	2.82E-05
K (cm/sec)	2.87E-05
K (cm/sec)	2.85E-05
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	14.6
Peso volume secco (kN/m³)	10.2
Peso specifico dei grani (kN/m³)	21.74
Indice dei vuoti	1.061
Grado di saturazione (%)	90.92
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	41.71
Limite liquido (%)	38.81
Limite plastico (%)	35.77
Indice di plasticità (%)	3.04
Indice di consistenza	-0.95
Indice di attività	1.04
Classificaz. Casagrande	ML-OL
Granulometria	
Ghiaia (%)	0.7
Sabbia (%)	23.2
Limo (%)	73.3
Argilla (%)	2.9
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	8

CAMPIONE	S4Cr2
Profondità metri	8.8 - 9.2
Prova di taglio	
Cp (kPa)	4.4
φp (°)	35.6
Cr (kPa)	3.8
φr (°)	32.7
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0.02180
Cc (indice di compressione)	0.05766
Cs (indice di rigonfiamento)	0.02269
σ_{vmax} (kPa)	66.9
Prova di permeabilità in cella triassiale	
K (cm/sec)	4.47E-08
K (cm/sec)	3.39E-08
K (cm/sec)	2.33E-08
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	18.7
Peso volume secco (kN/m³)	15.1
Peso specifico dei grani (kN/m³)	25.93
Indice dei vuoti	0.746
Grado di saturazione (%)	79.49
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	19.10
Limite liquido (%)	28.5
Limite plastico (%)	21.2
Indice di plasticità (%)	7.3
Indice di consistenza	1.29
Indice di attività	0.91
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	4.4
Sabbia (%)	45.6
Limo (%)	42.5
Argilla (%)	7.4
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	4

CAMPIONE	S4Cr3
Profondità metri	11.0 - 11.3
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	21.2
Peso volume secco (kN/m³)	18.4
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.01
Indice dei vuoti	0.416
Grado di saturazione (%)	99.85
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	17.03
Limite liquido (%)	22.3
Limite plastico (%)	20.4
Indice di plasticità (%)	1.9
Indice di consistenza	2.14
Indice di attività	0.13
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	33.4
Sabbia (%)	30.6
Limo (%)	27.8
Argilla (%)	8.3
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	1

segue **Tabella 7.2 -** Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio S4:

Campioni: n°5 rimaneggiati

CAMPIONE	S4Cr4
Profondità metri	14.7 - 15.0
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m^3)	21.0
Peso volume secco (kN/m^3)	18.0
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	14.43
Limite liquido (%)	23.0
Limite plastico (%)	17.5
Indice di plasticità (%)	5.6
Indice di consistenza	1.55
Indice di attività	0.32
Classificaz. Casagrande	ML-CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	46.2
Sabbia (%)	30.2
Limo (%)	16.4
Argilla (%)	7.2
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A1-b
Indice di gruppo	0

CAMPIONE	S4Cr5
Profondità metri	17.7 - 18.0
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m^3)	20.7
Peso volume secco (kN/m^3)	18.1
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	15.76
Limite liquido (%)	20.4
Limite plastico (%)	17.5
Indice di plasticità (%)	2.9
Indice di consistenza	1.60
Indice di attività	0.21
Classificaz. Casagrande	ML
Granulometria	
Ghiaia (%)	20.5
Sabbia (%)	33.8
Limo (%)	35.9
Argilla (%)	9.8
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	3

segue **Tabella 7.2 -** Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio SV1:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'789E – 4'883'755N	
Quota piano campagna (m slm)	61,60	
Profondità perforazione (dal p.c.):	25 metri (carotaggio)	
Strumentazione	-	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	4,50 ÷ 4,95 = 4-4-7	7,50 ÷ 7,95 = 12-14-14

Campioni: n°1 rimaneggiati

CAMPIONE	SV1C1
Profondità metri	9.3 - 9.6
Prova di taglio	
Cp (kPa)	15.1
φp (°)	27.2
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0.03909
Cc (indice di compressione)	0.10690
Cs (indice di rigonfiamento)	0.03834
σ_{max} (kPa)	184.0
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.3
Peso volume secco (kN/m³)	16.0
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.31
Indice dei vuoti	0.590
Grado di saturazione (%)	92.32
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	19.09
Limite liquido (%)	33.1
Limite plastico (%)	20.3
Indice di plasticità (%)	12.8
Indice di consistenza	1.10
Indice di attività	0.63
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	8.4
Sabbia (%)	29.8
Limo (%)	44.5
Argilla (%)	17.2
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A6
Indice di gruppo	7

Tabella 7.3 - Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

Sondaggio SV2:		
Ubicazione (UTM wgs84)	569'763E – 4'883'790N	
Quota piano campagna (m slm)	62,00	
Profondità perforazione (dal p.c.):	25 metri (carotaggio)	
Strumentazione	-	
Prove SPT in foro (profondità e n°colpi)	3,50 ÷ 3,95 = 6-14-12	6,00 ÷ 6,45 = 9-13-12

Campioni: n°2 rimaneggiati

CAMPIONE	SV2C1
Profondità metri	7.35 - 7.65
Prova di taglio	
Cp (kPa)	31.9
φp (°)	27.9
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0.01032
Cc (indice di compressione)	0.10029
Cs (indice di rigonfiamento)	0.02730
σ_{vmax} (kPa)	112.3
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	18.5
Peso volume secco (kN/m³)	15.1
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.33
Indice dei vuoti	0.592
Grado di saturazione (%)	85.06
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	15.54
Limite liquido (%)	29.2
Limite plastico (%)	20.1
Indice di plasticità (%)	9.1
Indice di consistenza	1.50
Indice di attività	0.53
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	26.6
Sabbia (%)	33.0
Limo (%)	29.8
Argilla (%)	10.6
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	2

CAMPIONE	SV2C2
Profondità metri	14.25 - 14.5
Prova di taglio	
Cp (kPa)	6.8
φp (°)	33.5
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0.03140
Cc (indice di compressione)	0.11500
Cs (indice di rigonfiamento)	0.03392
σ_{vmax} (kPa)	271.7
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m³)	19.2
Peso volume secco (kN/m³)	15.7
Peso specifico dei grani (kN/m³)	26.48
Indice dei vuoti	0.649
Grado di saturazione (%)	87.89
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	18.87
Limite liquido (%)	38.3
Limite plastico (%)	22.5
Indice di plasticità (%)	15.8
Indice di consistenza	1.23
Indice di attività	0.73
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	22.9
Sabbia (%)	24.6
Limo (%)	38.0
Argilla (%)	14.5
Classificazione UNI 10006	
Gruppo	A6
Indice di gruppo	6

segue **Tabella 7.3 -** Sintesi della campagna geognostica febbraio 2015.

7.3.2 Prove down-hole

Nel corso della campagna del febbraio 2015 sono state eseguite numero 2 prove sismiche tipo down-hole con onde P e SH all'interno dei sondaggi S3 e S4, per un totale di 63 m. Scopo delle indagini è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni presenti.

Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità è stato utilizzato un geofono da pozzo munito di due ricevitori costituiti ognuno da tre sensori sensibili

alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro; i due ricevitori, posizionati alla distanza di 1 m l'uno dall'altro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, è stato calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati sono stati registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni poste in superficie.

L'orientazione veniva garantita da una bussola posta all'interno del geofono che posiziona le due terne con il sensore orizzontale disposto secondo il Nord.

Energizzando verticalmente su una piastra posta a diretto contatto con il terreno venivano generate predominanti onde P di compressione, mentre per le onde SH di taglio si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che è stata colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata; orientando la sorgente di energizzazione in superficie a 45° rispetto ad punto cardinale, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH.

La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 3 m per S3 e 4.3 m per S4, mentre il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

Di seguito si riportano tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità e dei parametri elastici dinamici e relativi grafici.

Sondaggio S2 DH:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'925E – 4'883'404N
Quota piano campagna (mslm)	68,86
Profondità perforazione (dal pc):	30 metri (carotaggio)
Strumentazione	Tubo in pvc ø3" per prove down-hole
Distanza sorgente - boccaforo	2,4 m

Z	Tp	Ts	Tp Corr.	Ts Corr.	VP	VS			G	E	K
m	ms	ms	ms	ms	m/sec.	m/sec.	t / m^3	-	MPa	MPa	MPa
1	4.44	7.98	1.40	2.52	712	396	1.96	0.28	308	**785**	584
2	5.19	9.82	2.88	5.45	678	342	1.96	0.33	229	**610**	595
3	5.89	11.89	4.16	8.41	778	338	1.96	0.38	224	**619**	887
4	7.37	14.33	5.90	11.46	578	327	1.96	0.26	210	**530**	374
5	8.71	16.57	7.47	14.21	636	364	1.96	0.26	260	**653**	445
6	10.06	20.25	9.00	18.11	654	256	1.96	0.41	129	**363**	667
7	11.51	23.17	10.58	21.30	632	314	1.96	0.34	193	**517**	526
8	12.89	25.86	12.07	24.21	671	343	1.96	0.32	230	**610**	576
9	14.07	28.54	13.35	27.08	782	349	1.96	0.38	239	**658**	880
10	15.62	31.22	14.96	29.90	620	354	1.96	0.26	245	**617**	426
11	17.05	33.91	16.45	32.72	672	356	1.96	0.31	248	**647**	555
12	18.29	35.92	17.74	34.85	772	469	1.96	0.21	431	**1041**	595
13	19.67	38.14	19.17	37.16	703	432	1.96	0.20	365	**875**	481
14	21.21	40.63	20.74	39.73	636	390	1.96	0.20	298	**714**	395
15	22.58	42.95	22.14	42.12	713	419	1.96	0.24	344	**850**	538
16	23.76	45.12	23.35	44.35	825	448	1.96	0.29	394	**1016**	810
17	24.76	46.85	24.38	46.14	971	559	1.96	0.25	612	**1532**	1031
18	25.75	48.49	25.40	47.83	984	591	1.98	0.22	691	**1683**	996
19	26.41	49.63	26.09	49.02	1455	839	1.98	0.25	1393	**3485**	2336
20	26.90	50.83	26.60	50.27	1940	803	1.98	0.40	1277	**3568**	5746
21	27.39	51.68	27.11	51.16	1952	1120	1.98	0.25	2483	**6231**	4233
22	27.87	52.48	27.61	52.00	2001	1193	1.98	0.22	2818	**6901**	4171
23	28.35	53.35	28.11	52.90	2010	1107	1.98	0.28	2428	**6226**	4765
24	28.89	54.15	28.67	53.73	1802	1205	1.98	0.10	2874	**6298**	2595
25	29.39	55.01	29.18	54.62	1947	1128	1.98	0.25	2521	**6286**	4141
26	29.95	55.99	29.75	55.62	1748	997	1.98	0.26	1969	**4957**	3428
27	30.53	57.15	30.34	56.80	1693	848	1.98	0.33	1423	**3793**	3777
28	31.10	58.26	30.92	57.93	1725	887	1.98	0.32	1556	**4110**	3816
29	31.69	59.19	31.52	58.88	1670	1056	1.98	0.17	2206	**5151**	2581
30	32.26	60.18	32.10	59.88	1730	994	1.98	0.25	1958	**4908**	3313

Z	**Profondità**		**Densità**
Tp	**Tempo di arrivo onde di compressione**		**Modulo di Poisson**
Ts	**Tempo di arrivo onde di taglio**	**G**	**Modulo taglio**
Tp Corr.	**Tempo di arrivo corretto onde di compressione**	**E**	**Modulo di Young**
Ts Corr.	**Tempo di arrivo corretto onde di taglio**	**K**	**Modulo di rigidità volumetrica**

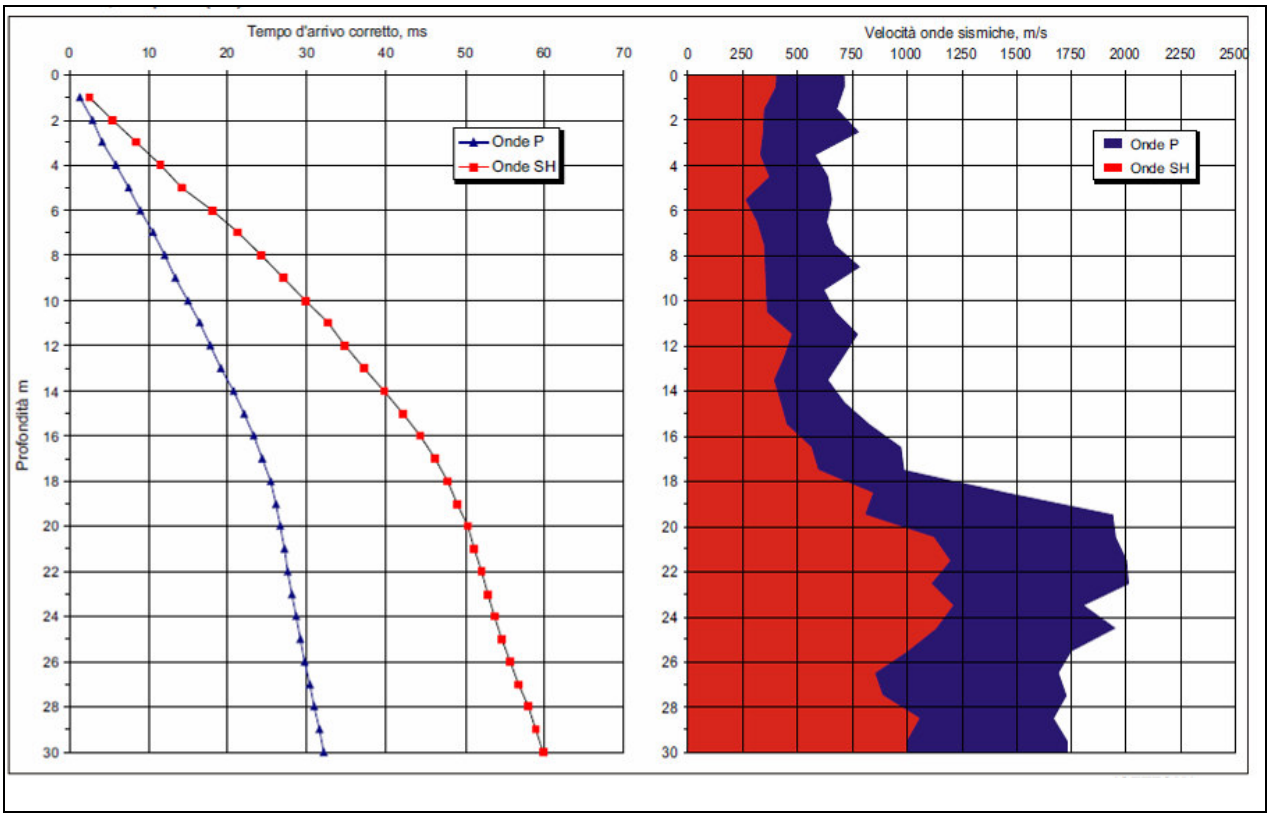


Tabella 7.4 - Sintesi della prove down-hole – Campagna febbraio 2015.

Sondaggio S4 DH:	
Ubicazione (UTM wgs84)	569'636E – 4'883'434N
Quota piano campagna (mslm)	34,61
Profondità perforazione (dal pc):	33 metri (carotaggio)
Strumentazione	Tubo in pvc ø3" per prove down-hole
Distanza sorgente - boccaforo	2,4 m

Z	Tp	Ts	Tp Corr.	Ts Corr.	VP	VS			G	E	K
m	ms	ms	ms	ms	m/sec.	m/sec.	t / m^3	-	MPa	MPa	MPa
1	9.07	20.11	2.05	4.56	487	220	1.46	0.37	70	**193**	252
2	9.94	20.55	4.19	8.67	468	243	1.46	0.31	86	**227**	204
3	10.71	20.68	6.13	11.83	517	316	1.46	0.20	146	**350**	195
4	10.94	21.98	7.45	14.97	756	319	1.46	0.39	148	**413**	636
5	11.31	23.21	8.58	17.60	890	381	1.46	0.39	212	**587**	874
6	12.13	25.41	9.86	20.65	779	327	1.46	0.39	156	**435**	677
7	12.94	27.64	11.03	23.55	857	345	1.60	0.40	191	**535**	922
8	13.94	30.42	12.28	26.79	798	308	1.87	0.41	178	**502**	954
9	14.88	32.78	13.43	29.58	871	359	1.87	0.40	241	**675**	1098
10	15.72	34.89	14.44	32.05	985	404	1.95	0.40	318	**891**	1468
11	16.56	36.79	15.42	34.27	1018	452	2.12	0.38	433	**1193**	1621
12	17.37	38.14	16.35	35.90	1077	610	2.12	0.26	789	**1994**	1408
13	18.12	39.41	17.20	37.42	1174	661	2.12	0.27	928	**2352**	1688
14	19.12	41.14	18.28	39.33	931	523	2.10	0.27	575	**1460**	1054
15	20.00	43.36	19.23	41.68	1054	425	2.10	0.40	379	**1063**	1830
16	20.69	45.32	19.98	43.77	1324	479	2.10	0.42	483	**1375**	3037
17	21.31	46.48	20.66	45.06	1474	773	2.10	0.31	1254	**3288**	2891
18	21.76	47.58	21.16	46.28	1980	822	2.10	0.40	1418	**3959**	6340
19	22.18	48.92	21.63	47.71	2135	697	2.10	0.44	1019	**2936**	8211
20	22.60	50.25	22.10	49.13	2164	707	2.10	0.44	1050	**3025**	8430
21	23.00	51.47	22.53	50.42	2286	771	2.10	0.44	1249	**3588**	9311
22	23.37	52.57	22.94	51.59	2478	855	2.10	0.43	1534	**4395**	10852
23	23.75	53.60	23.35	52.69	2442	915	2.10	0.42	1757	**4983**	10180
24	24.13	54.51	23.75	53.66	2461	1033	2.10	0.39	2239	**6239**	9737
25	24.48	55.36	24.13	54.56	2674	1107	2.10	0.40	2574	**7190**	11586
26	24.82	56.15	24.49	55.40	2765	1192	2.10	0.39	2986	**8275**	12076
27	25.19	56.95	24.88	56.24	2570	1185	2.10	0.36	2950	**8053**	9935
28	25.57	57.73	25.27	57.06	2518	1220	2.10	0.35	3124	**8415**	9144
29	25.94	58.52	25.66	57.89	2592	1211	2.10	0.36	3077	**8374**	10009
30	26.31	59.31	26.04	58.71	2602	1215	2.10	0.36	3101	**8439**	10079
31	26.69	60.11	26.44	59.54	2544	1205	2.10	0.36	3049	**8264**	9528
32	27.09	60.89	26.85	60.35	2428	1238	2.10	0.32	3219	**8527**	8091
33	27.47	61.56	27.24	61.04	2557	1436	2.10	0.27	4331	**10998**	7959

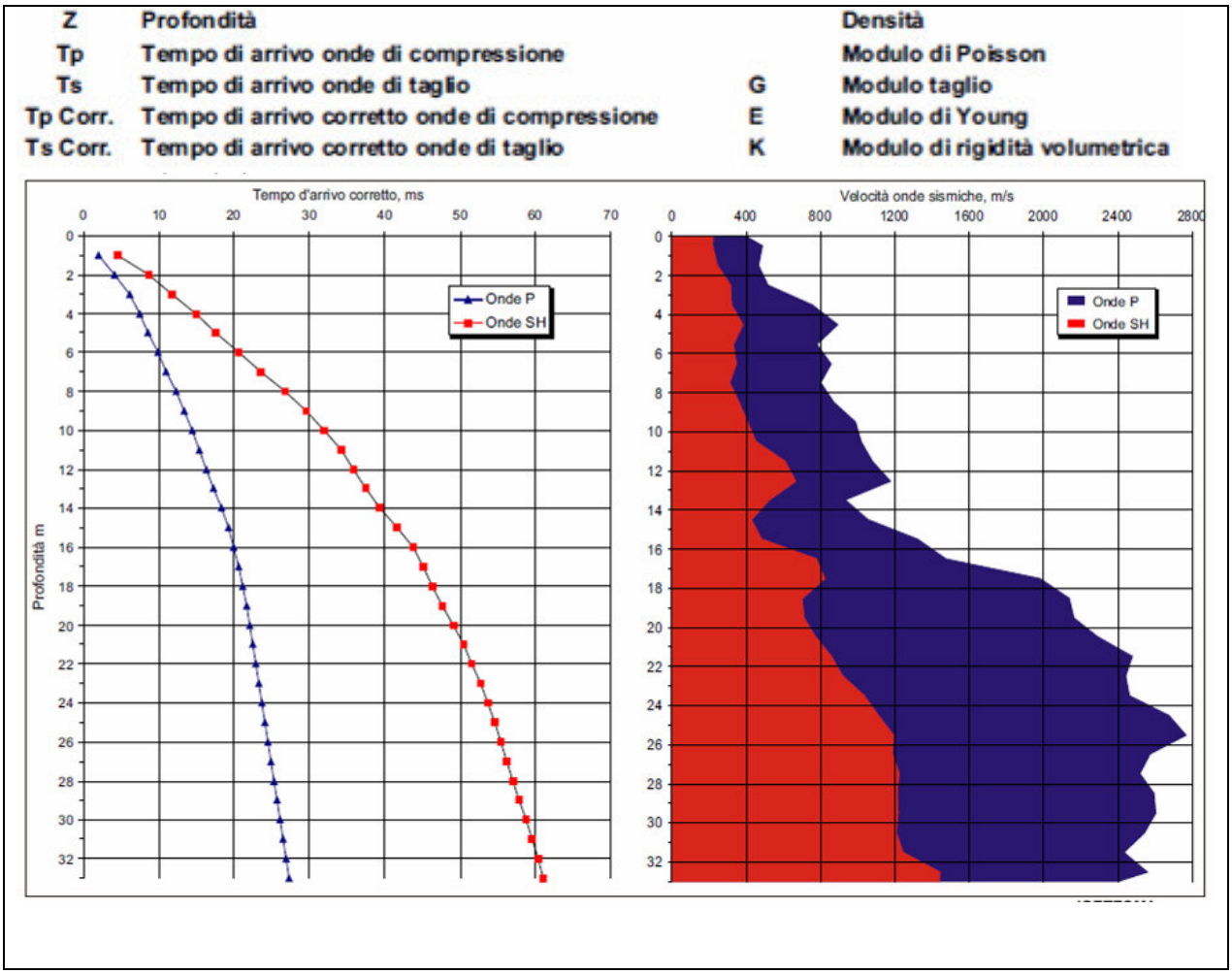
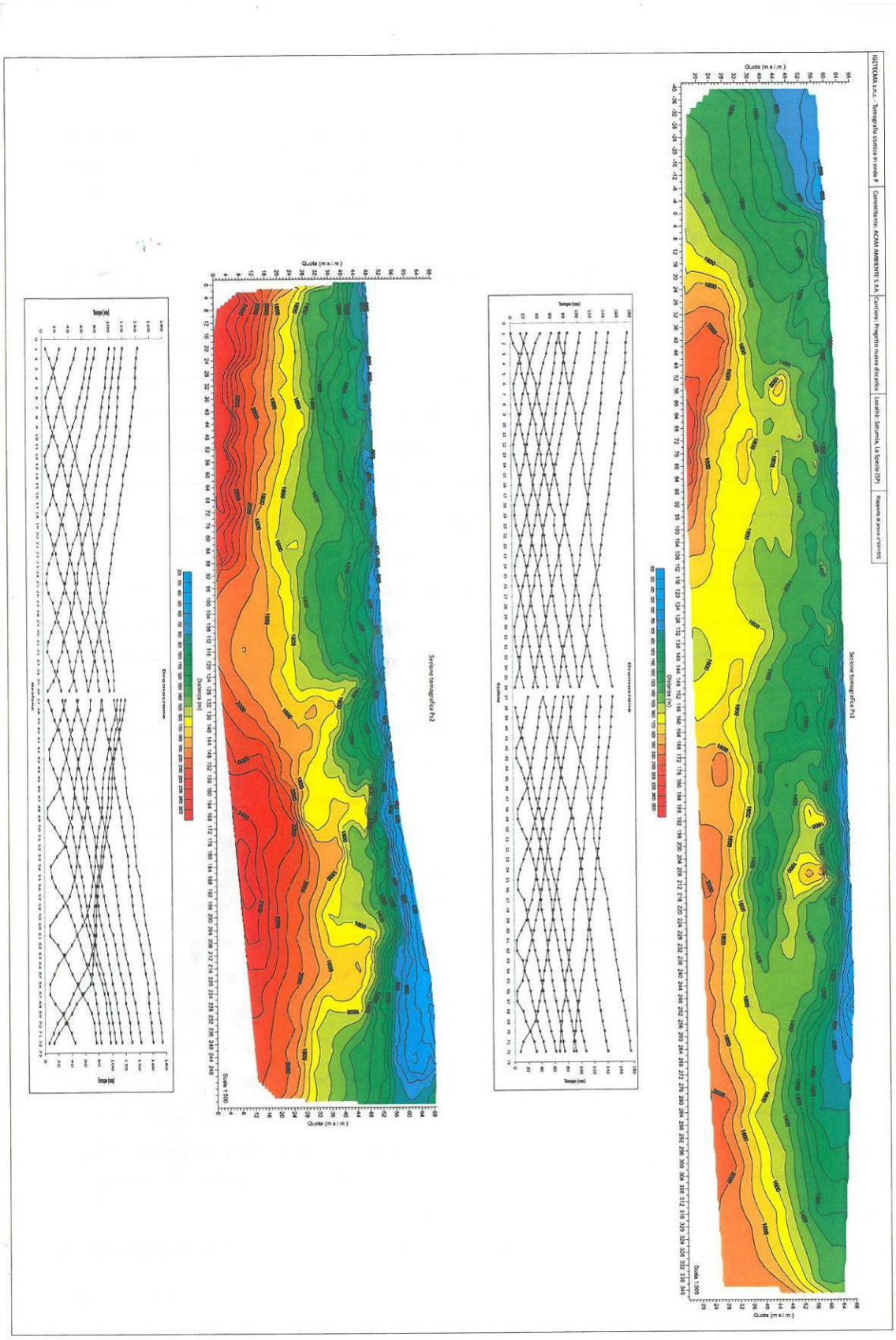
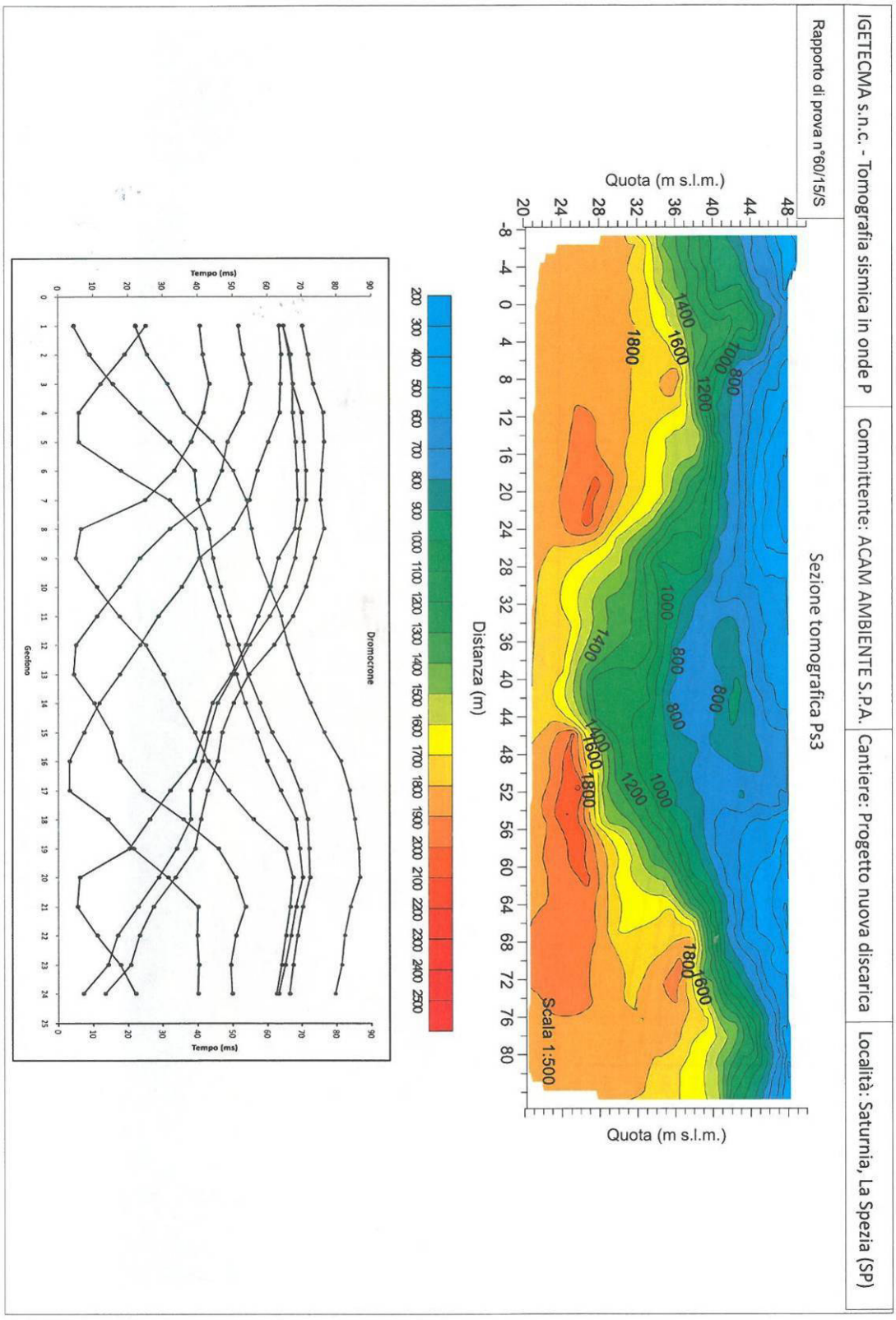


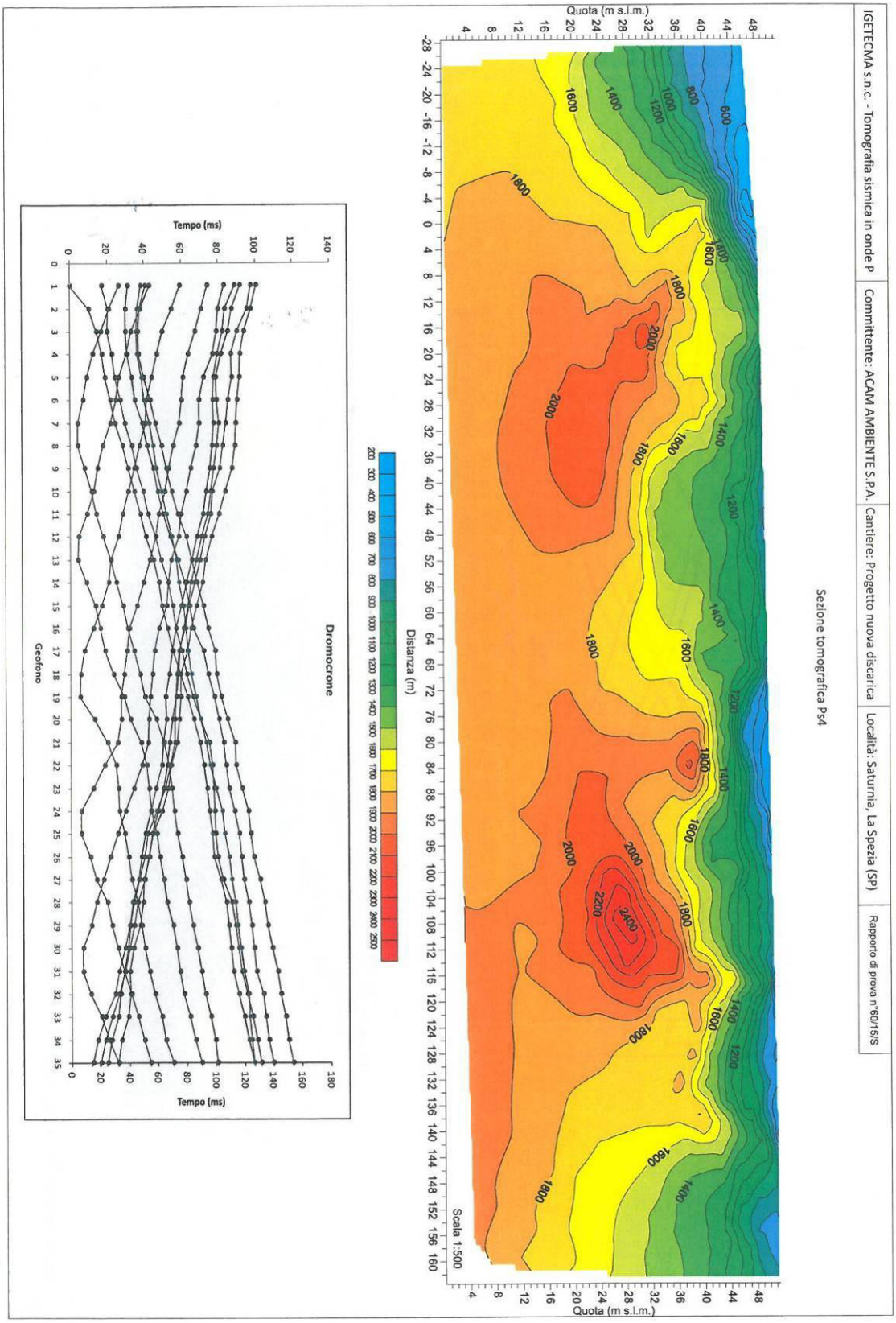
Tabella 5.5 - Sintesi della prove down-hole – Campagna febbraio 2015.

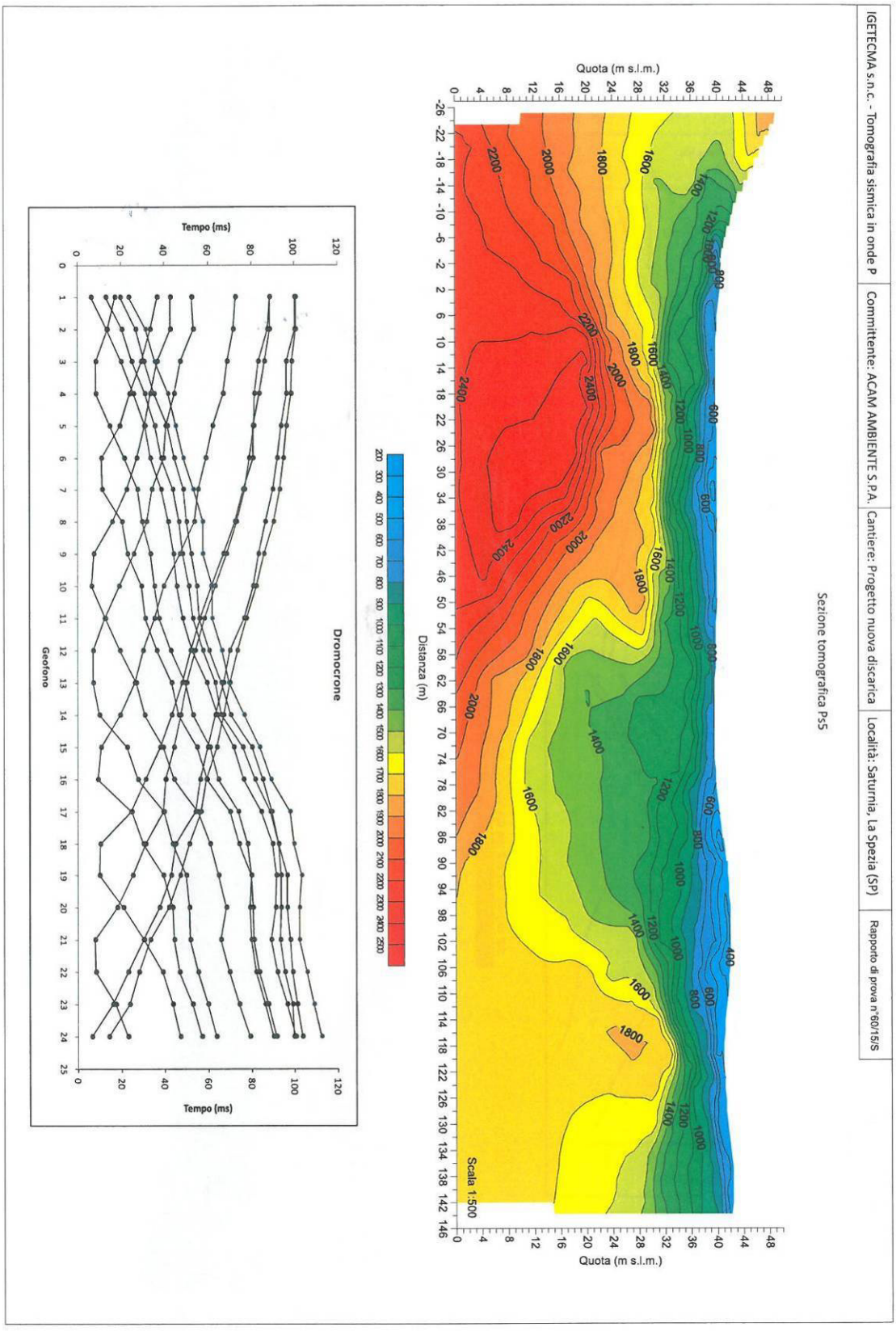
7.3.3 Sezioni di sismiche a rifrazione

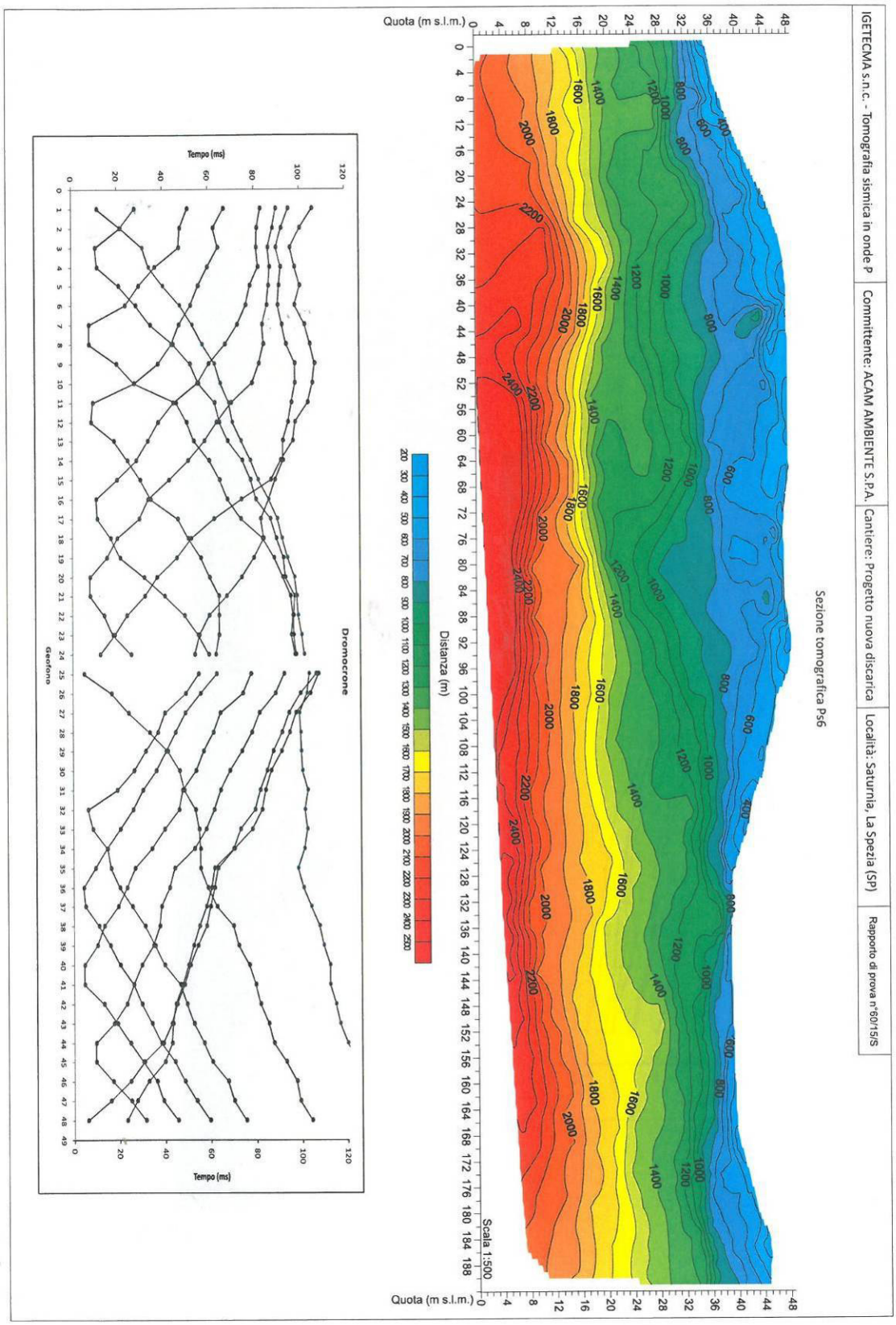
Nel corso della campagna del febbraio 2015 sono state eseguite sono state eseguite 10 sezioni di sismica a rifrazione con onde di compressione P ed elaborazione tomografica, per un totale di 1944,5 m di rilievo.

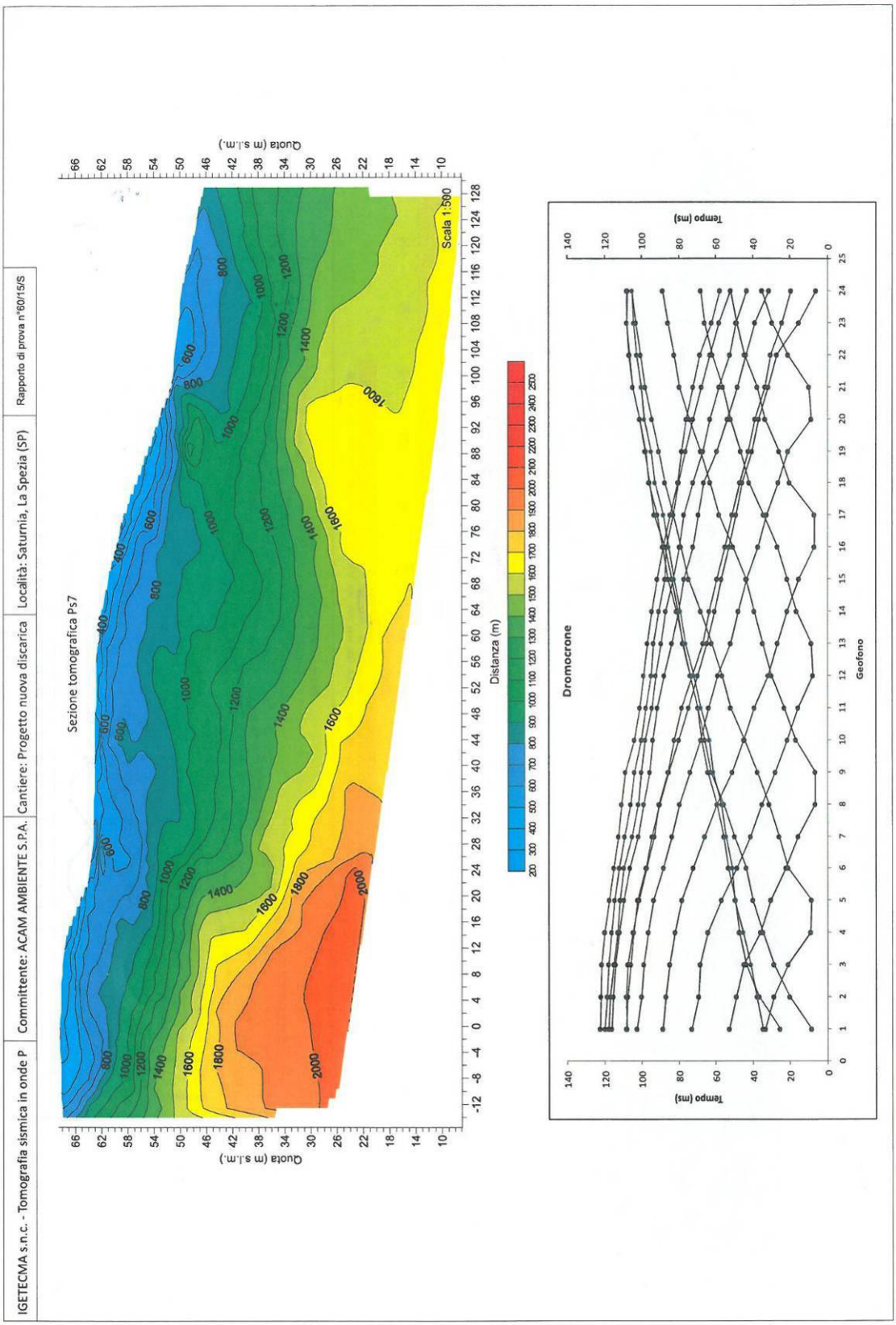


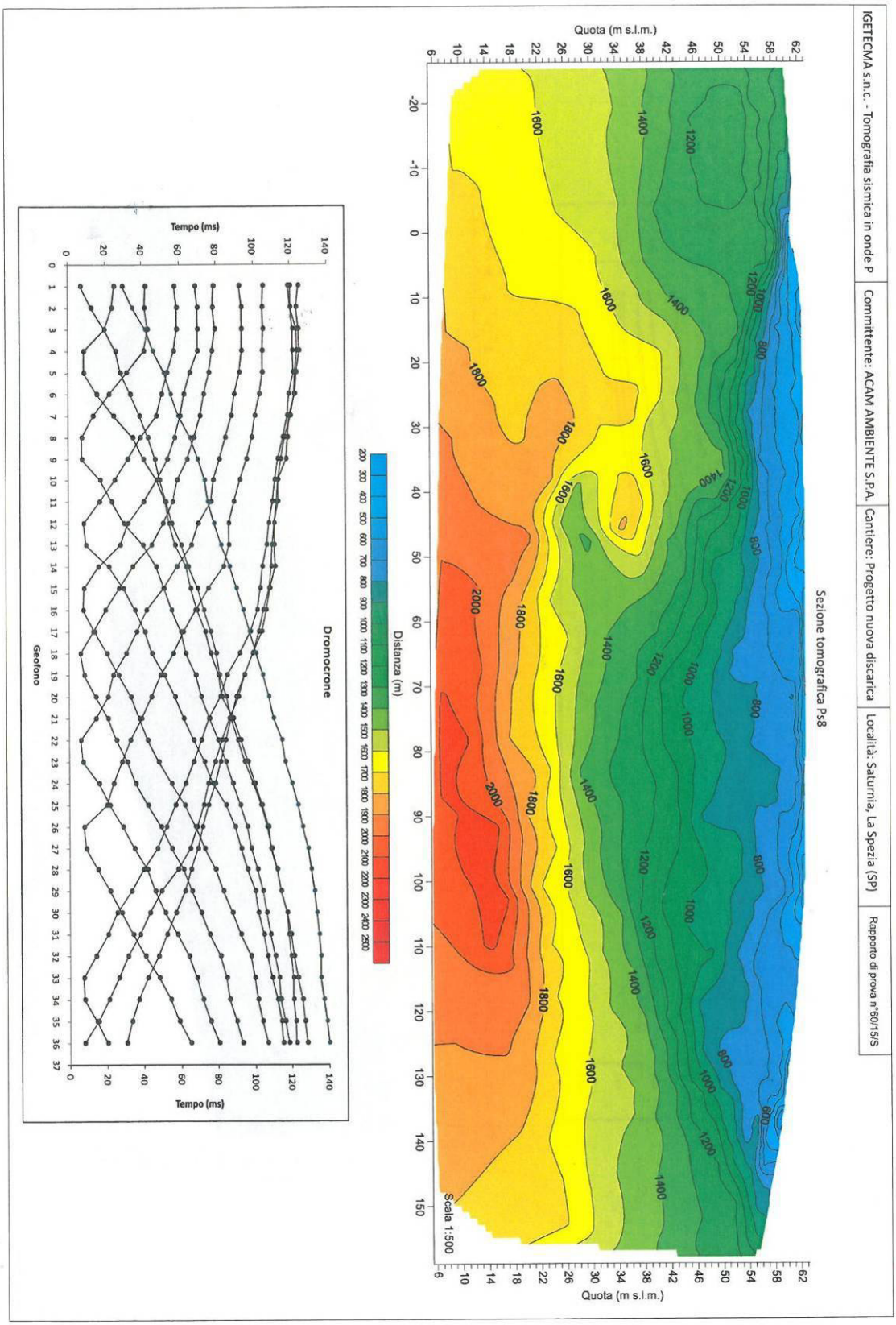

IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps3
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Scala 1:500
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono

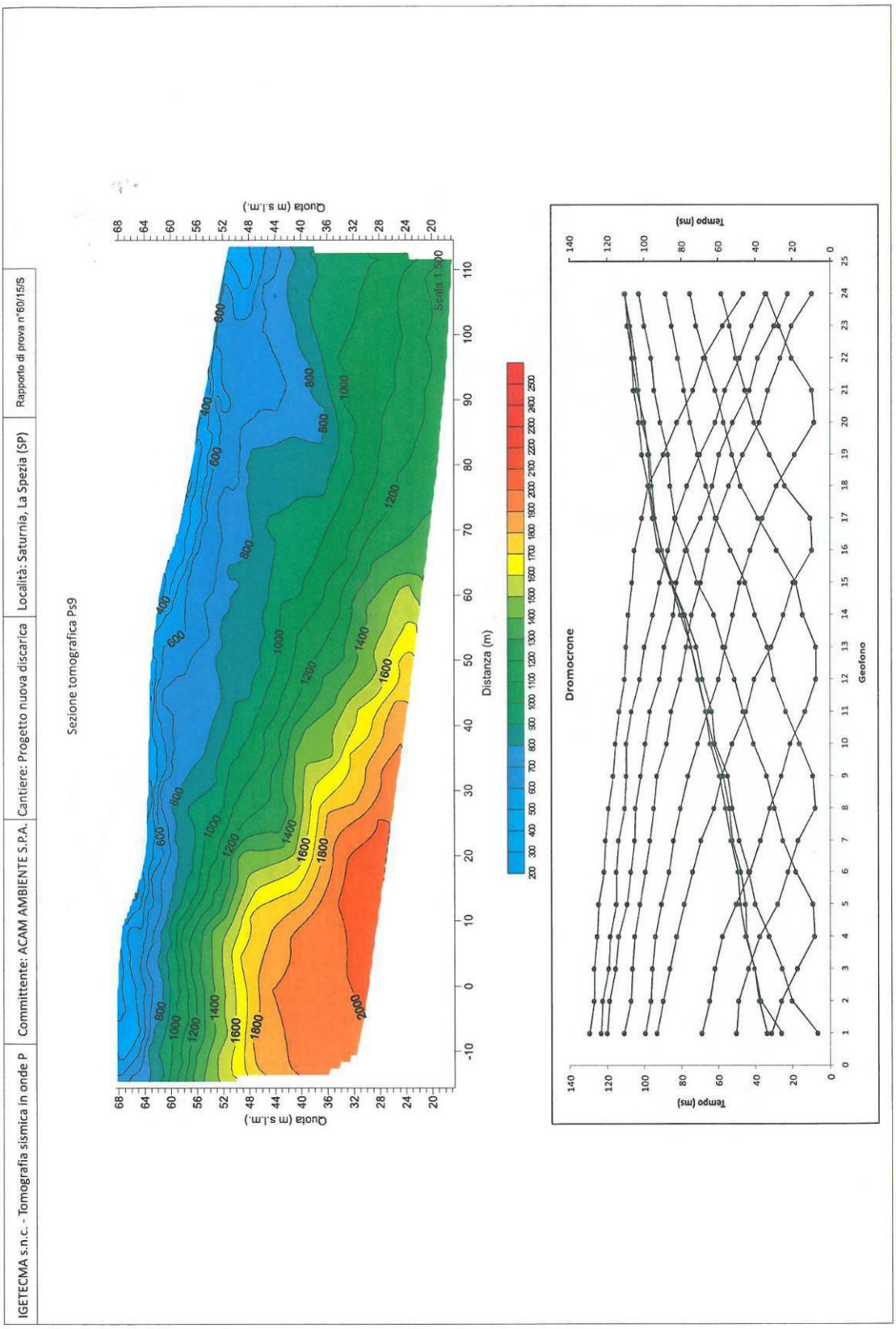

IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps4
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Scala 1:500
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono


IGETECMA S.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps5
Scala 1:500
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono


IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps6
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Scala 1:500
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono


IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps7
Scala 1:500
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono


IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps8
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Scala 1:500
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono


IGETECMA s.n.c. - Tomografia sismica in onde P
Committente: ACAM AMBIENTE S.P.A.
Cantiere: Progetto nuova discarica
Località: Saturnia, La Spezia (SP)
Rapporto di prova n°60/15/S
Sezione tomografica Ps9
Scala 1:500
Quota (m s.l.m.)
Distanza (m)
Dromocrone
Tempo (ms)
Geofono

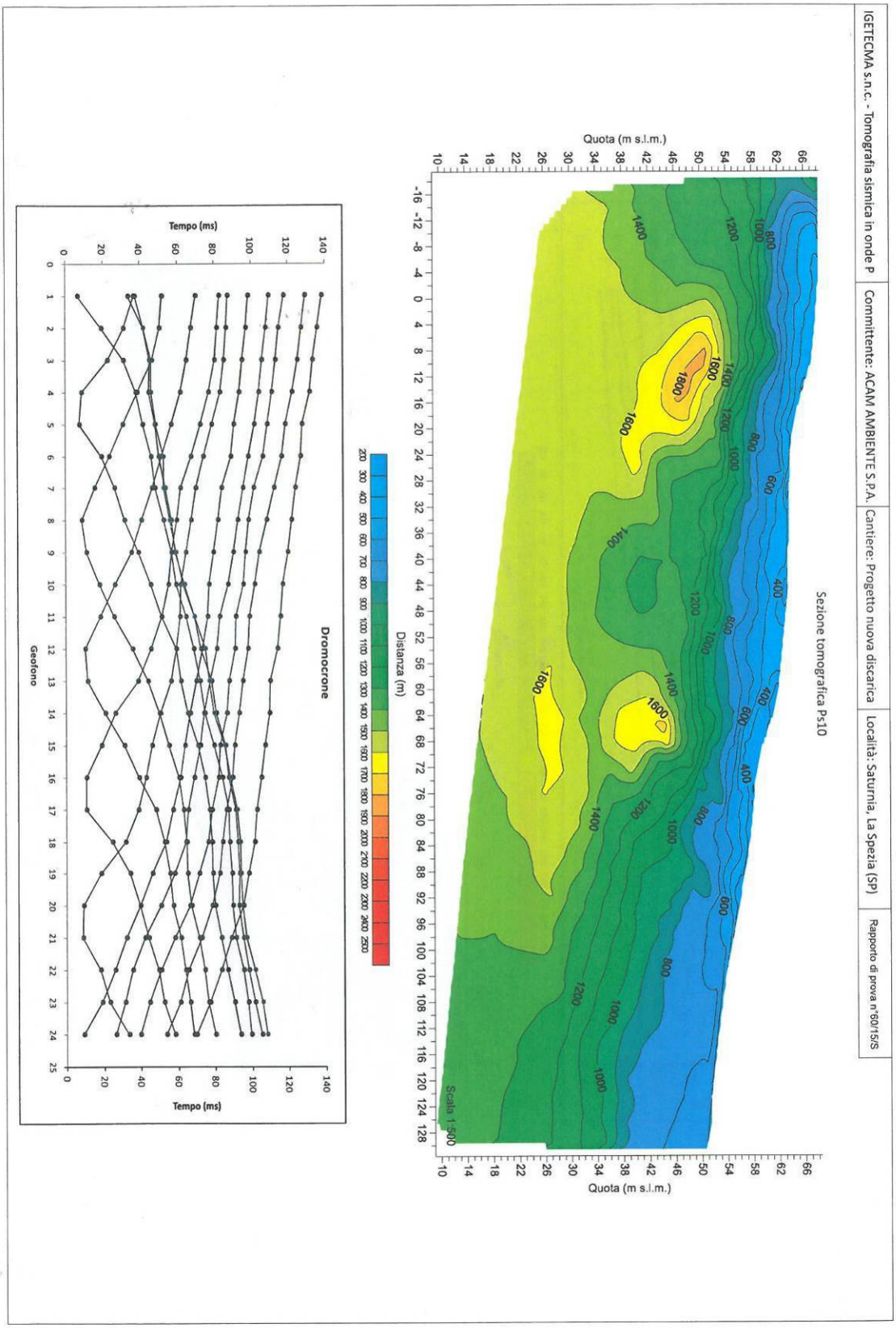


Figura 7.4 – Registrazioni aquisite ed elaborazioni dei profili sismici a rifrazione in onde P - campagna febbraio 2015.

Per la realizzazione delle stese sismiche è previsto che vengano posati i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengano collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite. L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di compressione è stata effettuata mediante massa battente: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (trigger), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (shot points), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (end), esternamente (offset) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali).

La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità, le specifiche vengono di seguito riportate:

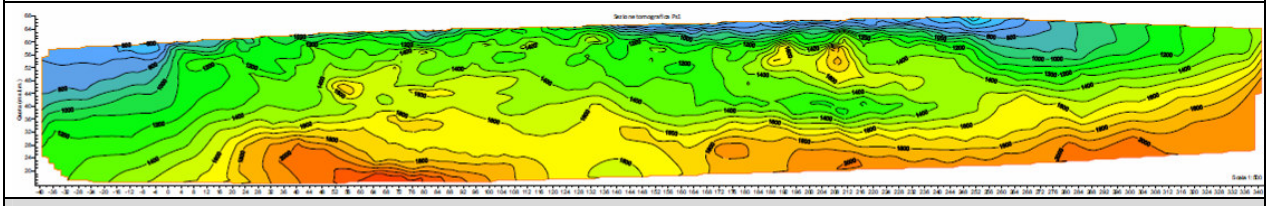
Sezione	Canali N°	Spaziatura (m)		Shots N°	Tempi N°	Max. Offset sx (m)	Max. Offset dx (m)	Lunghezza totale (m)
Ps1	72	3.5	248.5	23	827	44	99.5	392
Ps2	72	3.5	248.5	21	756	2	12.5	263
Ps3	24	3.5	80.5	9	216	8	9	97.5
Ps4	36	4	140	14	504	29	24	193
Ps5	24	6	138	13	312	28	8	174
Ps6	48	4	188	16	768	2	7	197
Ps7	24	4	92	14	336	16	42	150
Ps8	36	4	140	12	432	28	22	190
Ps9	24	4	92	12	388	16	26	134
Ps10	24	4	92	13	312	20	42	154

Tabella 7.6 - Sintesi delle specifiche degli stendimenti sismici - Campagna febbraio 2015.

Sezione tomografica Ps1:

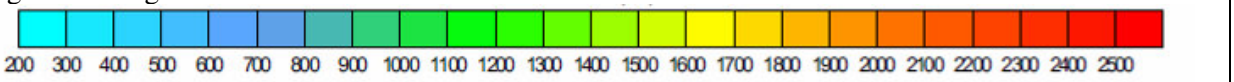
Legenda tomografia onde P

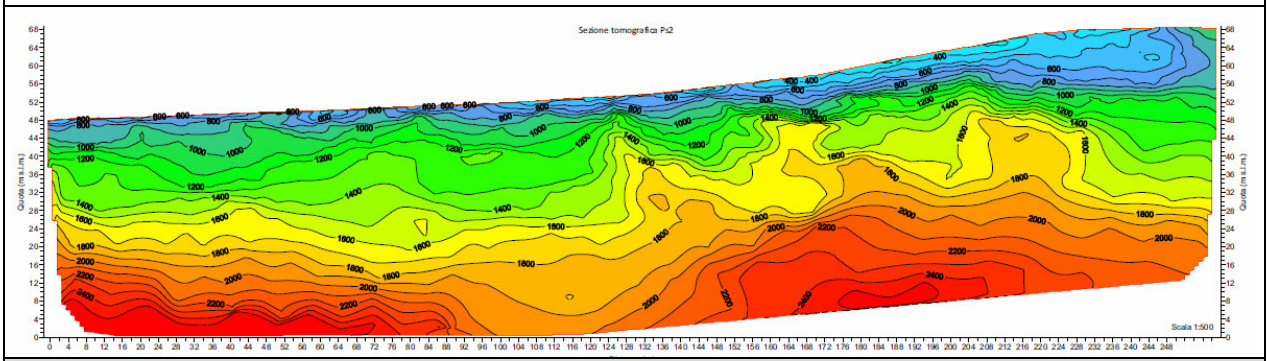




Sezione tomografica Ps2:

Legenda tomografia onde P

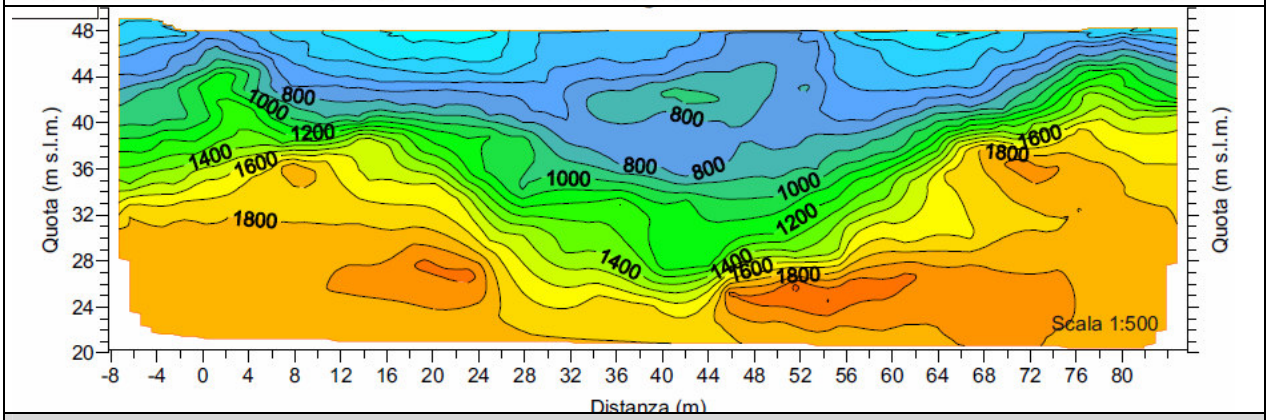




Sezione tomografica Ps3:

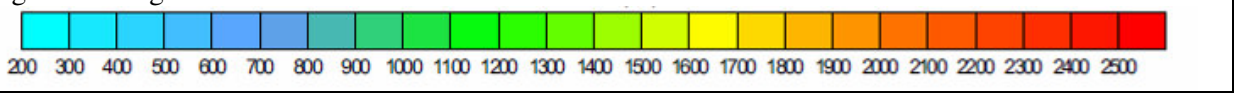
Legenda tomografia onde P

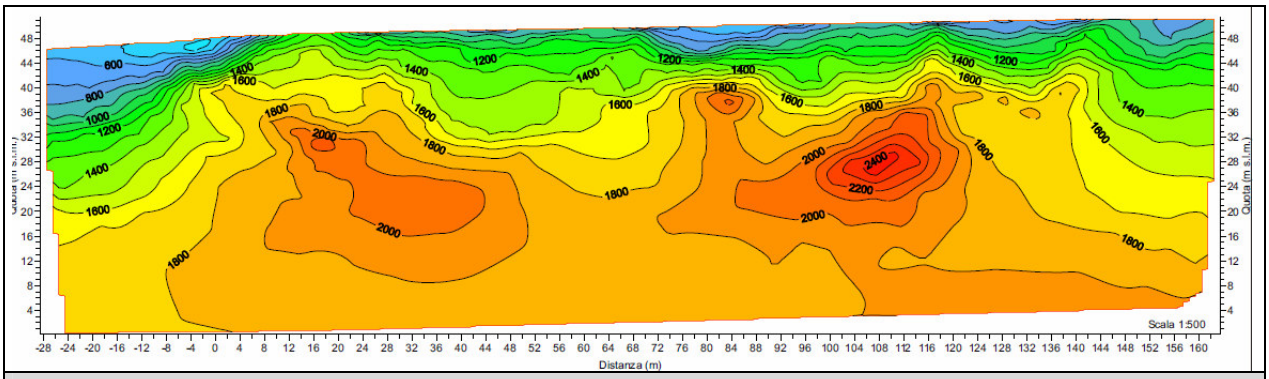




Sezione tomografica Ps4:

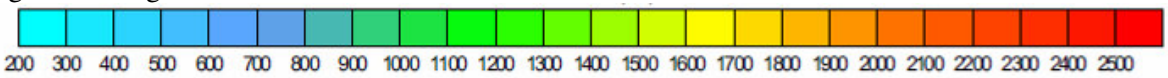
Legenda tomografia onde P

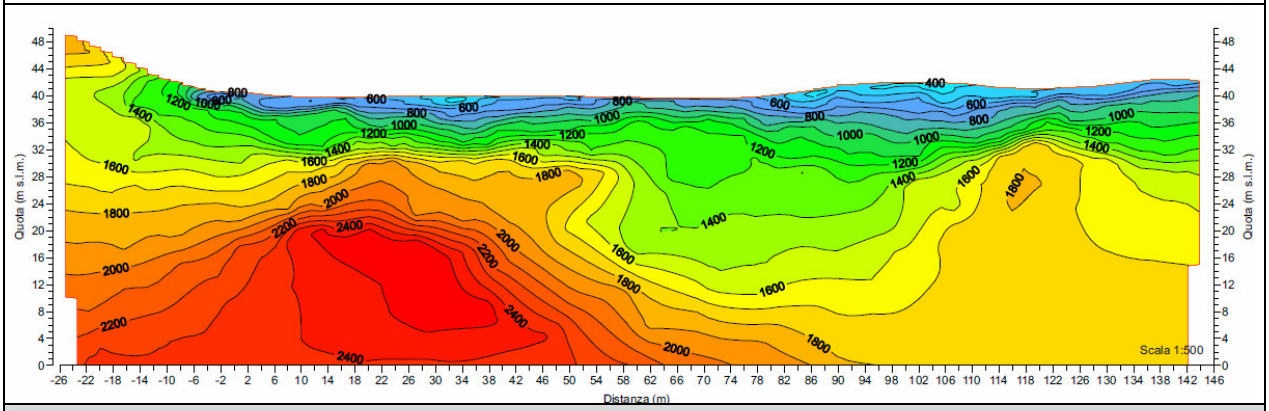




Sezione tomografica Ps5:

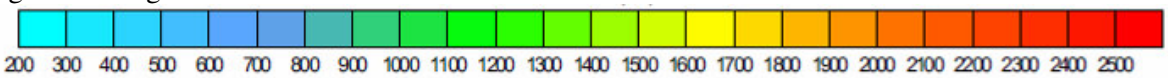
Legenda tomografia onde P

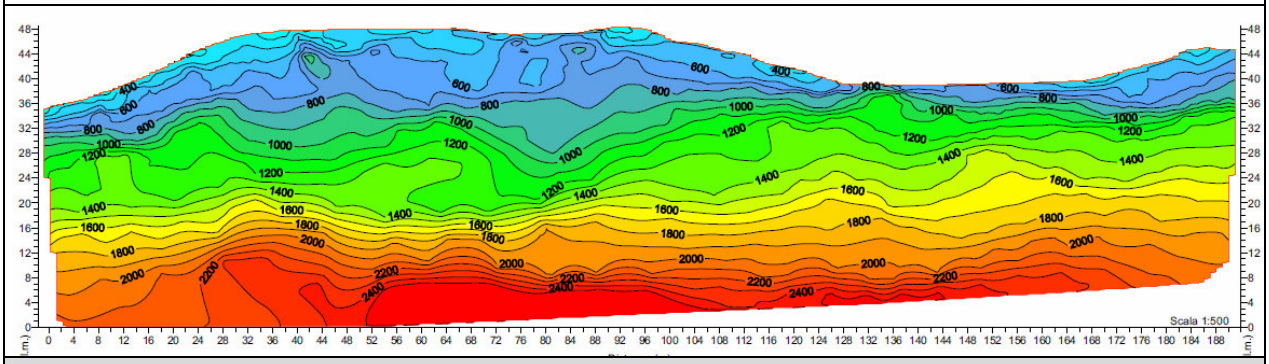




Sezione tomografica Ps6:

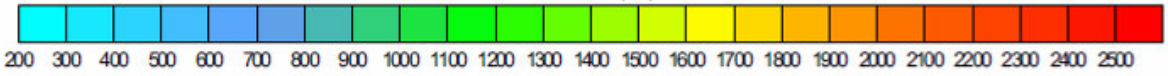
Legenda tomografia onde P

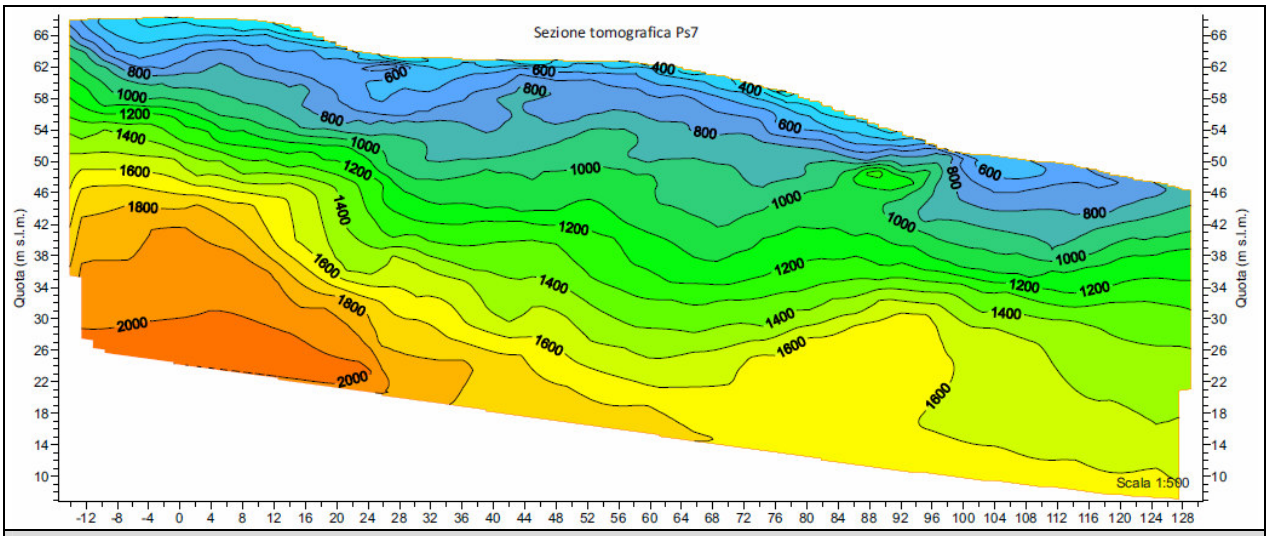




Sezione tomografica Ps7:

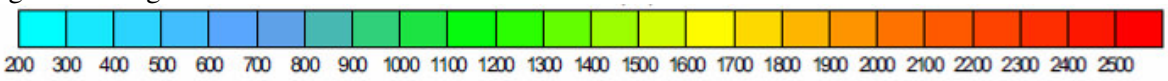
Legenda tomografia onde P

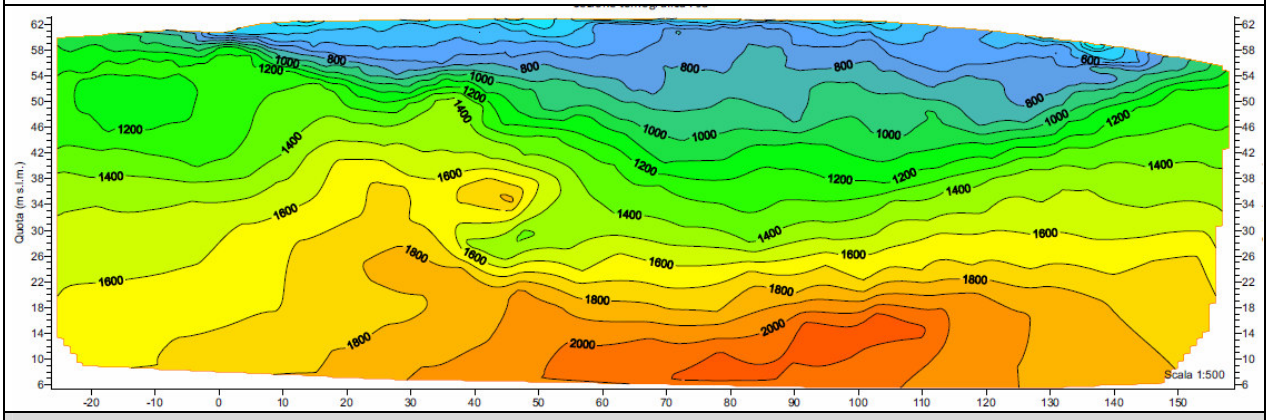




Sezione tomografica Ps8:

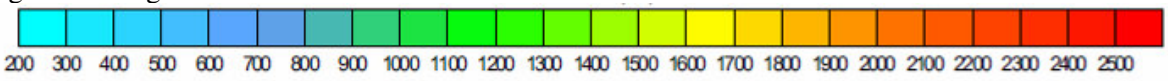
Legenda tomografia onde P

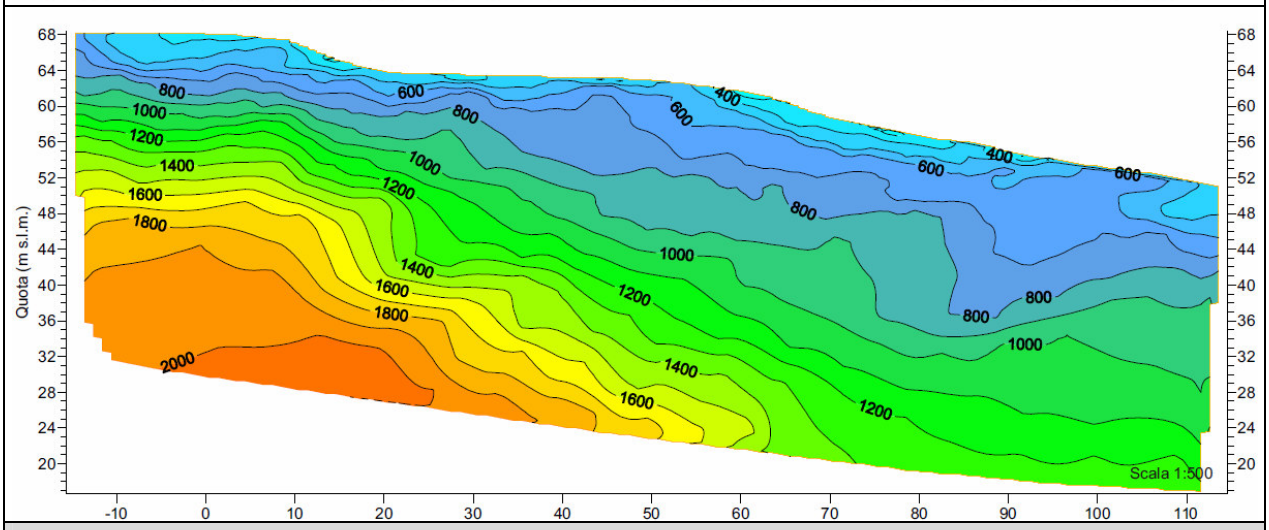




Sezione tomografica Ps9:

Legenda tomografia onde P





Sezione tomografica Ps10:

Legenda tomografia onde P

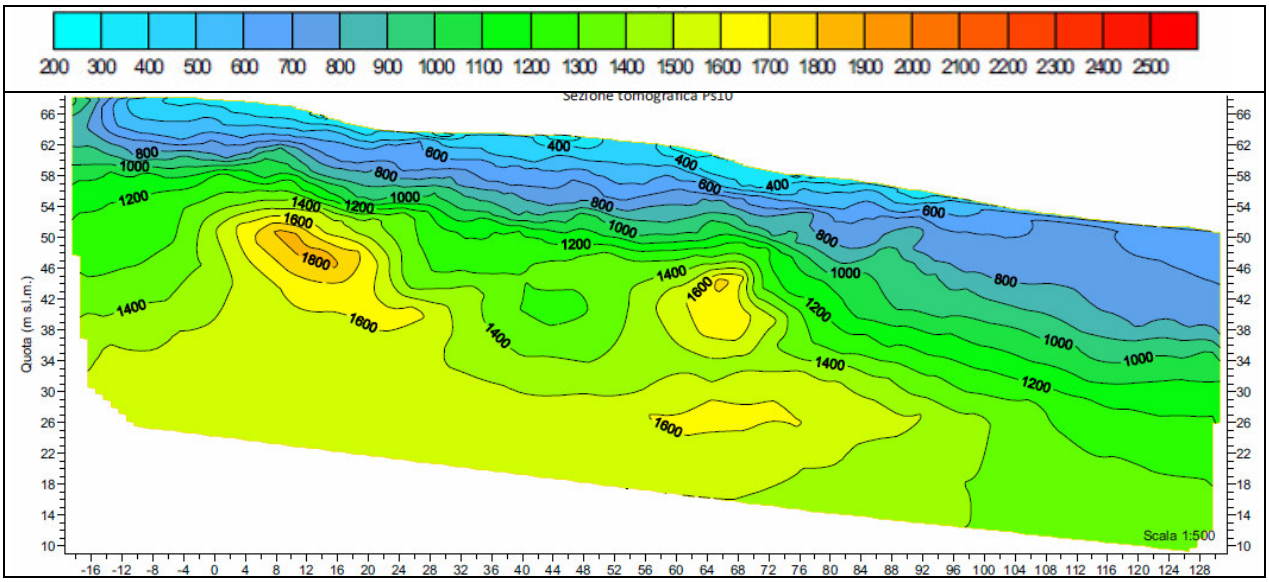


Figura 7.5 - Risultati grafici delle tomografie sismiche in onde P. Campagna febbraio 2015.

7.3.4 Sezioni geolettriche

Nel corso della campagna del febbraio 2015 sono state anche eseguite eseguite n . 6 sezioni di tomografia geoelettrica con 48 canali di cui 4 con spaziatura 3 m, 1 con spaziatura 2,5 m e 1 con spaziatura 4 m, il cui scopo era la caratterizzazione dielettrica dei terreni presenti.

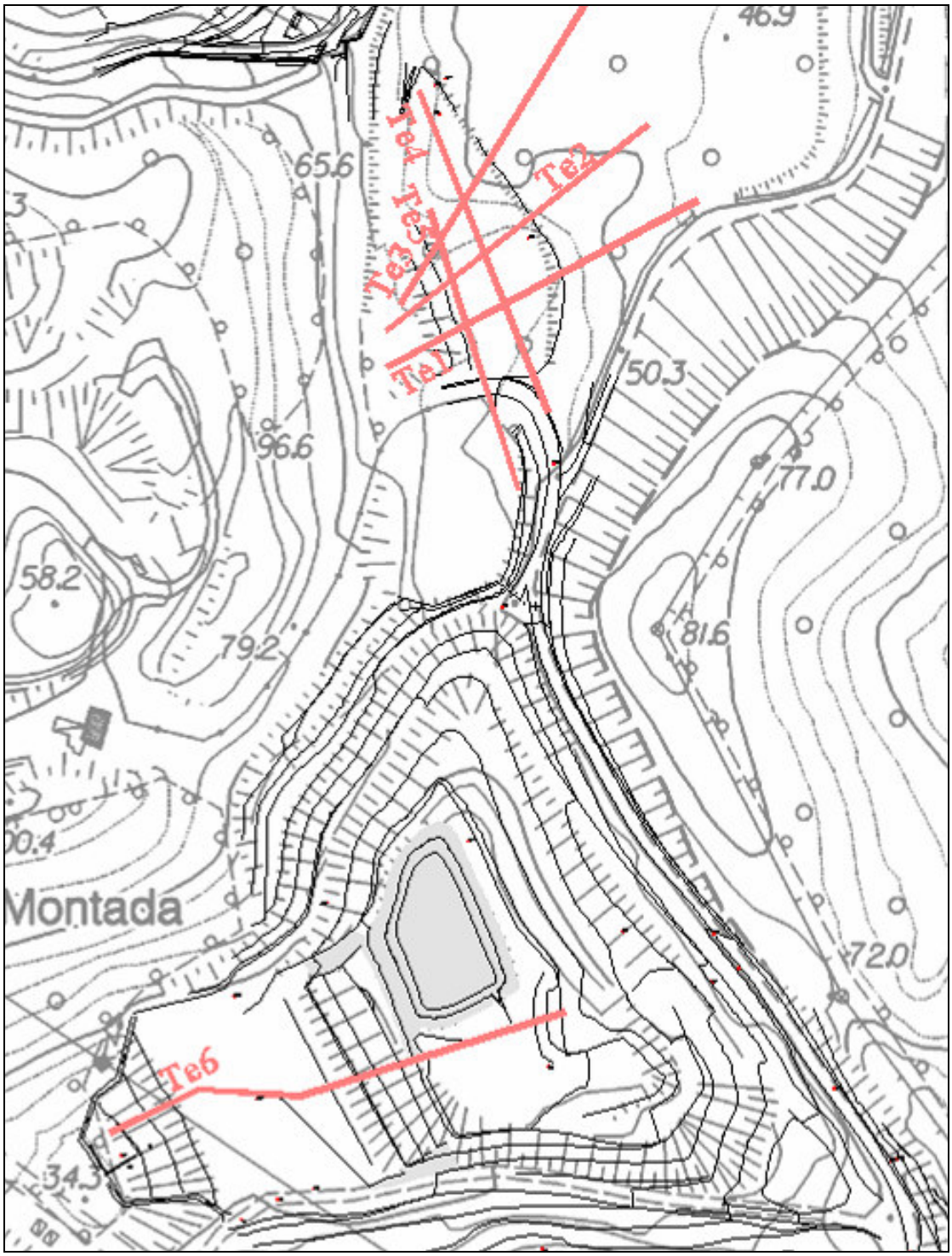


Figura 7.6 - Ubicazione delle sezioni elettriche: Campagna febbraio 2015.

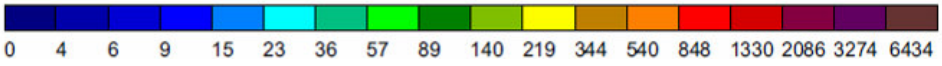
Il metodo geoelettrico permette di determinare le caratteristiche di resistività del sottosuolo. In particolare il metodo di resistività si basa sullo studio del campo elettrico generato nel terreno in seguito all'immissione di una corrente continua in modo da rendere trascurabili i fenomeni di induzione. Sotto queste condizioni la distribuzione di corrente è regolata dalla legge di Ohm. Le rocce possono essere considerate fondamentalmente isolanti.

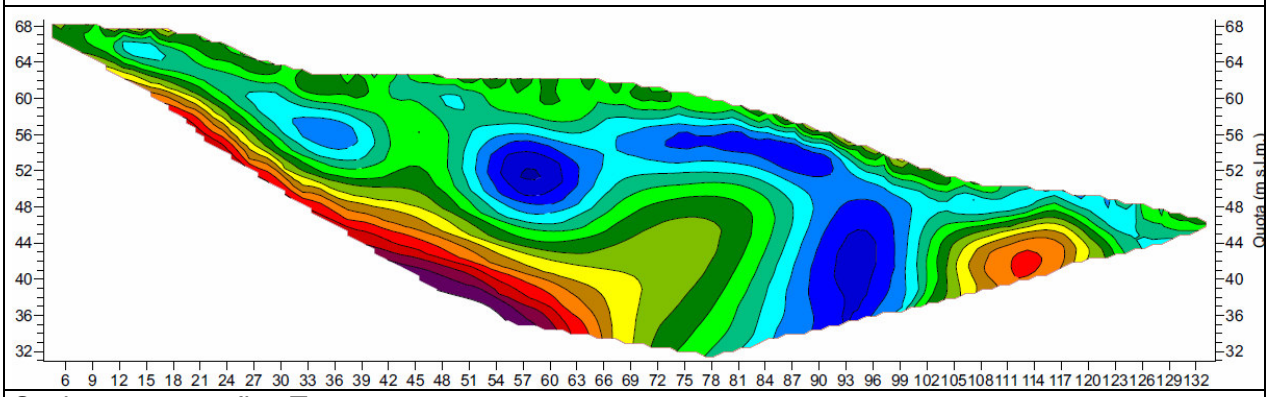
La loro resistività è funzione di alcune variabili tra cui il contenuto d'acqua, la tessitura, la porosità, la temperatura, e quindi dipendendo da diverse caratteristiche, i valori di resistività all'interno di uno stesso litotipo possono essere molto variabili, non permettendone una interpretazione univoca.

Il metodo cosiddetto "quadripolare", usato nella presente indagine, consiste nell'immettere una corrente elettrica all'interno del terreno mediante due elettrodi di corrente (detti A e B) e misurare la differenza di potenziale che si genera ai due elettrodi di misura (detti M e N). Operativamente sono stese le rotelle metriche sul terreno, infissi i picchetti alle progressive stabilite e collegati agli appositi attacchi sui cavi, e dopo aver effettuato il controllo di trasmissione fra tutti gli elettrodi sono state effettuate tutte le misure stabilite per le configurazioni di A-B ed M-N previste. Nella presente indagine è stata utilizzata la configurazione di acquisizione Wenner-Schlumberger, per massimizzare la profondità di indagine e non perdere definizione delle variazioni di resistività.

Sezione tomografica Te 1:

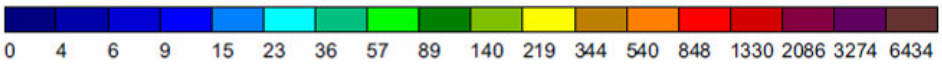
Legenda inversione tomografica espressa in Ω/m

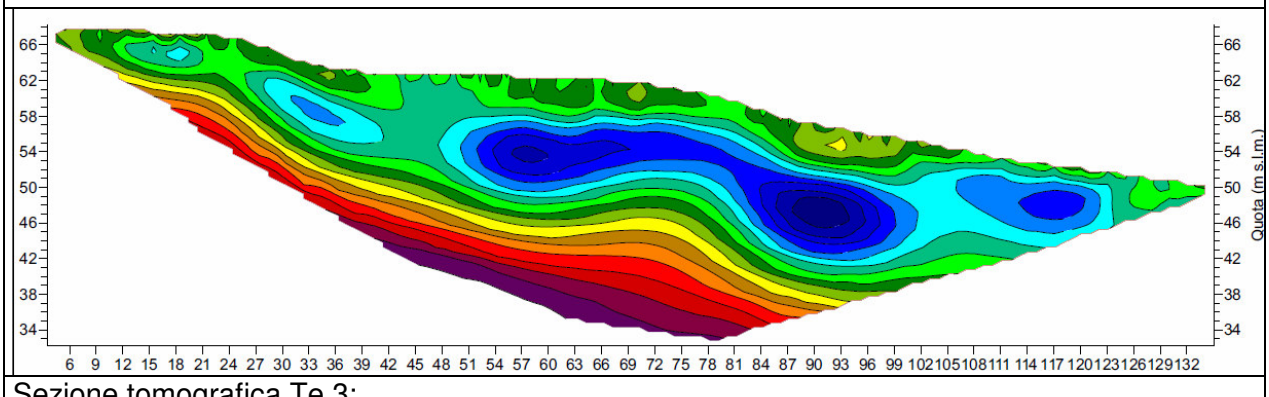




Sezione tomografica Te 2:

Legenda tomografia resistività apparente espressa in Ω/m





Sezione tomografica Te 3:

Legenda tomografia resistività apparente espressa in Ω/m

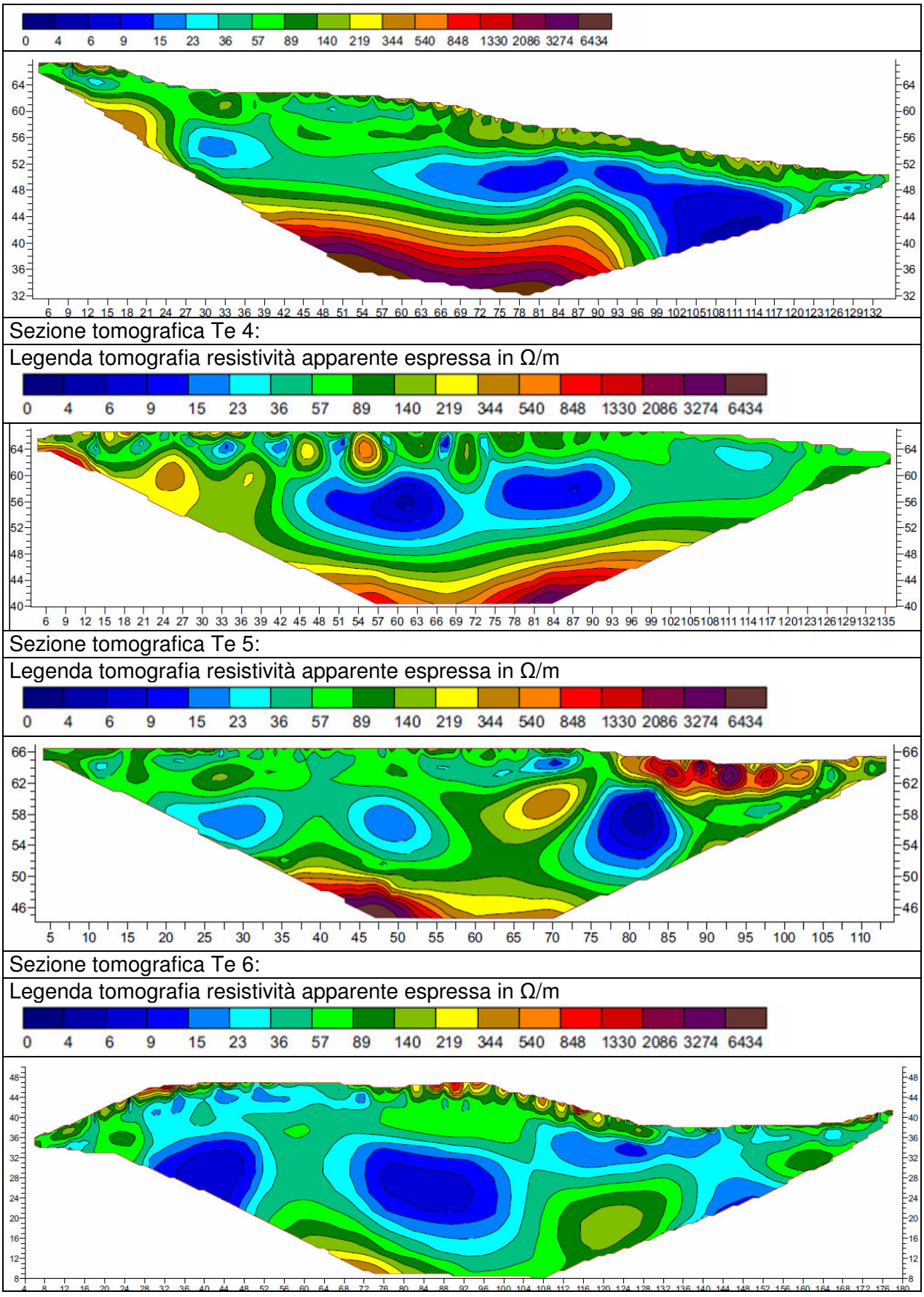


Figura 7.7 - Risultati grafici delle tomografie elettriche. Campagna febbraio 2015.

7.4 Campagna integrativa per il Progetto definitivo – Ottobre 2015

In fase di impostazione del Progetto Definitivo, la revisione critica degli elementi conoscitivi acquisiti con le campagne geognostiche precedenti ha evidenziato alcune incongruenze nella caratterizzazione delle litologie del substrato locale tra i dati geologico-tecnici di superficie, le descrizioni stratigrafiche e geotecniche dei sondaggi, i rilievi geofisici. Di difficile interpretazione risultavano, inoltre, le stesse determinazioni geotecniche di laboratorio condotte su campioni di terreno prelevati nell'ambito dell'unità delle "quarziti e filladi".

Per una analisi obiettiva dei dati disponibili e l'elaborazione di un quadro conoscitivo del sottosuolo adeguatamente rappresentativo si è proceduto all'esecuzione di una campagna integrativa con finalità geotecniche, comprendente un numero limitato di verticali da realizzarsi, tuttavia, con criteri di elevata qualità.

In relazione a composizione e caratteristiche della successione litologica da attraversare, alle obiettive difficoltà di ottenere carotaggi di elevata qualità ed effettivamente rappresentativi dello stato dell'ammasso roccioso in sito, il Gruppo di progettazione ha posto particolare attenzione nell'individuazione e selezione della Ditta specializzata a cui affidare l'indagine, anche con l'esecuzione di sopralluoghi e verifiche sul posto delle condizioni logistiche e dell' "ambiente geologico" da investigare.

Per l'esecuzione del'indagine è stata scelta la Ditta Terrageo Srl di Savona, dotata delle attrezzature e del personale tecnico e scientifico adeguati alla natura dell'indagine, e le cui capacità erano state constatate direttamente dai consulenti geotecnici in occasione di precedenti importanti campagne d'indagine.

Allo scopo di conseguire alte percentuali di recupero, carotaggi di elevata qualità e limitato gardo di disturbo nell'ammasso fratturato, particolare attenzione è stata posta nella scelta della metodologia e degli utensili di perforazione. I sondaggi sono stati eseguiti a rotazione, a carotaggio continuo, con adozione per l'intero sviluppo della perforazione del diametro di carotaggio 131 mm (rispetto a 101 mm adotatto nelle indagini precedenti) e rivestimento metallico provvisorio 152 mm (rispetto a 127 mm). Nel corso dell'intera perforazione, sino a fondo foro, si è proceduto all'inserimento del rivestimento al seguito di ogni manovra di carotaggio in modo da evitare fenomeni di "rilassamento" e/o franamento della roccia fratturata nel foro, problematica che si era manifestata in alcune delle precedenti indagini con gravi ripercussioni. Quale fluido di perforazione sono state impiegate miscele di polimeri completamente biodegradabili mescolati in acqua potabile. L'avanzamento in roccia è stato condotto con carotieri doppi del tipo T6S,

scomponibili longitudinalmente, dotati di scarpa tagliente con corona diamantata. Il carotiere T6S richiede una migliore tecnica di perforazione, associata ad una maggiore laboriosità nelle manovre, con evidenti ripercussioni in ordine di tempo e utensili di consumo. Le sue caratteristiche, in particolare la possibilità di esaminare il carotaggio prima di estrarlo dal carotiere con l'inevitabile disturbo che ne deriva, consente tuttavia di recuperare dei veri "testimoni" dell'ammasso roccioso nelle effettive condizioni in cui si trova nel sottosuolo (si cfr. la documentazione fotografica inserita nell'elab. *Fascicolo delle indagini geotecniche e geognostiche*).

Particolare attenzione è stata posta nella localizzazione delle verticali d'indagine allo scopo di raggiungere profondità significative (nell'ordine di 50 m) e, nel contempo, ottimizzare le risorse tecniche ed economiche disponibili. I sondaggi sono stati ubicati, rispettivamente, sul lato orientale dello sbancamento esistente (S6), dove le precedenti indagini avevano fornito dati contraddittori, e nel tratto centrale del bordo meridionale (S7pz), sprovvisto di verticali di profondità adeguata. Quest'ultima perforazione è stata utilizzata, inoltre, per l'esecuzione di prove di permeabilità con metodologia specifica per l'ammasso roccioso (prove Lugeon) e l'installazione di un piezometro di lunghezza adeguata per il monitoraggio della falda basale, in precedenza non disponibile per questo settore.

Data l'importanza dei risultati e la "delicatezza" delle attività per il conseguimento di risultati adeguati, tutte le attività, dalla localizzazione e composizione dell'indagine, alla selezione della Ditta specializzata, alla Direzione Lavori del cantiere geognostico sono state condotte in prima persona dai consulenti geotecnici.

Le indagini, oltre a confermare la presenza nel sottosuolo della successione relativa alle "quarziti e filladi", hanno consentito di verificare lo stato effettivo dell'ammasso roccioso intensamente fratturato e le sue proprietà idrauliche in un ampio intervallo di profondità. Sulla base degli elementi resi disponibili si è proceduto alla re-interpretazione delle indagini pregresse e ad un'impostazione razionale del Modello geologico-geotecnico di riferimento.

L'ubicazione delle indagini eseguite è indicata nella Fig. 6.8. Le attività condotte comprendono:

- perforazione dei sondaggi a carotaggio continuo denominati S6 (prof. 55,8 m dal p.c.) e S7pz (pro. 45,3 m dal p.c.);
- esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT) nell'ambito delle coperture e della porzione sommitale del substrato litoide;
- svolgimento di n. 3 prove di permeabilità in foro del tipo Lugeon nel sondaggio S7pz;

- installazione di un piezometro a tubo aperto (diam. 3") nel sondaggio S7pz con tratto fenestrato compreso tra le profondità di 6 ÷ 45 m dal p.c..

Per la documentazione descrittiva e fotografica completa delle indagini si rimanda all'elab. *Fascicolo delle indagini geotecniche e geognostiche*.

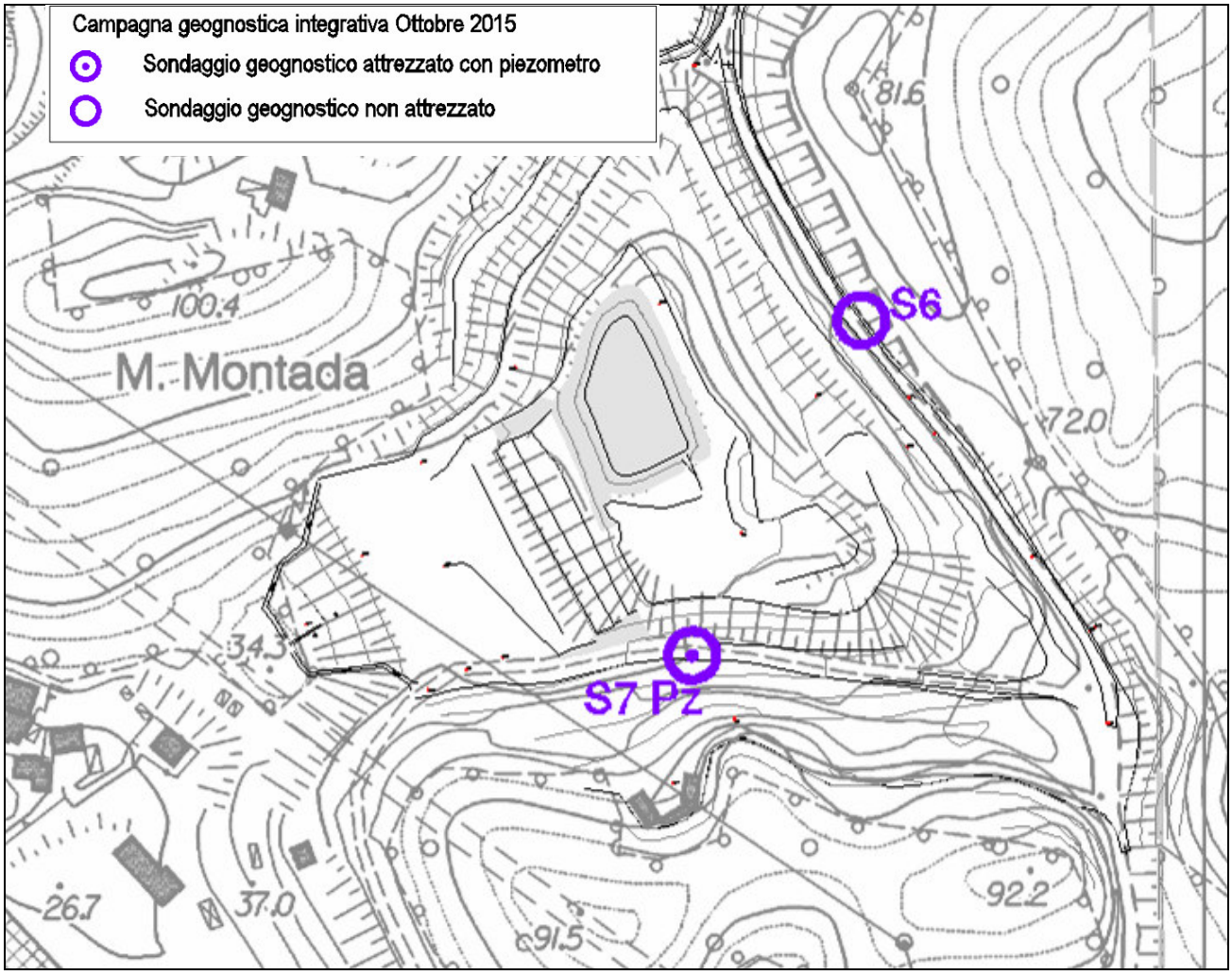


Figura 7.8 - Ubicazione indagini integrative per il Progetto Definitivo - Ottobre 2015.

7.5 Indagini integrative nell'ambito della Procedura di VIA – maggio 2016

A seguito dell'avvio della Procedura di VIA, il Dip. Territorio – Settore Valutazione Impatto Ambeintale, Organo tecnico della Regione Liguria competente per la materia, formulava una Richiesta di integrazioni ai sensi della L.R. n. 38/1998 art. 13, c. 2 (Prot. n. 2015/PG/DP69547, N. rif. V364). La Richiesta, volta alla definizione di un più adeguato e puntuale quadro conoscitivo del sito, coinvolge varie tematiche dall'assetto territoriale nel Piano di Bacino, alla caratterizzazione geotecnica della successione litologico-tecnica, alla classificazione merceoogica dei rifiuti presenti, alla documentazione paeaggistica, ecc.. Lo svolgimento e la trattazione della serie di quesiti formulati ha comportato l'acquisizione di nuovi elementi conoscitivi, anche per mezzo di nuove indagini in sito e in laboratorio di significativo impegno tecnico-economico, nonché lo sviluppo di approfondimenti negli studi e nelle elaborazioni progettuali. Per la trattazione degli aspetti relativi alle tematiche idrauliche, chimico-ambientali e paesaggistici si rimanda agli specifici Elab. prodotti.

Le osservazioni sugli aspetti geologico-tecnici e idrogeologici, sulla configurazione della discarica esistente e sul possibile rilascio di fluidi contaminanti, sono finalizzate nell'insieme alla migliore definizione di alcune discordanze o possibili elementi di criticità suggeriti dai dati sinora disponibili, e in parte già segnalati nel cap. precedente:

- difficile interpretazione e discrepanze tra i dati forniti dai rilievi geofisici e gli elementi riscontrati con i sondaggi;
- necessità di una definizione puntuale dell'assetto dell'abbnacamento esistente e della natura del substrato di appoggio;
- possibile presenza di percolato all'interno del corpo della discarica e nei terreni sottostanti come sembrerebbero evidenziare i rilievi geolettrici della campagna 2015;
- limitata rappresentatività dei dati piezmetrici relativi al possibile campo di oscillazione della falda basale ospitata nella successione costituente il substrato locale.

Per la verifica integrale di tali aspetti e l'acquisizione di un nuovo quadro conoscitivo adeguatamente rappresentativo è stata condotta un'articolata campagna d'indagine in sito e in laboratorio, di ampiezza rilevante nonostante la limitata tempistica disponibile, comprendente:

- ✓ nuovi rilievi geofisici di superficie con i metodi geolettrici e sismici in corrispondenza dell'abbancamento di rifiuti esistente per la definizione dei caratteri dielettrici dei materiali, la ricostrione della geometria dell'accumulo e i suoi rapporti con i terreni di appoggio,

l'individuazione delle eventuali sacche di percolato presenti all'interno e/o alla base del deposito. Nel complesso sono state eseguite:

- n. 2 sezioni geolettriche trasversali allo sviluppo dell'abbancamento (lungh. 140 m), con rilevamento del profilo di resistività e di polarizzazione indotta (IP);
- n. 1 sezione geolettrica longtudinale allo sviluppo dell'abbancamento (lungh. 90 m), con rilevamento del profilo di resistività e di polarizzazione indotta (IP);
- n. 1 sezione sismica longtudinale allo sviluppo dell'abbancamento (lungh. 90 m), con rilevamento di un profilo a rifrazione in onde di taglio S;
- n. 1 sezione sismica longtudinale allo sviluppo dell'abbancamento (lungh. 90 m), con rilevamento di un profilo MASW2D;

✓ campagna di perforazioni con finalità ambientali all'interno dell'abbancamento dei rifiuti, per la definizione puntuale dell'assetto dell'accumulo, la caratterizzazione geotecnica e ambientale dei materiali effettivamente depositati, la ricerca e l'eventuale campionamento di percolato. Nel complesso sono stati eseguiti n. 6 sondaggi a carotaggio continuo (S10 ÷ S15) spinti a profondità comprese tra 9 e 15 m dalla sommità della discarica attuale;

✓ la perforazione di un sondaggio profondo a carotaggio continuo (S9, lunghezza = 61,5 m), perforato con assetto inclinato a 45° rispetto al piano orizzontale in adiacenza al margine laterale della discarica esistente, per verificare:

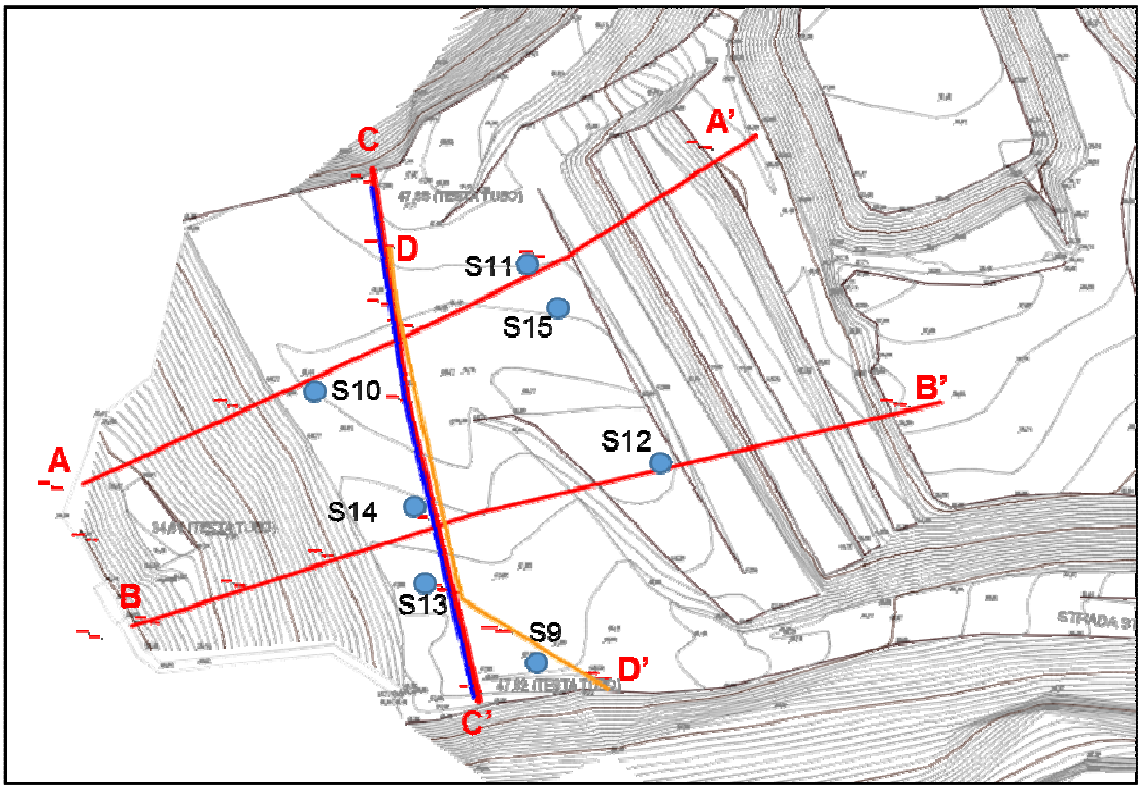
- la natura dei terreni/rocce costituenti il piano di imposta della discarica nel settore inferiore dell'invaso;
- le caratteristiche geomeccaniche della successione rocciosa;
- consentire la taratura diretta dei rilievi geofisici geolettrici e sismici svolti sull'abbancancamento sovrastante;
- rilevare la presenza di eventuale percolato al di sotto del fondo della discarica;
- prelevare una sequenza di campioni nella roccia in posta per determinazioni chimiche di tipo ambientale.

✓ prosecuzione del monitoraggio idrogeologico avviato nella primavera dello scorso anno. I rilievi piezometrici svolti coprono l'intervallo Maggio 2015 – Giugno 2016, comprendente un periodo di rilevanti precipitazioni (1° quadrimestre 2015 con Ptot pari al 50 % del valore medio annuo 1921-2015), e consentono una ricostruzione rappresentativa dell'assetto e della variabilità annuale della superficie piezometrica della falda basale.

Le problematiche esecutive e interpretative dei rilievi geofisici e delle indagin geotecniche e ambientali, derivanti dalla configurazione del sito e dalla natura del sottosuolo, hanno indotto il Gruppo di Progettazione d'accordo con il Committente, all'individuazione di Ditte specializzate di primaria rilevanza in ambito nazionale ed internazionale per un'adeguata conduzion in termini di qualità e tempistiche di svolgimento.

- le perforazioni nell'ambito dell'abbancamento dei rifiuti e il sondaggio inclinato in roccia sono state eseguite dalla Ditta RCT srl, attualmente appartenente al Gruppo TREVI (Cesena);
- i rilievi geofisici sono stati svolti dalla Ditta TechGea srl di Torino;
- i campionamenti e le determinazioni chimico-ambientali in laboratorio sono state condotte dal Laboratorio Analysis srl di La Spezia.

La distribuzione delle indagini integrative, realizzate in corrispondenza dell'abbnacamento di rifiuti esistente, è indicata nella Fig. 7.9. Il quadro complessivo dei dati di sottosuolo disponibili, comprensivo delle precedenti indagini e delle nuove attività condotte in sito è riportato nella *Planimetria ubicazione indagini* (elab. D.02.01 rev 02).



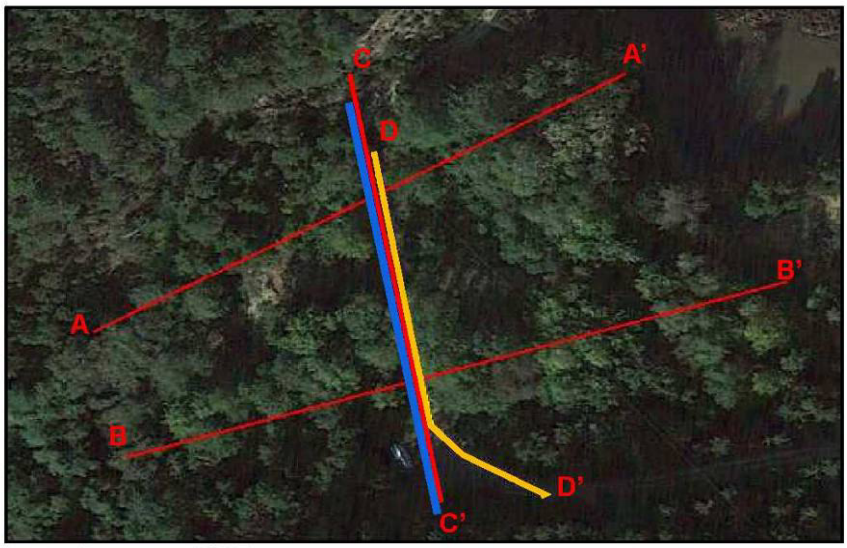


Immagine aerea 2015

A A' Traccia stendimento geoelettrico (ERT)

C C' Traccia sezione sismica in onde S (SIS)

D D' Traccia sezione sismica MASW2D

N

0 25 50 75 m

Figura 7.9 – Ubicazione dei sondaggi geotecnico-ambientali e dei rilievi geofisici eseguiti in corrispondenza dell'abbancamento di rifiuti esistente.

8. IDROGEOLOGIA

8.1 Ricostruzione del quadro idrogeologico

La ricostruzione dell'assetto della circolazione idrica sotterranea, con la definizione del comportamento delle sequenze litologiche presenti nell'areale di interesse per l'impianto, l'individuazione dei corpi potenzialmente sede di circolazione, le modalità dei flussi sotterranei, la tipologia di alimentazione e i recapiti finali, richiede l'elaborazione di un modello concettuale adeguatamente rappresentativo, ovvero del Modello Idrogeologico di Riferimento (MIR).

Si definisce Modello Idrogeologico di Riferimento di un determinato sistema, o parte di sistema, di cui sia necessaria e sufficiente la necessaria identificazione geometrica, la descrizione della tipologia e della distribuzione dei complessi idrolitologici presenti, dei parametri idrogeologici fondamentali, e delle condizioni di flusso e delle caratteristiche idrogeochimiche delle acque sotterranee. La definizione del modello idrogeologico risulta improntata fondamentalmente dalla geometria della sequenza litologico-stratigrafica e dalla sua costituzione idrogeologica.

La schematizzazione dell'assetto litologico-stratigrafico, come definita nei *Capp. Inquadramento geologico* e *Geologia dell'area di progetto*, assume in questo contesto anche una significativa valenza idrogeologica. Le unità litostratigrafiche individuate costituiscono, infatti, la chiave interpretativa per l'"identificazione idrolitologica dei terreni e delle rocce di interesse, ovvero per la definizione di unità morfologico-strutturali che consentano il confronto tra unità diverse e la zonazione di caratteristiche idrogeologiche di interesse applicativo all'interno di ciascuna unità" (Civita, 2005).

La permeabilità è la proprietà che hanno terreni e rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua quando questa è sottoposta ad un carico idraulico. La permeabilità, quindi, esprime l'attitudine che ha la roccia a far defluire l'acqua sotterranea (Celico, 1986).

La circolazione sotterranea avviene all'interno dell'acquifero, ovvero di terreni o rocce in grado ospitare al loro interno acqua che si sposta sotto l'azione della gravità. L'acquifero corrisponde alla parte di un corpo roccioso sede effettiva della circolazione idrica sotterranea. Il termine è sinonimo, quindi, di terreno dotato di permeabilità, che si trovi in posizione topografica e giaciturale tale da ricevere alimentazione idrica diretta e/o indiretta e che, di fatto, la riceva (Civita, 2005).

Con riferimento alle definizioni precedenti, va sottolineato che l'individuazione di una roccia (o terreno) dotata di permeabilità anche elevata non costituisce, da sola, condizione sufficiente per assumere la presenza di una falda. L'impostazione di una circolazione sotterranea anche se discontinua nel tempo richiede, infatti, insieme alla roccia serbatoio (l'acquifero), l'esistenza di un bacino di alimentazione superficiale e/o sotterraneo, una configurazione geometrica e giaciturale favorevole al convogliamento dei flussi idrici, la disponibilità di volumi idrici significativi.

L'unità base per l'identificazione dei sistemi acquiferi è costituita dal complesso idrogeologico, un insieme di litotipi simili, aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo comune di permeabilità ed un grado di permeabilità relativa che si mantiene entro un campo di variazione piuttosto ristretto (Celico, 1986; Civita, 2005). Un insieme di complessi idrogeologici diversi collegati da una comune genesi (sedimentologica, paleogeografia, strutturale) e da una comune collocazione temporale rappresenta una serie idrogeologica.

I fattori principali che individuano un complesso idrogeologico comprendono:

- tipo di permeabilità relativa;
- grado di permeabilità relativa;
- indice di infiltrazione potenziale;
- geometria, giacitura e localizzazione morfo-strutturale.

In base al grado di permeabilità relativa un complesso idrogeologico si classifica (Civita, 2005) in:

- altamente permeabile, AP ($k \geq 10^{-2}$ m/s);
- mediamente permeabile, MP ($10^{-2} > k \geq 10^{-6}$ m/s);
- scarsamente permeabile, SP ($10^{-6} > k \geq 10^{-9}$ m/s);
- praticamente impermeabile, IM ($k < 10^{-9}$ m/s).

Una struttura idrogeologica o idrostruttura è un'unità geologica, con geometria composta da due o più complessi idrogeologici disposti in modo tale da favorire la formazione di uno o più acquiferi. La mutua interrelazione di più complessi idrogeologici può determinare le condizioni necessarie e sufficienti perché si determini l'infiltrazione di acque meteoriche e/o superficiali nel sottosuolo e la formazione di un corpo idrico sotterraneo dotato di una sua dinamica (Civita, 2005).

8.2 Assetto idrogeologico dell'area di progetto

Lo stato delle conoscenze reso disponibile con gli studi e le indagini condotte appositamente per il progetto in esame, integrati con i dati resi disponibili da interventi in zone limitrofe poste in analoghi contesti litologico-stratigrafici e, a più ampia scala areale, con gli studi svolti dall'ARPAL nell'ambito della caratterizzazione ambientale del sito di Pitelli, consente una definizione adeguata dell'assetto idrogeologico relativo, sia all'areale dell'impianto, sia ad un ambito territoriale circostante significativamente esteso.

Il quadro conoscitivo acquisito deriva:

- dall'acquisizione diretta dell'insieme dei dati di interesse per la definizione delle modalità della circolazione idrica sotterranea e dei rapporti con i corpi idrici superficiali;
- dalla re-interpretazione in chiave idrogeologica dell'insieme dei dati forniti dai rilievi geologico-strutturali e geomorfologici;
- dalle indagini geognostiche, dalle prove in sito e dal monitoraggio della strumentazione piezometrica, condotte per l'impianto in progetto e degli Studi geologici a supporto di precedenti interventi.

La configurazione morfo-litologico-stratigrafica individuata per l'area di progetto impronta direttamente l'assetto idrogeologico del settore. L'impianto si localizza alla sommità di una dorsale collinare secondaria impostata in una successione litoide relativa al substrato locale, diffusamente affiorante o sub-affiorante, isolata e delimitata lateralmente da settori di pianura ospitanti depositi alluvionali sovrapposti a sedimenti marini e di transizione. Con riferimento alla geologia dell'area di progetto, l'assetto idrogeologico è improntato da due unità a comportamento ben differenziabile, relative, rispettivamente, al substrato locale e alle coperture, il complesso metamorfico e il complesso dei depositi quaternari recenti.

Ai fini della definizione delle modalità della circolazione idrica sotterranea, il ruolo dei terreni incoerenti relativi alle coperture detritiche presenti localmente sul rilievo collinare può essere ritenuto trascurabile in relazione alla limitatezza degli affioramenti, peraltro in gran parte asportati dai precedenti interventi, ai ridotti spessori, nonché all'assenza di circuiti idrici riscontrata anche a seguito di eventi significativi di precipitazione.

Alla scala del rilievo non viene preso in considerazione il contributo dei depositi antropici. I materiali delle discariche oltre a costituire accumuli discontinui, risultano isolati dai terreni di appoggio e per la maggior inglobati nei sistemi di copertura o in corso di rivestimento. Il loro ruolo nell'alimentare l'infiltrazione profonda, pertanto, può essere ritenuto trascurabile.

Substrato locale

Il complesso metamorfico è relativo alla successione delle "quarziti e filladi" (Gruppo del Verrucano – Unità tettonica di Massa), composta da quarziti a grana da medio-grossolana a fine, in strati di spessore centimetrico-decimetrico, con sottili interstrati (1 ÷ 30 cm) metasiltitici/filladici. La componente fine costituisce localmente corpi a componente essenzialmente pelitica con spessori sino a diversi metri, come riconosciuto nei rilievi del Foglio geologico (Abbate *et alii*, 2005) nell'intorno della zona militare Bersaglio adiacente al margine NE dell'area in esame, e tramite i nuovi sondaggi di elevata qualità (campagne Ottobre 2015 – Maggio 2016) in corrispondenza del previsto sito di deposito.

Lo spessore dell'unità delle "quarziti e filladi" è valutabile in almeno 60 m (Federici e Raggi, 1975; Abbate *et alii*, 2005), mentre lo spessore dell'intera Unità Tettonica di Massa comprendendo anche i litotipi sottostanti relativi al Gruppo del Verrucano (anageniti; filladi violette) e al Ciclo sedimentario medio-triassico (filladi e calcescisti; metavulcaniti; metabrecce poligeniche, metavulcaniti, filladi e calcescisti; marmi di Punta Bianca; metaconglomerati, metarenarie e metasiltiti) è valutabile in circa 250 m (Serv. Geol. It., 2005; Abbate *et alii*, 2005).

La composizione litologica impronta le caratteristiche di permeabilità dell'ammasso. Nella porzione a comportamento lapideo, la fitta stratificazione e la presenza di vari sistemi di fratturazione comporta una diffusa frammentazione dell'ammasso in elementi lapidei in genere di dimensione da centimetrica a decimetrica. La permeabilità risultante è di tipo secondario per fratturazione, con valori relativi medi o medio-bassi in relazione alla presenza di materiale fine all'interno delle discontinuità. Le porzioni pelitiche, in particolare nei corpi di maggiore spessore si presentano profondamente alterate anche per l'interazione con fluidi idrotermali, assumendo l'aspetto di terreni a granulometria medio-fine (sabbie medio-fini limose, localmente debolmente argillose), ben addensati. La loro permeabilità, sempre di tipo sovraimposta, è principalmente per porosità, con valori relativi bassi.

Il grado di permeabilità relativa per l'ammasso roccioso nel suo complesso è valutabile come scarsamente permeabile, con classe di valori del coefficiente di conducibilità idraulica k compresi tra $10^{-6} \div 10^{-9}$ m/s. Prove in foro del tipo Lefranc eseguite nel corso dei sondaggi S3 e S4 (2015) hanno rilevato, nell'intervallo di profondità 4,5 ÷ 14,5 m dal p.c., valori di k = $1{,}26 \times 10^{-6} \div 1{,}54 \times 10^{-7}$ m/s. Valori poco superiori, k = $3{,}19 \times 10^{-5}$ m/s, sono stati riscontrati soltanto da una prova Lefranc svolta nel sondaggio S3 (prof. 12,5 ÷ 14,4 m dal p.c.).

Le prove in foro del tipo Lugeon condotte nel corso del sondaggio S7pz (Ottobre 2015), tra le profondità di 14,6 ÷ 45,80 m dal p.c., hanno fornito valori di permeabilità compresi nel campo

1,79 ÷ 11,9 UL (unità Lugeon), corrispondenti a k = 1,19 x 10^{-6} ÷ 1,79 x 10^{-7} m/s. Risultati confrontabili, ma con un maggiore campo di variabilità verso il limite inferiore, erano stati ottenuti nel vicino sito di Val Bosca, prove dello stesso tipo condotte nell'intervallo di profondità 4,5 ÷ 33,5 m dal p.c. hanno riscontrato valori di permeabilità pari a 2,80 x 10^{-6} ÷ 1,68 x 10^{-8} m/s (C.I.R., 1996a, 1996b).

Coperture quaternarie

Il complesso dei depositi quaternari recenti comprende i sedimenti costituenti la porzione superficiale della piana percorsa dalla Fossa Mastra e il colmamento della porzione basale delle vallecole modellate ai margini della collina (Fig. 6.11), passante verso il basso a depositi di transizione e marini costieri. Tale successione pur non interessando gli interventi in progetto, come verificato puntualmente anche per mezzo delle indagini di sottosuolo (si *cfr*. Cap. 7. *Indagini geognostiche*), assume rilevanza per la ricostruzione della circolazione idrica sotterranea. La sequenza, sulla base dei dati stratigrafici disponibili per l'area Stagnoni - Vallegrande (ACAM, 2012) essere così schematizzata:

- una sequenza clastica superiore, con prevalenza di granulometrie fini (argille, limi, limi sabbiosi), localmente con presenza di torbe e materiale organico marino non decomposto;
- una sequenza clastica inferiore, meno potente e costituita da materiali più grossolani (sabbie e ghiaie), che poggia direttamente sul substrato roccioso quarzitico.

Avvicinandosi alla linea di costa aumenta lo spessore della sequenza superiore e compaiono, al suo interno, livelli torbosi e livelli di origine marina. Questi ultimi non sono riconoscibili nel settore più orientale della piana del Fossa Mastra. Nel settore della pianura compreso tra l'area di Vallegrande e la località Stagnoni il substrato quarzitico è stato rinvenuto a profondità variabili tra i 14 m (ad Est) e superiori a 42 m dal p.c. (verso Ovest).

Il complesso dei depositi quaternari recenti è caratterizzato da una permeabilità primaria per porosità con valori compresi in un ampio campo di variabilità, da medi a bassi, in funzione dell'assortimento granulometrico e dell'incidenza della frazione più fine. A livello generale la differente granulometria impronta la permeabilità delle due sequenze, che risulta più elevata in quella inferiore e più bassa in quella superiore (ACAM, 2012). Nel sito di Val Bosca, prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc eseguite nei sondaggi al margine del rilievo, tra le prof. di 6,15 ÷ 20,0 m dal p.c., hanno riscontrato valori del coefficiente di conducibilità idraulica k = 3,40 x 10^{-8} ÷ 8,03 x 10^{-9} m/s (C.I.R., 1996a, 196b).

Coltri detritiche

Le coltri detritiche localmente presenti al di sopra del substrato litoide comprendono terreni incoerenti a granulometria eterometrica, con un scheletro ghiaioso immerso in abbondante matrice sabbioso-limosa, localmente debolmente argillosa. La permeabilità è di tipo primario per porosità, con valori generalmente bassi. Nell'area di progetto i limitati spessori, se non l'assenza, di questi terreni hanno limitato lo svolgimento di prove di caratterizzazione idraulica. Nel vicino sito di Val Bosca, in analogo contesto, le prove in foro del tipo Lefranc condotte tra le prof. di 6,1 ÷ 10,0 m dal p.c. hanno riscontrato valori di permeabilità pari a $1{,}16 \times 10^{-7} \div 1{,}45 \times 10^{-9}$ m/s (C.I.R., 1996a, 1996b).

8.3 Circolazione idrica sotterranea

8.3.1 Complesso dei depositi quaternari recenti

Assetto e modalità della circolazione idrica sotterranea nell'ambito dell'areale significativo per l'intervento, e scala più vasta per l'intero settore collinare compreso tra il tracciato dell'Autostrada e la costa sono direttamente improntati dalla distribuzione areale dei complessi idrogeologici individuati, dai loro spessori e dai rapporti giaciturali. Per una ricostruzione rappresentativa dell'ambiente idrico sotterraneo i dati puntuali acquisiti con le campagne d'indagine sono stati integrati e inquadrati con i risultati degli studi e dei monitoraggi svolti con diverse finalità nell'area vasta (ARPAL, 2005; ACAM, 2012).

Il ruolo rivestito dal complesso delle coperture recenti, costituenti acquiferi locali quasi totalmente saturi, è ben differenziabile da quello del complesso metamorfico relativo al substrato, ospitante la falda basale arealmente estesa, ma caratterizzata nell'area in esame da soggiacenze elevate.

In corrispondenza delle aree di pianura, gli spessori significativi assunti dai depositi quaternari consentono la presenza di acquiferi alluvionali dalle potenzialità idriche modeste. La superficie piezometrica si dispone in prossimità del piano campagna, o comunque a limitata soggiacenza. L'alimentazione è data principalmente dalle precipitazioni dirette e/o a interscambi con il reticolo idrico locale, in parte di tipo artificiale. Queste modalità di ricarica possono determinare oscillazione nella piezometria anche di alcuni metri a seguito di eventi meteo-idrologici di particolare severità, come verificato in particolare nel fondovalle del Rio Pagliari.

L'acquifero di questo tipo più significativo si sviluppa nella piana percorsa dal canale Fossa Mastra, dove i monitoraggi svolti nell'intorno della Centrale ENEL hanno riscontrato anche la presenza di diverse piccole falde semi-indipendenti, tutte con limitata potenzialità, ospitate dalla

successione quaternaria che raggiunge nella zona occidentale alcune decine di metri di spessore (ARPAL 2005; ARPAL, 2007). Un altro acquifero alluvionale di dimensioni più limitate, sia in termini areali che di potenza, è presente in corrispondenza del Rio Pagliari. Nel tratto superiore di questa vallecola, in corrispondenza del margine meridionale dell'impianto in progetto, la soggiacenza media della falda superficiale tra 4,5 ÷ 6,5 m di profondità (corrispondenti a quote di 15,5 ÷ 17,5 m slm. Innalzamenti significativi, con livello a soli 2,5 ÷ 3,5 m dal p.c., pari ad una quota di 18,5 ÷ 19,5 m slm, sono stati rilevati a seguito di elevati apporti meteorici. Il campo di oscillazione della falda superficiale è documentato dal piezometro S 16, installato da ARPAL nel 2004 nell'ambito del Piano di Caratterizzazione del SIN di Pitelli (ARPAL, 2005), poco a valle dell'accesso di servizio alla Galleria del raccordo Autostradale. Il piezometro, impostato con il tratto fenestrato nell'acquifero alluvionale, è caratterizzato da una rilevante variabilità dei livelli della falda a seguito della rapida ricarica derivante da eventi meteo-idrologici significativi. Tale comportamento, già individuato con i monitoraggi condotti da ARPAL nel periodo 2004-12 (Tab. 8.1; ARPAL, 2005; 2008; 2012), è stato verificato anche nel corso dei rilievi svolti per l'impostazione del Progetto (Tab. 8.2, *par*. seguente). La variazione del livello della falda è rilevabile con breve ritardo dal verificarsi degli apporti pluviometrici (alcune ore ÷ 1-2 giorni), l'innalzamento pressoché "istantaneo" può raggiungere alcuni metri. Terminata la fase di afflusso sotterraneo, il ripristino dei livelli ordinari si realizza in tempi altrettanto rapidi (2 ÷ 3 giorni). Un esempio rappresentativo di questo regime di deflusso sotterraneo è rappresentato dalla serie di misure condotte a intervalli di pochi giorni nell'ottobre-novembre 2015 in concomitanza di un evento idrologico significativo (Tab. 8.2). Il verificarsi di prolungati periodi con scarsità o assenza di precipitazioni, al contrario, comporta il progressivo abbassamento della superficie di falda, che può portarsi a livelli inferiori al tratto monitorato. In questi casi il piezometro risulta del tutto asciutto, come verificato con le misure del 19/07/2007, 04/08/2008, 12/10/2011 (Tab. 8.1).

In definitiva, la circolazione idrica sotterranea monitorata con il piezometro S16, impostato nell'acquifero ospitato nel complesso dei depositi quaternari, per posizione altimetrica del livello piezometrico, variabilità e modalità di alimentazione, non appare direttamente correlabile con la falda basale ospitata nel complesso metamorfico e defluente con caratteristiche significativamente diverse e a quote inferiori verso il mare.

Nel complesso le falde superficiali presenti negli acquiferi delle coperture, per configurazione piezometrica, limitata estensione, ridotte potenzialità idrauliche, non costituiscono

elementi inteferenti con l'impianto in progetto, data anche la sua posizione plano-altimetrica, estesa sul versante collinare nella fascia altimetrica compresa tra 30 e 65 m slm.

Data	**Soggiacenza** (in m dal p.c.)	**Livello della falda** (m slm)
20/07/2004	Completamento piezometro	
22/07/2004	6,50	15,86
12/10/2004	5,30	17,06
21/12/2004	5,52	16,84
08/02/2005	5,88	16,48
21/03/2005	5,85	16,51
17/05/2005	5,82	16,54
18/07/2005	6,39	15,97
09/08/2005	7,97	14,39
13/09/2005	5,65	16,71
19/09/2005	5,73	16,63
05/10/2005	5,53	16,83
01/02/2007	5,42	16,94
08/05/2007	5,43	16,93
19/07/2007	asciutto	-
20/11/2007	6,12	16,24
10/01/2008	4,56	17,8
27/05/2008	6,12	16,24
04/08/2008	asciutto	-
13/11/2008	3,59	18,77
20/01/2009	4,64	17,72
03/08/2009	9,84	12,52
16/11/2009	5,43	16,93
08/02/2010	4,78	17,58
19/05/2010	4,91	17,45
10/08/2010	5,76	16,6
22/11/2010	2,74	19,62
10/02/2011	5,85	16,51
24/05/2011	7,20	15,16
22/08/2011	11,20	11,16
12/10/2011	asciutto	-
22/02/2012	4,76	17,6

Tabella 8.1 – Piezometro S 16 appartenente alla rete di monitoraggio ARPAL del Sito di Pitelli – aree pubbliche. Scheda di sintesi dei rilievi piezometrici. (dati ARPAL, 2012, tratti da D.R.I., 2014). Quota installazione Riferita a testa tubo) = 22,36 m slm; profondità = 12 m; tratto fenestrato tra 6 ÷ 12 m dal p.c.. Le misure condotte nell'ambito del presente progetto nel corso del 2015 sono riportate nella Tab. 8.2.

8.3.2 Complesso metamorfico

Il complesso metamorfico costituisce un acquifero in roccia ospitante la falda basale nel settore ad est di La Spezia. La circolazione idrica nell'ambito della porzione costituente il rilievo collinare o presente al disotto delle coperture alluvionali è assicurata dall'avanzato e pervasivo stato di tettonizzazione determinato dalla sovraimposizione di più eventi deformativi. L'intercalazione agli "strati litoidi" non alterati di livelli di filladi e metasiltiti piegati e profondamente alterati, rilevabili in molti affioramenti e nei carotaggi di elevata qualità ottenuti con le indagini integrative dell'Ottobre 2015, fanno ritenere che i litosomi pelitici con maggiore continuità possano avere un comportamento impermeabile o semi-permeabile.

Il monitoraggio piezometrico a vasta scala condotto dall'ARPAL (2005, 2008, 2012) nell'intero settore il ruolo di questi *acquitard* nel condizionare la circolazione complessiva e le caratteristiche chimiche delle acque. Nel modello idrogeologico, infatti, a scala regionale si può fare riferimento a un comportamento isotropo, ma localmente si possono instaurare condizioni peculiari ed indipendenti. La presenza di "livelli" a diversa permeabilità che influenzano la ricarica attraverso la percolazione verticale delle acque determina, infatti, sia l'esistenza di porzioni di acquifero contraddistinte da circuiti in pressione, sia le diverse risposte della falda al contributo dell'infiltrazione meteorica.

La configurazione complessiva del panneggio piezometrico relativo alla circolazione basale nelle quarziti, ricostruita con il monitoraggio svolto su vasta area per la caratterizzazione del sito di interesse nazionale di Pitelli (ARPAL, 2005; 2008; 2012), ha permesso di riconoscere una disposizione delle isopieze subparallela tra loro, orientata NO – SE, e ricalcante nell'insieme lo sviluppo della dorsale collinare. La superficie della falda degrada dall'entroterra verso la costa individuando una direzione complessiva di deflusso sotterraneo disposta da NE verso SO (ARPAL, 2005), il livello piezometrico medio si colloca nell'intervallo di quote compreso tra 10 ÷ 14 m slm. A scala d'insieme, la variabilità stagionale del ciclo idrologico comporta soltanto lievi oscillazioni rispetto a tale assetto medio come verificato con i rilievi svolti nel periodo 2004-12 (ARPAL, 2005; 2008; 2012).

8.3.2.1 Circolazione idrotermale

L'analisi idrogeologica di area vasta evidenzia come alla circolazione idrica sotterranea alimentata dalle precipitazioni e dai corpi idrici superficiali si associno lungo la fascia costiera apporti a carattere termale, provenienti da circuiti profondi risalenti attraverso la successione metamorfica in corrispondenza dei principali sistemi di fratturazione. Gli studi recenti consentono di delineare i fenomeni di risalita e miscelamento delle acque termali, insieme alla comprensione

del ruolo svolto nel condizionare l'impronta idrochimica delle falde (Brozzo, 1998; ARPAL, 2005; ARPAL, 2007; ACAM, 2012).

Le indagini svolte per l'intervento non hanno individuato la presenza di fluidi idrotermali nell'ambito delle profondità di interesse progettuale, tuttavia l'esame della circolazione idrica di provenienza profonda risulta fondamentale sia per comprendere alcune peculiari configurazioni piezometriche, sia per spiegare la presenza di elevati tenori in sostanze potenzialmente riconducibili a fenomeni di contaminazione riscontrati nelle acque sotterranee e nelle rocce del substrato locale.

Acque con caratteristiche termali, riconducibili a circuiti in pressione con alimentazione profonda, emergono naturalmente in superficie al margine dei rilievi di S. Bartolomeo impostati nella successione delle quarziti, alimentando alcune sorgenti distribuite lungo il litorale nel tratto tra la foce del canale Fossa Mastra e Muggiano (Fig. 8.1).

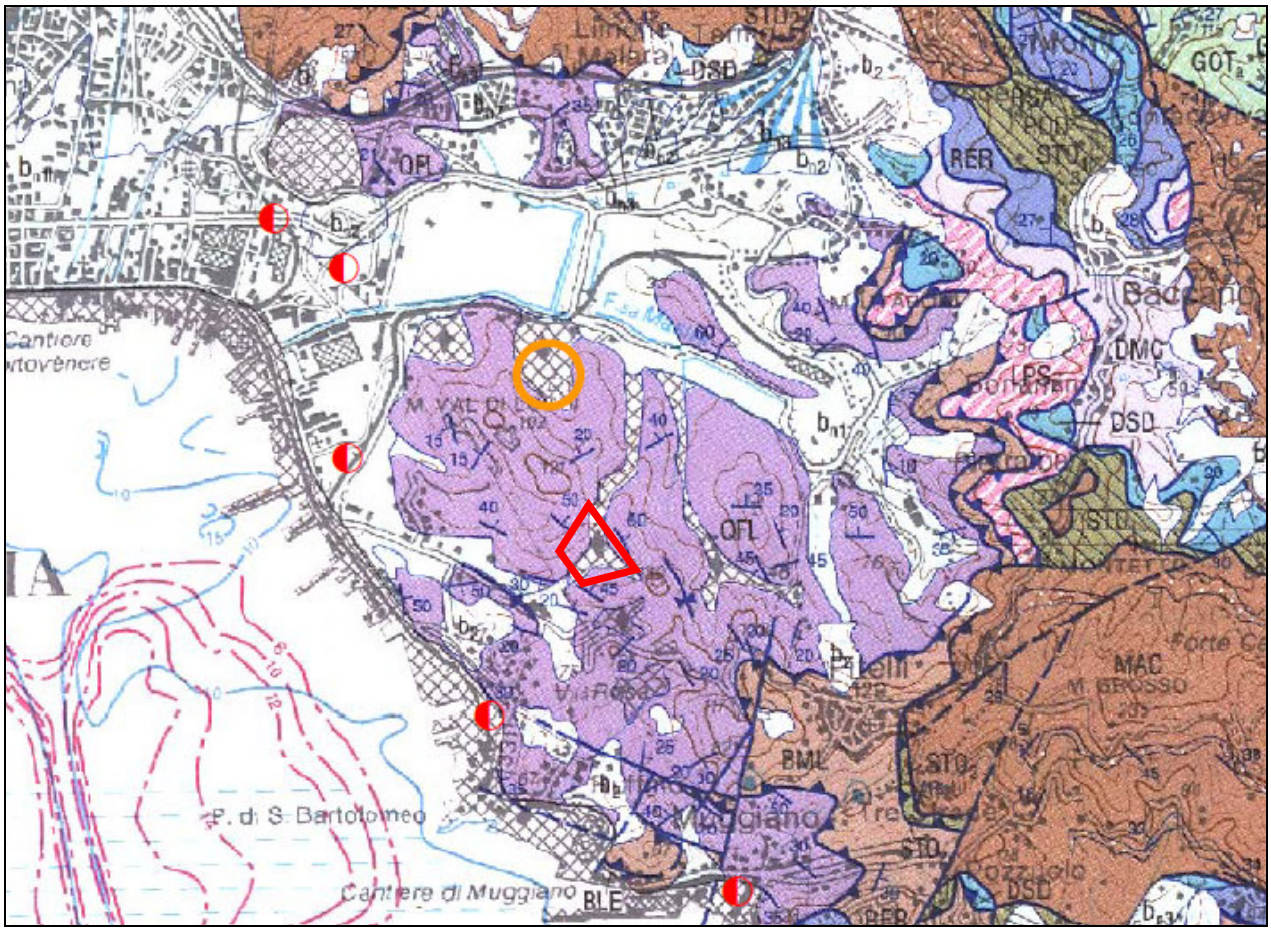


Figura 8.1 – Geologia dell'area circostante la nuova discarica di Saturnia (localizzata con il perimetro in rosso), da Serv. Geol. It, 2005. Il simbolo ◐ indica la posizione delle principali emergenze naturali di acque termali (Brozzo, 2009; ARPAL-ACAM, 2007; ACAM, 2012).

Le indagini idrogeologiche e i rilievi geochimici condotti recentemente dall'ARPAL e da ACAM acque S.p.a. per la caratterizzazione della circolazione idrica sotterranea nell'intorno significativo della Centrale Termoelettrica "E. Montale" e, più in generale, in corrispondenza della piana della Fossa Mastra (ARPAL-ACAM, 2007), consentono di definire le modalità generali di alimentazione delle diverse falde e le loro interazioni. I principali processi idrogeochimici riconosciuti e gli effetti derivanti, in termini di assetto piezometrico e di chimismo dei fluidi, sono riassunti nella Fig. 8.2.

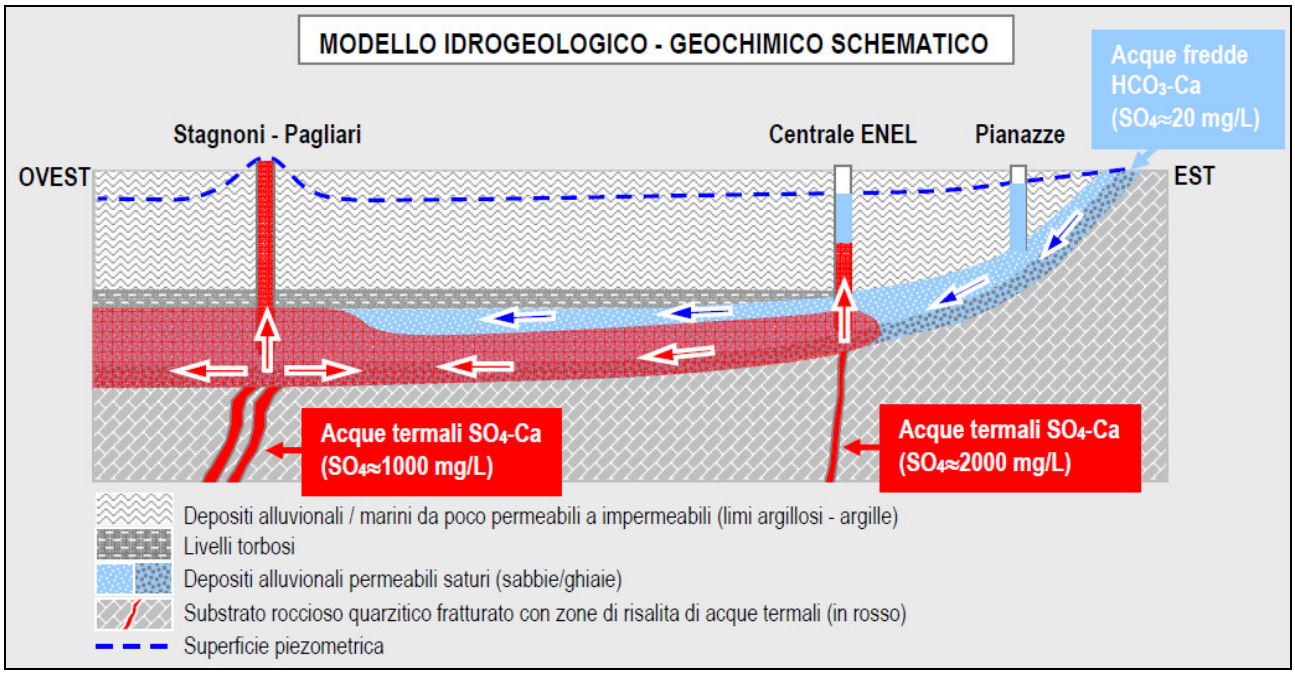


Figura 8.2 – Sezione schematica illustrante il modello idrogeologico-geochimico concettuale della circolazione sotterranea in corrispondenza della piana della Fossa Mastra (da (ARPAL-ACAM, 2007). Il modello sebbene elaborato per la zona di pianura, consente di descrivere in modo unitario le interazioni tra la falda superficiale (in colore azzurro) contenuta nei depositi quaternari (alluvionali e marini), la falda basale ospitata nel complesso metamorfico del substrato, la localizzazione delle principali zone di risalita delle acque termali. Il retino rosso indica l'impronta geochimica delle acque termali sui circuiti superficiali. Risulta evidente anche il ruolo delle circuiti risalenti, dotati di elvate portate e carichi piezometrici significativi, nel condizionare localmente la superficie piezometrica.

Il modello concettuale di Fig. 8.2 descrive, sia pure in modo schematico, le principali configurazioni idrogeologiche che interessano la dorsale collinare del M. Valdilocchi – M. Montada e i tratti di pianura circostanti, comprendenti a partire dal margine Est:

- L'alimentazione dell'acquifero della pianura da parte di acque di falda provenienti dai versanti circostanti; si tratta di flussi con portata modesta (stimata nell'ordine delle decine di litri/minuto), fredde, caratterizzate da bassa salinità e chimismo bicarbonato-calcico;
- All'altezza del limite nord dell'area della Centrale termoelettrica si individua la prima zona di risalita di acque termali, provenienti dal substrato quarzitico. Rispetto al settore degli Stagnoni posto più ad ovest, i flussi appaiono meno consistenti i termini di portate. La salinità è molto elevata, son un chimismo predominante di tipo solfato-calcico. Il tenore in solfati è superiore a quello della zona ovest, per il minor sviluppo assunto dai fenomeni di riduzione batterica;
- Procedendo verso ovest, ad esempio in corrispondenza del settore centrale dell'area ENEL, si individua una zona di interazione tra le acque fredde del circuito superficiale e le acque termali, con fenomeni di stratificazione e miscelamento;
- Al margine occidentale è riconoscibile la seconda e più importante zona di risalita di acque termali che interessa la pianura tra le loxcalità Stagnoni e Pagliari e che prosegue anche lungo la costa di S. Bartolomeo e Ruffino. In aree localizzate i carichi piezometrici conferiscono alle acque risalenti caratteri di artesianesimo. La salinità è elevata, il chimismo sempre di tipo solfato-calcico. I tenori in solfati, tuttavia sono inferiorio a quelli riscontrati nella zona della Centrale ENEL, a causa dei fenomeni di riduzione batterica dei solfati. In questo settore non sono satti rilevati fenomeni id stratificazione delle acque sotterranee.

Un'aliquota significativa delle acque risalenti, tuttavia, una volta raggiunta l'interfaccia substrato – coperture recenti, si disperde nei depositi alluvionali delle aree Stagnoni e Pagliari, infiltrandosi di preferenza negli orizzonti a granulometria maggiore (ARPAL-ACAM, 2007). Nella piana degli Stagnoni, in particolare, le acque termali risalenti tendono ad infiltrarsi prevalentemente entro i livelli ghiaiosi della sequenza inferiore a maggiore permeabilità, ma possono occupare anche quella superiore, specie se la sequenza inferiore risulta assente o di spessore ridotto. Con queste modalità vengono a formarsi degli acquiferi "semi-stagnanti" che ospitano acque termali raffreddate per conduzione e/o miscela con acque di falda superficiali. Le piane degli Stagnoni e di Pagliari rappresentano le principali zone di risalita delle acque termali, i flussi complessivi sono valutabili nell'ordine delle centinaia di l/s (ARPAL-ACAM, 2007).

8.4 Monitoraggio della falda in corrispondenza dell'area di intervento

La revisione critica degli elementi conoscitivi disponibili per l'area di intervento, l'integrazione dei dati di sottosuolo pregressi con le nuove campagne geognostiche e ambientali dell'Ottobre 2015 e del Maggio 2016, unitamente all'avvio di rilievi piezometrici tuttora in svolgimento, consentono una definizione dell'assetto della falda adeguatamente rappresentativo per lo sviluppo progettuale dell'intervento. Il quadro dei punti di controllo della falda e i risultati del monitoraggio piezometrico svolto nel periodo Maggio 2015 – Giugno 2016 sono illustrati nelle Fig. 8.3 e Tab. 8.2.

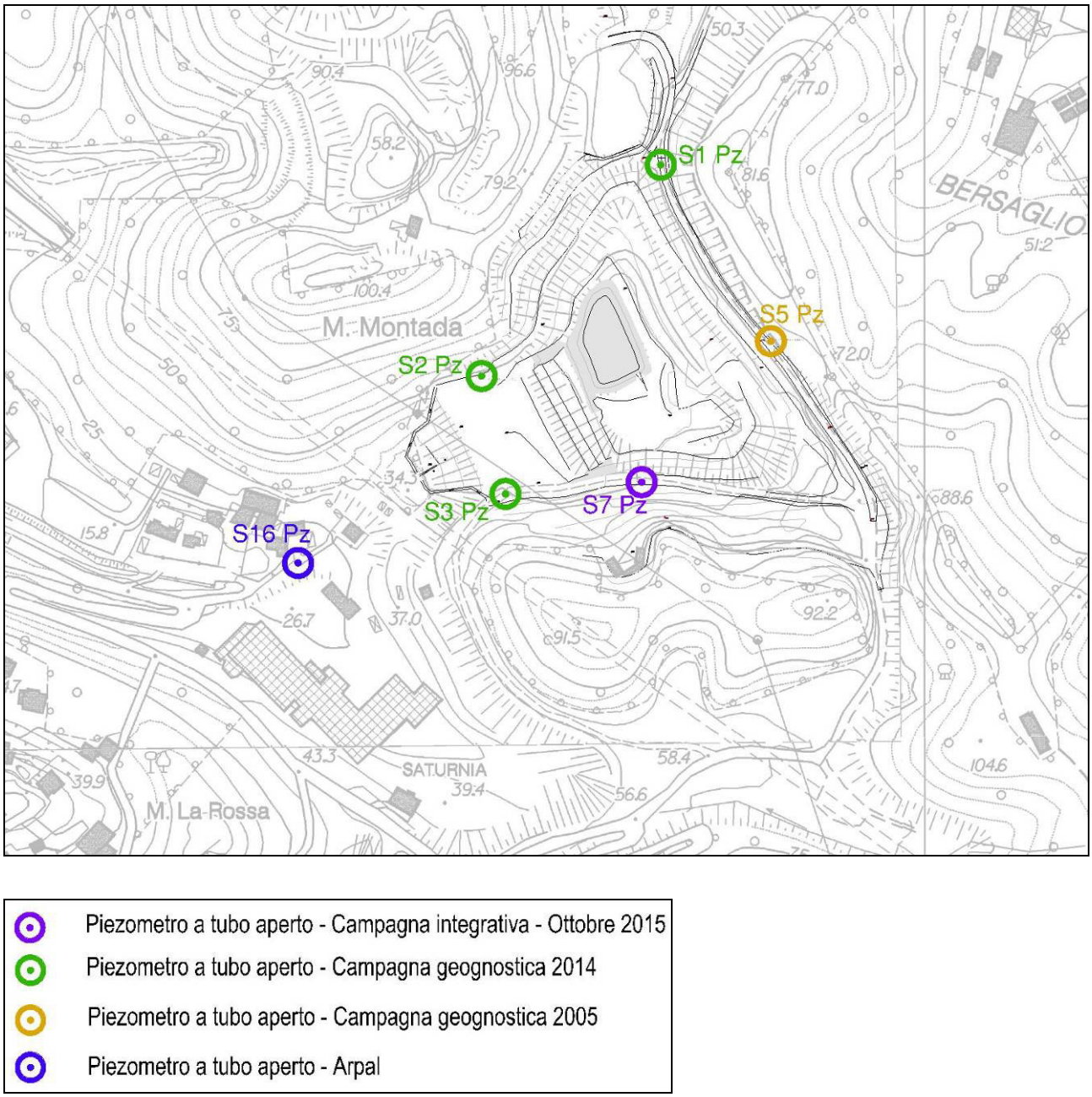


Figura 8.3 - Ubicazione dei piezometri presenti nell'ambito dell'area di intervento.

Lo sviluppo del monitoraggio ha consentito l'acquisizione di una serie di misure significative per distribuzone areale e intervallo temporale coperto (Tab. 8.2). La ricostruzione del panneggio piezometrico per l'area di progetto e l'intorno significativo circostante ha reso possibile anche la correlazione tra i livelli individuati nei sondaggi completati con piezometri e altre perforazioni attrezzate con diversa strumentazione (tubo inclinometrico, tubo per rilievi Down-hole) spinte comunque a profondità sufficienti a raggiungere la superficie della falda. Di specifico interesse risultano in particolare il sondaggio S1 In (attrezzato con inclinometro), ubicato nella parte alta del rilievo (quota 65,06 m slm) e profondo 67 m, e S4 DH (attrezzato per rilievi sismici in foro) perforato sul lato di valle dell'abbancamento di rifiuti (quota 34,61 m slm, lunghezza 33 m). Il confronto dei livelli di falda individuati in questi sondaggi, con i piezometri rispettivamente adiacenti) ha evidenziato la buona correlabilità delle misure e, quindi, il loro possibile impiego nella ricostruzione della superficie piezometrica. In questo modo è possibile di ulteriori punti di monitoraggio nella parte alta del rilievo, dove l'elevata soggiacenza impedisce il rilievo con continuità (il piez. S05 non raggiunge la falda nei periodi con bassi livelli) e nella parte immediatamente a valle dell'impianto, in prossimità della Galleria autostradale. Il piez. S16 ubicato nelle vicinanze non risulta rappresentativo in quanto impostato nella falda ospitata nei depositi alluvionali, con diverse modalità di alimentazione e variabilità del livello piezometrico.

Gli altri sondaggi attrezzati S2 Pz (lungh. 35 m) completato con tubo piezometrico e S2 DH (tubo guida per rilievi geofisici, lungh. 30 m) risultano troppo corti, in relazione alla loro posizione latimetrica per intercettare la superfici epeizometrica e sono risultati sempre asciutti, sia nel corso dei monitoraggi svolti nell'ambito el progetto, sia dei controlli effettuati (su S2 Pz) dall'ARPAL.

Le misure sinora acquisite risultano coerenti, tenendo conto del diverso grado di dettaglio consentito dalla distribuzione dei punti di controllo, con il quadro generale ottenuto in precedenza (rilievi ARPAL: ARPAL, 2005; 2008; 2012). La migliore definizione spaziale ottenuta con le indagini finalizzate al presente Progetto consente di definire puntualmente la configurazione della superficie piezometrica nell'intorno del sito e verificare le potenziali interferenze con l'intervento.

Il quadro ottenuto ha consentito l'elaborazione di una carta piezometrica di dettaglio estesa all'intero areale significativo per l'intervento (Modello geologico – Carta piezometrica, scala 1:500; elab. D.02.10). L'esame delle oscillazioni della falda rilevate nell'intero periodo coperto dal monitoraggio (Maggio 2015 – Giugno 2016), ha portato alla rappresentazione della situazione di massimo innalzamento rilevato per la superficie piezometrica, in quanto di maggiore significatività per le possibili condizioni di criticità dell'intervento.

Tabella 8.2 – Rilievi piezometrici svolti nell'area di intervento nel periodo Maggio 2015 – Giugno 2016. Il monitoraggio è tuttora in corso.
In grassetto è evidenziato il rilievo che individuato per l'intero areale il maggiore livello della falda basale riconosciuto nell'intervallo tenporale sinora monitorato (misure del 20/04/2016). Tale configurazione è stata presa a riferimento per l'elaborazione della Tav. *Carta Piezometrica*. In corsivo sono riportate le misure corrispondenti alla situazione di minimo piezometrico (rilievo del 26/10/2015).

Note:

[1] – Piezometro compreso nella rete di monitoraggio ARPAL relativo al Piano di caratterizzazione del SIN di Pitelli – Aree pubbliche.

[2] – Foro in prossimità di S 05 attrezzato con tubo inclinometro (lungh. = 67 m. Misure eseguite in parallelo nei due strumenti evidenziano una buona correlazione tra i livelli, questo consente l'utilizzo di S 1In, di maggiore lunghezza, per la misura della falda nei periodi di decremento della superficie piezometrica.

[3] - Perforazione attrezzata con tubazione in PVC per esecuzione rilievi sismici Down-hole. Nonostante il tipo di completamento del foro, tramite ripetuti rilievi sistematici è satto possibile verificare la coerenza del livello idrico nella tubazione con quella dei piezometri circostanti. S4 DH costituisce il punto di misura della falda posto a quote inferiori, lungo la direzione principale di flusso idrico sotterraneo.

Piez.	**S 1pz**	**S 05** [1]	**S 1 In** [2]	**S 7pz**	**S 2pz**	**S 3pz**	**S4 DH** [4]	**S16** [1]
Quota testa tubo (m slm)	59,98	65,13	65,06	51,29	47,82	47,68	34,61	22,36
Profondità (m da p.c.)	70,0	50,0	67,0	45,0	35,0	31,0	33,0	12,0
Fenestratura (m da p.c.)	49 ÷ 61	10 ÷ 50	forature zone giunzione	6 ÷ 45	21 ÷ 35	19 ÷ 28	zone giunzione e fondo tubo	6 ÷ 12
Installazione	30/01/14	2004	09/02/15	05/11/15	07/02/14	11/02/14	12/02/15	20/07/04

Piez.		**S 1pz**		**S 05** [1]		**S 1 In** [2]		**S 7pz**		**S 2pz**		**S 3pz**		**S4 DH** [4]		**S16** [1]	
		sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm	sogg. m da t.t.	livello m slm
28/05/2015		46,87	12,96	48,91	16,22					35,19		asc.					
13/08/2015		48,60	11,23	> 50	< 15							asc.					
18/09/2015		48,98	10,85	> 50	< 15							asc.				5,89	16,47
20/10/2015		49,36	10,47	> 50	< 15							asc.					
26/10/2015		*49,28*	*10,55*	*> 50*	*< 15*	*50,83*	*14,23*					*asc.*		*24,60*	*10,01*	6,04	16,32
29/10/2015		49,23	10,60	> 50	< 15	50,54	14,52			35,21		asc.		24,58	10,03	3,72	18,64
03/11/2015		49,19	10,64	> 50	< 15					35,23		asc.		24,44	10,17	5,09	17,27
20/04/2016		**45,75**	**14,23**	**48,80**	**16,33**	**48,78**	**16,28**	**37,57**	**14,11**	**33,83**	**13,85**	**asc.**		**21,15**	**13,46**	6,22	16,14
16/05/2016		46,10	13,88					38,21	13,47	34,50	13,18	asc.					
25/05/2016		46,65	13,14	48,82	16,31	48,74	16,32	39,12	12,56	34,82	12,86	asc.		22,33	12,28	6,25	16,11
01/06/2016		46,84	12,76	48,93	16,20	48,71	16,35	39,23	12,45	34,93	12,75	asc.		22,42	12,19	3,85	18,51
08/06/2016		47,22	12,79	49,22	15,91	49,16	15,90	39,46	12,22	35,01	12,67	asc.		22,60	12,01	4,06	18,30
23/06/2016		46,94	13,04	49,18	15,95	49,14	15,92	38,58	13,10	34,88	12,80	asc.		21,86	12,75	4,42	17,94

La configurazione rappresentata è relativa al rilievo del 18/04/2016. Tale misura assume rilevanza ben superiore relativamente all'intervallo annuale di monitoraggio considerato, in quanto fa seguito al primo quadrimestre del 2016 carratterizzato da apporti meteorici significativamente superiori ai valori medi. Nel periodo 1 gennaio – 30 aprile 2016 le precipitazioni complessive hanno raggiunto 546 mm (dati stazione pluviometrica La Spezia, rete ARPAL), corrispondenti al 50 % del valore medio annuale del periodo 1921-2015.

Nell'ambito della dorsale collinare, come già rilevato in precedenza (C.I.R., 1996a, 1996b; ARPAL, 2005; 2008; 2012; ARPAL; 2015), la soggiacenza della falda basale è elevata, risultando variabile in generale tra 30 ÷ 90 m in relazione allo sviluppo del rilievo (in questo settore compreso tra le quote di 40 e 100 m slm). In corrispondenza dell'impianto, con riferimento alla superficie di imposta dell'accumulo, si individua alla profondità media di 47 ÷ 49 m dal p.c. sul margine est, presso lo spartiacque con la vallecola Bersaglio (S 1pz, S 05pz, S 1In; Tab. 8.2), mentre sul lato ovest dove il pendio degrada verso la vallecola sottostante si dispone a profondità superiori ai 33 ÷ 35 m dal p.c. (ovvero a quote inferiori ai 15 m slm), tanto da non essere mai rilevabile nella verticale S 3pz (lungh. 31) e solo saltuariamente in S 2pz, in occasione delle fasi di innalzamento relativo della superficie piezometrica (Tab. 8.2). Tale contesto è stato verificato in modo diretto nel corso della recente perforazione S9, condotta con assetto inclinato a partire dalla sommità dell'accumulo di rifiuti esistente (p.c. = 47,94 m slm). Nel corso dell'avanzamento la presenza della falda è stata riscontrata alla profondità verticale di 35,2 m dal p.c., corrispondente ad una quota di 12,7 m slm.

Per tutti i rilievi condotti, le singole serie di misure sono riferibili complessivamente sempre ad un'unica superficie piezometrica, riferibile ad una configurazione uniforme e regolare della falda, defluente nell'insieme da NE verso SO, ovvero il litorale (si cfr. Tab. 8.2; Carta piezometrica, Tav. D.02.10; Modello geologico - Profili geologico-idrogeologici, Tavv. D.02.04 ÷ D.02.09).

Con riferimento all'intervallo temporale coperto con il monitoraggio, la superficie piezometrica nel settore dell'invaso posto a quote inferiori si dispone a quote di 12 ÷ 13 m slm, a fronte di una quota di progetto prevista per il fondo del nuovo impianto di 30 m slm.

Nel periodo Maggio 2015 – Giugno 2016, durante il quale si sono verificati anche eventi di particolare severità pluviometrica, sono stati riscontrati variazioni relativamente regolari della piezometria, con variazioni nei livelli comprese tra 2 e 4 m. Le misure condotte nella verticale S

1pz (Tab. 8.2), ubicata in posizione di "monte" rispetto al deflusso della falda, hanno individuato livelli piezometrici oscillanti in genere tra 10,5 e 13,9 m slm, in corrispondenza dell'evento di elevata alimentazione dell'acquifero, nella tarda primavera 2016, si dispone a 14,2 m slm). Tale campo di variabilità è confrontabile con le misure acquisite nell'intorno dal monitoraggio ARPAL svolto per la caratterizzazione del SIN (ARPAL, 2005; 2008). Nella zona di maggiore elevazione della superficie piezometrica, corrispondente al settore SE, le misure ottenute nei sondaggi attrezzati S 05 e S 1In, hanno riscontrato livelli variabili tra 14,0 e 16,5 m slm.

Sul lato ovest del sito è presente il piezometro S 16, i livelli misurati in questa verticale sono rappresentativi dell'acquifero superficiale ospitato nel complesso dei depositi quaternari (si *cfr*. *Capp*. 8.3.1 e 8.3.2.1; Tabb. 8.1 ÷ 8.2, e non possono essere ritenuti indicativi dell'effettiva circolazione nel substrato roccioso.

Elementi utili sono ricavabili, tuttavia, dal sondaggio S4 DH (Febbraio 2015), che seppure attrezzato con tubazione in PVC per l'esecuzione dei rilievi sismici in foro consente per la sua collocazione altimetrica (quota p.c. = 34,61 m slm) e profondità (33,0 m) di raggiungere la superficie della falda. I rilievi periodici hanno permesso infatti di verificare le modalità di variazione del livello idrico al suo interno, analoghe e coerenti con quelle dei piezometri circostanti. La soggiacenza assume generalmente valori compresi tra 22 ÷ 25 m dal p.c. (corrispondenti a quote di 10 ÷ 12 m slm). Nella fase di maggiore alimentazione della circolazione sotterranea, a fine primavera 2016, il livello piezometrico ha raggiunto quota 13,5 m slm (corrispondente ad una soggiacenza di 21,15 m dal p.c.).

L'allineamento delle verticali S 05 / S 1In e S4DH (ubicazione nella Tav. D.02.10 e nelle Figg. 8.3 e 7.3), disposte rispettivamente a monte e valle rispetto al deflusso sotterraneo, è orientato circa parallelamente al campo di moto della falda. La correlazione delle misure conferma la posizione della superficie piezometrica al di sotto dell'area di deposito dei rifiuti. In corrispondenza del tratto con piano di imposta previsto alle quote minori (circa 30 m slm) il monitoraggio ha riscontrato variazioni nel livello della falda nell'intervallo di quote 12 ÷ 14 m slm, ovvero tra 16 ÷ 18 m al di sotto del piano di posa del rivestimento. Anche prendendo in considerazione il livello piezometrico massimo riscontrato, pari a 14,23 m slm in S 1pz, la soggiacenza rispetto al piano di imposta del fondo del deposito risulterebbe prossima a 16 m.

Nel complesso i dati di monitoraggio indicano, quindi, una configurazione relativamente uniforme della falda basale, caratterizzata da soggiacenze relativamente elevate e declinante con modesti valori di gradiente idraulico nell'insieme da NE verso SO. La diretta correlabilità tra i livelli piezometrici evidenzia modalità unitarie di circolazione nell'ambito della porzione di

acquifero direttamente indagato, senza compartimentazioni dovute a significativi contrasti di permeabilità o individuazione di circuiti in pressione.

A quote superiori alla superficie piezometrica non è stata riscontrata la presenza di circuiti idrici o anche solo di zone sature, come verificato nel corso delle precedenti indagini e delle campagne integrative dell'ottobre 2015 e del maggio 2016, nonché dalla persistente assenza di acqua nel piezometro S3pz. L'assenza di circuiti sospesi al disopra della falda basale è confermata dai rilievi e dalle video-ispezioni condotte su tutte le altre verticali presenti (inclinometri, tubi per rilievi down-hole), nonchè recentemente dai rilievi e dalla videoispezione svolta nel foro del sondaggio inclinato S9 perforato tra le profondità di 50 m slm e 5 m slm. Le discrete caratteristiche dell'ammasso hanno consentito l'esecuzione della perforazione senza ricorrere al rivestimento provvisorio, ad eccezione dei primi metri dalla superficie. Una volta raggiunta la quota di fondo prevista per la perforazione, si è proceduto al lavaggio e all'estrazione per mezzo di pompa ad immersione del fluido di perforazione. Nel tratto al di sopra della falda, non è stata rinvenuta alcuna evidenza di circolazione idrica o trafilatura, né tanto meno tracce e/o presenza di percolato (si *cfr*. *Cap*. successivo e Fascicolo indagini geotecniche e geofisiche – Addendum 1, elab. R04 rev 02)

Nell'ambito dell'area di progetto e del suo intorno significativo non sono presenti sorgenti o emergenze temporali della circolazione sotterranea come verificato attraverso i rilievi di terreno e la consultazione della documentazione territoriale.

In relazione allo stato di fratturazione dell'ammasso e alla presenza dei corpi metapelitici intercalati non si può escludere, tuttavia, l'impostazione di modesti ed occasionali circuiti idrici a scala locale, a seguito di eventi meteorologici rilevanti. Tale circolazione, che può restare temporaneamente sostenuta da livelli con permeabilità relativa minore (livelli di quarziti cataclasate e/o scisti milonitizzati), non da luogo ad emergenze sorgentizie, né a "falde" con caratteri di continuità spaziale e permanenza temporale.

8.5 Inquadramento delle caratteristiche geochimiche dell'acquifero nelle quarziti

Le informazioni sulle caratteristiche geochimiche delle acque provengono essenzialmente dagli studi recenti condotti nell'area per la definizione dello stato chimico-ambientale dei corpi idrici sotterranei, in particolare quello svolto da ARPAL per la caratterizzazione del SIN di Pitelli (ARPAL, 2005; 2008; 2012), nonché per la ricostruzione della circolazione idrogeologica profonda e la valutazione del ruolo dei circuiti termali (Brozzo, 1998; ARPAL-ACAM, 2007; ACAM, 2012).

L'acquifero metamorfico, ospitato nelle "quarziti e filladi" è stato interpretato come un "serbatoio" nel quale affluiscono, acque piovane di percolazione, acque di falde superficiali a carattere sia temporaneo che permanente e acque di circolazione profonda risalenti provenienti dalle aree esterne all'Area Pitelli. I campioni di acqua prelevati da questo acquifero costituiscono a tutti gli effetti una miscela di acque a diverso chimismo (ARPAL, 2005; ARPAL-ACAM, 2007). In base alla valutazione in termini quantitativi dei diversi sistemi di ricarica, che fa ipotizzare un contributo preponderante da parte della circolazione di origine profonda, sono state formulate alcune valutazioni (ARPAL, 2005; 2008):

- la zona indagata per la caratterizzazione del SIN di Pitelli è interamente compresa in una più vasta area interessata da importanti circolazioni termali, la composizione e il grado di salinità delle acque, almeno relativamente agli ioni maggiori, hanno caratteristiche geochimiche riconducibili a quelle di un "bacino termale";
- le acque piovane di percolazione o quelle provenienti dal loro accumulo temporaneo nelle coperture, quantitativamente trascurabili, non sono in grado di alterare sensibilmente la qualità delle acque sotterranee profonde, se non a livello puntuale nello spazio e nel tempo. Le acque profonde in esame, tra l'altro, possono raggiungere un grado di salinità medio-alto, in grado di mascherare significativamente eventuali effetti di miscelazione;
- variazioni temporali apprezzabili possono verificarsi localmente allorquando o la falda profonda permea i sovrastanti sedimenti incoerenti o le acque di percolazione, solitamente poco evolute e relativamente povere di elementi in fase acquosa, risentano di forti sovraimposizioni antropiche. Più facilmente le acque immature di percolazione potrebbero diluire quelle profonde.

Le considerazioni sopra riportate trovano riscontro nelle rappresentazioni analitiche del chimismo delle acque. Dall'analisi del diagramma LL di Fig. 8.4 si rileva come le acque passino da una composizione bicarbonato calcio-magnesiaca, relativa a circuiti più superficiali, verso composizioni solfato-cloruro dominanti tipiche di circuiti profondi a carattere più spiccatamente termale. Un trend analogo è stato riscontrato con gli studi idro-geochimici sul bacino idrotermale del Golfo della Spezia (Brozzo, 1998), che ha preso in considerazione acque provenienti da zone esterne all'Area Pitelli verosimilmente non influenzate dalle attività antropiche qui insediate, e sul ruolo delle acque di risalita profonda nell'improntare il chimismo della circolazione sotterranea nell'area della Centrale ENEL (ARPAL-ACAM, 2007).

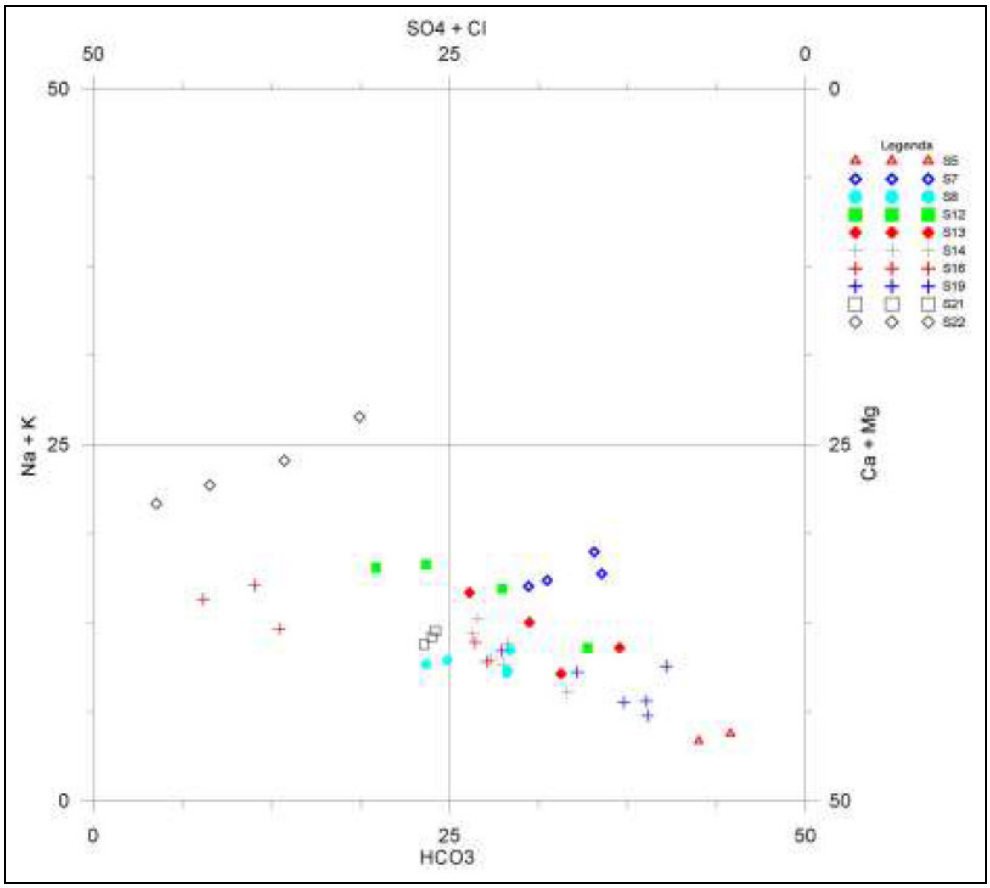


Figura 8.4 – Diagramma quadrato di Langelier-Ludwig (LL), rappresentativo dei campioni prelevati nell'acquifero metamorfico (ARPAL, 2005). I simboli analoghi corrispondono a diversi campionamenti condotti nel tempo in uno stesso piezometro.

8.6 Analisi chimiche delle acque sotterranee nel sito

Con riferimento specifico all'area di progetto, nell'ambito del Piano di Caratterizzazione del 2014 (D.R.I., 2014), sono stati condotti campionamenti delle acque sotterranee nei piezometri installati per lo studio (S1pz, S2pz, S3pz), in modo da poter valutare lo stato qualitativo dell'acquifero. Il quadro conoscitivo è stato integrato con i dati analitici relativi al piezometro S16 installato nel quadro dei precedenti monitoraggi svolti da ARPAL (ARPAL, 2005).

Nel complesso sono disponibili le determinazioni condotte sui campioni prelevati nel 2014 nei piezometri S1pz e S2pz, disposti rispettivamente a monte e valle in senso idrogeologico del sito, mentre S3pz è risultato asciutto (D.R.I., 2014). Relativamente al punto di monitoraggio S16, installato e monitorato da ARPAL nell'ambito del P.d.C. del SIN-Aree Pubbliche, sono state prese in considerazione le più recenti analisi chimiche disponibili, relative al campionamento del 22/02/2012. I risultati delle determinazioni svolte sono riassunte nella Tab. 8.3.

.

Parametro	u.m.	S1	S2	S16
pH	-	4,9	5,09	-
Conducibilità	µS/cm	146	720	-
Alcalinità	mg/l	28,1	64,05	
Sodio	mg/l	18,1	127,2	25
Potassio	mg/l	1,2	2,8	13
Magnesio	mg/l	3,4	10,39	15
Calcio	mg/l	5	20,6	101
Ammonio	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Cloruri	mg/l	26,3	54,2	15
Nitrati	mg/l	6,2	1,4	7,4
Bromuri	mg/l	0,1	0,6	
Solfati	mg/l	5,2	221,8	190
Fosfati	mg/l	<0,1	<0,1	
COD	mg/l	-	15,7	
Arsenico	µg/l	<2	<2	<0,5
Ferro	µg/l	12	**422**	
Manganese	µg/l	136	**1280**	
Cobalto	µg/l	<5	47	
Cadmio	µg/l	<2	<2	<0,1
Cromo totale	µg/l	<5	15	0,4

Parametro	u.m.	S1	S2	S16
Nichel	µg/l	6	15	<0,5
Piombo	µg/l	<2	<2	<0,6
Rame	µg/l	<5	12	1
Zinco	µg/l	21	76	12
PCB	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Idrocarburi (n-esano)	µg/l	-	-	50
Benzene	µg/l	<0,1	0,85	<0,008
Toluene	µg/l	0,1	1,08	0,075
Etibenzene	µg/l	0,1	0,14	0,021
m-p Xilene	µg/l	<0,1	0,18	
o-Xilene	µg/l	<0,1	0,14	
Stirene	µg/l	<0,01		<0,008
Acenaftilene	µg/l	<0,01	<0,01	
Benzo(b)fluorantene	µg/l	<0,01	<0,01	
Benzo(a)antracene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Pirene	µg/l	<0,01	<0,01	
Naftalene	µg/l	0,01	0,02	
Indenopirene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Flurantene	µg/l	<0,01	<0,01	
Fluorene	µg/l	<0,01	<0,01	
Fenantrene	µg/l	0,06	<0,01	

Parametro	u.m.	S1	S2	S16
Dibenzo(a,h)antracene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Dibenzo(a,h)Pirene	µg/l	<0,01	<0,01	
Dibenzo(a,l)Pirene	µg/l	<0,01	<0,01	
Benzo(k)fluorantene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Benzo(a)pirene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Benzo(e)pirene	µg/l	<0,01	<0,01	
Benzi(j)fluorantene	µg/l	<0,01	<0,01	0,001
Benzo(ghi)perilene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Antracene	µg/l	<0,01	<0,01	
Perilene	µg/l	<0,01	<0,01	
Crisene	µg/l	<0,01	<0,01	<0,001
Tribromometano	µg/l	<0,01	<0,01	<0,008
1,2dibromoetano	µg/l	<0,01	<0,01	
Dibromoclorometano	µg/l	<0,01	<0,01	<0,008
Bromodiclorometano	µg/l	<0,01	<0,01	<0,008
C organico	mg/l			2,1
clostridi	ufc/100			98
enterococchi	ufc/101			22
escherichia coli	ufc/102			13

Tabella 8.3 - Sintesi delle analisi chimiche condotte sulle acque prelevate nei piezometri S1pz e S2pz, installati nell'ambito del PdC della ex discarica di Saturnia, e in S16, piezometro afferente alla rete di monitoraggio ARPAL del SIN – Aree Pubbliche (dati ARPAL forniti per la caratterizzazione D.R.I., 2014).

Le analisi non presentano superamenti dei limiti indicati nella Tab. 2 dell'Allegato V Parte IV D.Lgs. 152, a meno degli analiti Ferro e Manganese, riscontrati solamente nel piezometro S2. Tali superamenti possono essere ricondotti ad un fattore ambientale caratteristico della litologia del sottosuolo, piuttosto che un fattore ambientale caratteristico della litologia del sottosuolo. Le considerazioni svolte sono supportate dall'indagine svolta nel 2012 da ACAM acque S.p.A. in collaborazione con ARPAL "Studio geochimico sull'origine delle anomalie di ferro e manganese rilevate nelle acque sotterranee della discarica di Val Bosca, sita nel Comune di La Spezia".

Sulla base di un trattamento statistico dei dati disponibili per le acque sotterranee dell'acquifero della pianura Stagnoni - Valle Grande ed aree limitrofe lo studio condotto secondo la procedura APAT-ISS (2006) ha permesso di definire la concentrazione soglia di contaminazione locale per Fe e Mn disciolti, ottenendo i seguenti valori:

Ferro: CSClocale = 27900 µg/l Manganese: CSClocale = 1890 µg/l

Le concentrazioni di Ferro e Manganese riscontrate nelle acque prelevate nel piezometro S2 risultano, quindi, marcatamente inferiori ai valori di soglia di contaminazione come sopra definiti:

Ferro: CFe = 422 µg/l Manganese: CMn = 1280 µg/l

9. MODELLO GEOLOGICO

9.1 Natura e assetto dell'abbancamento di rifiuti esistente

La nuova campagna d'indagne 2016 consente di verificare, con modalità e procedure indipendenti sia di tipo diretto che indiretto, natura, assetto, caratteristiche dei materiali depositati, nonchè l'eventuale presenza di percolato nel corpo dei rifiuti. La realizzazione di sondaggi geognostici, unitamente all'esecuzione di rilievi geofisici, è stata finalizzata alla caratterizzazione litostratigrafica del sito di discarica con particolare riferimento a:

a) - definire la geometria e lo spessore complessivo del corpo discarica;

b) - definire la stratigrafia della discarica, giungendo a distinguere i vari tipi di rifiuto;

c) - valutare l'eventuale presenza di percolato.

Il piano di indagine condotto ha comportato l'esecuzione di:

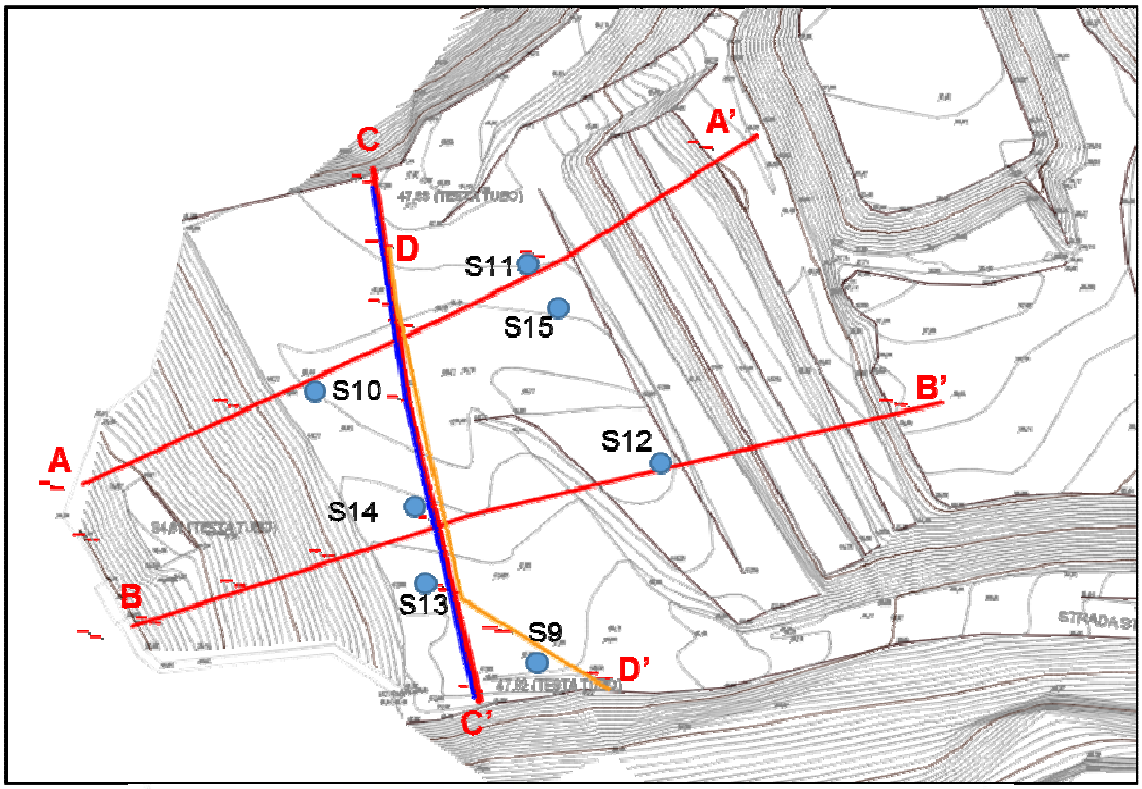
- ✓ n. 6 sondaggi verticali (S10 ÷ S15) di tipo ambientale eseguiti a partire dalla sommità dell'abbancamento esistente (quota prossima a 47 m slm), perforati a secco senza l'impiego di fluidi e approfonditi sino a 9 ÷ 19 m dal p.c. Nel corso dei sondaggi sono state condotte prove SPT, prelievo di campioni geotecnici di tipo indisturbato e disturbato, campionamenti ambientali. Si è proceduto costantemente, inoltre, alla verifica dell'eventuale presenza di percolato.
- ✓ indagini geofisiche basate sull'utilizzo di diverse metologie di prospezione:
- ✓ metodo geoelettrico multi-elettrodo per l'ottenimento del modello tomografico di resistività elettrica e del modello rappresentativo della polarizzazione indotta;
- ✓ metodo sismico a rifrazione in onde di taglio, per l'acquisizione del modello tomografico di velocità - Vs;
- ✓ rilievo MASW 2D volto all'acquisizione di un profilo bidimensionale di velocità delle onde di taglio derivate con metodologia MASW.

Nell'ambito geofisico l'utilizzo combinato di più metodologie d'indagine riduce notevolmente l'ambiguità interpretativa (propria dei metodi di indagine indiretta) e consente di verificare e valutare i parametri del sottosuolo in modo completo.

L'interpretazione dei dati geofisici, con il passaggio dal modello geofisico al modello stratigrafico e litologico, è stata calibrata sulla base dei risultati di alcuni sondaggi geognostici eseguiti contestualmente all'indagine geofisica. Inoltre, si è proceduto ad un confronto con i dati della campagna geofisica eseguita in passato, e comprendente il metodo geoelettrico, il metodo

sismico a rifrazione in onde di compressione e il metodo down-hole in onde di compressione e in onde di taglio.

L'ubicazione di sintesi dei sondaggi a carotaggio e dei rilievi geofisici è riportata in Fig. 9.1, mentre la rappresentazione completa con le precedenti indagini è contenuta nella Tav. D.02.01 rev 02. Per i dettagli sulle metodologie e le strumentazioni impiegate si rimanda al Rapporto della Ditta specializzata TechGea inserito nell'elab. R04 Fascicolo indagini – Addendum 1, rev. 2.



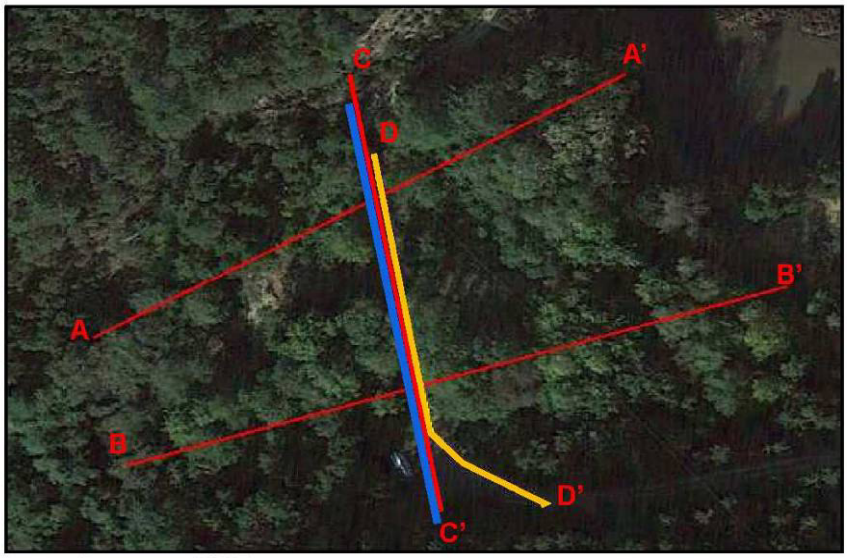


Immagine aerea 2015

A A' Traccia stendimento geoelettrico (ERT)

C C' Traccia sezione sismica in onde S (SIS)

D D' Traccia sezione sismica MASW2D

N

0 25 50 75 m

Figura 9.1 – Ubicazione schematica dei sondaggi e dei rilievi geofisici eseguiti in corrispondenza dell'abbancamento di rifiuti esistente.

La disposizione degli stendimenti geofisici è stata definita in relazione agli obiettivi dell'indagine..Nello specifico si sono individuate due sezioni geoelettriche (A-A' e B-B'), parallele tra loro, che potessero analizzare la zona secondo la direzione SO-NE, trasversale rispetto all'abbancamento complessivo, una terza sezione geoelettrica (C-C') è stata eseguita circa perpendicolarmente alle precedenti. In corrispondenza della traccia di quest'ultima sezione sono state eseguite anche una sismica a rifrazione in onde di taglio e una sezione MASW 2D che, per ragioni di spazio, limitanti il traino dello stendimento mobile di geofoni risulta leggermente curvata all'estremità sud.

Sulla base dell'elaborazione preliminare dei rilievi geoeletttrici si è proceduto alla distribuzione e localizzazione puntuale dei sondaggi ambientali. Posizioni e profondità d'indagine sono stati tarati tenendo conto, inoltre, della geometria dell'accumulo, della configurazione del fondo rilevabile dagli elaborati di progetto originari, nonché dell'individuazione in sito dei teli di rivestimento affioranti e dei condotti idraulici di fondo. In questo modo è stato possibile spingere le indagini sino alla base dei corpi di rifiuto, raggiungendo gli strati di riporto posti alla base per regolarizzare il piano di imposta, senza tuttavia raggiungere e tanto meno danneggiare i sistemi di impermeabilizzazione di fondo. I profili interpretativi di sottosuolo ottenuti sulla base dei modelli tomografici di resistività elettrica e polarizzazione indotta (IP) sono illustrati nelle Fig. 9.2 ÷ 9.5.

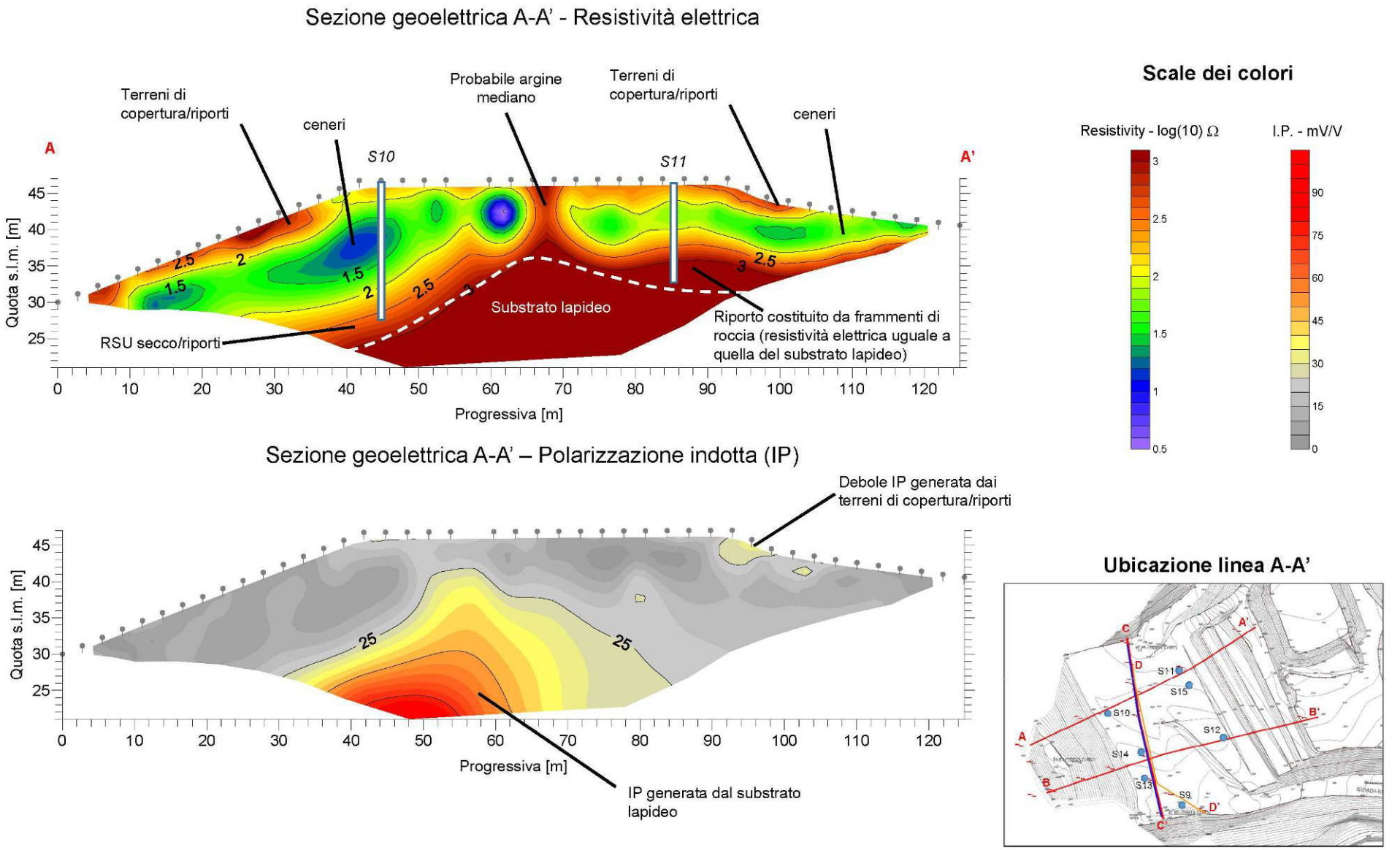


Figura 9.2 – Sezione geoelettrica A – A', trasversale all'abbancamento di rifiuti. Elaborazione modello di Resistività elettrica e Polarizzazione indotta (IP).

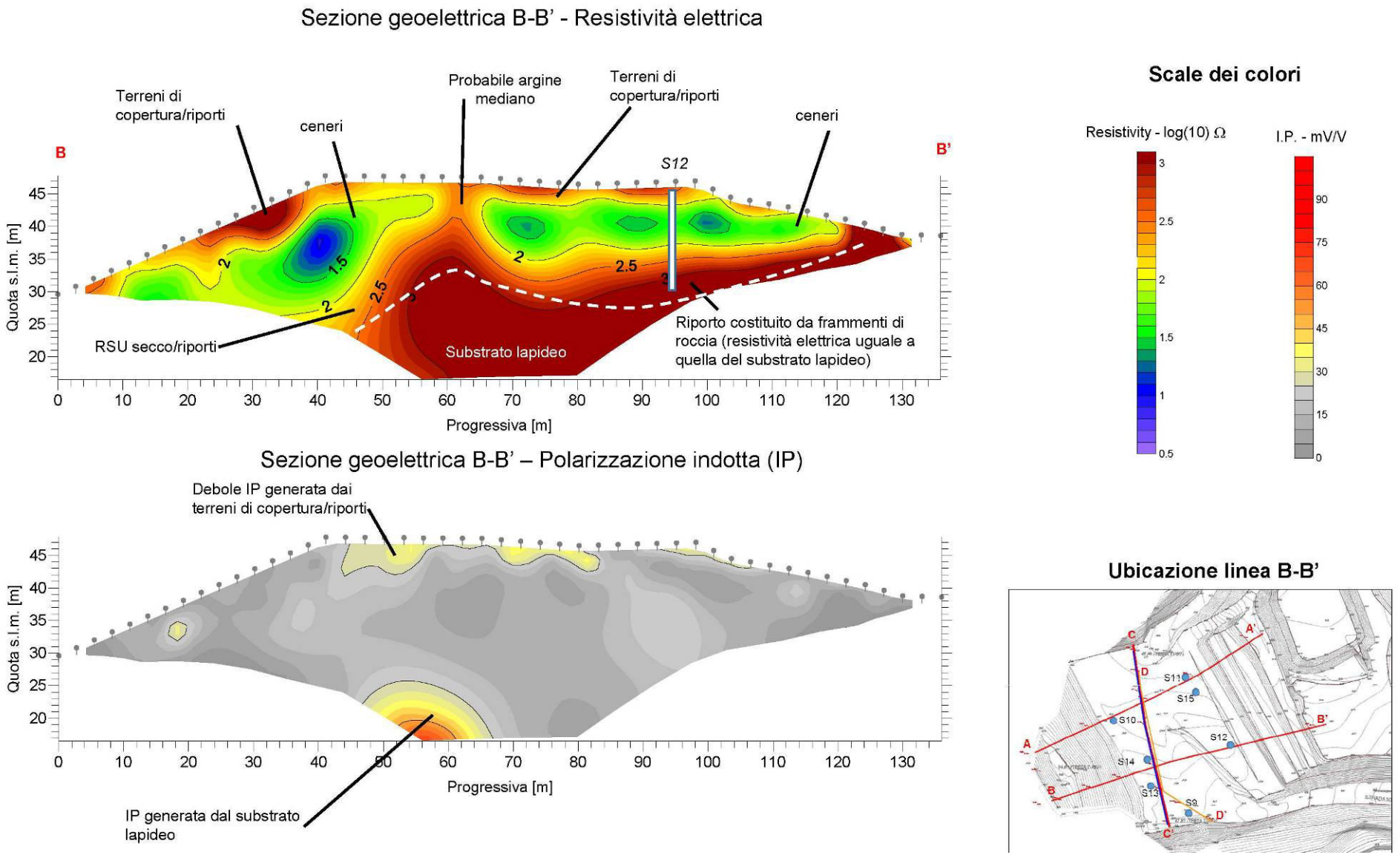


Figura 9.3 – Sezione geoelettrica B – B', trasversale all'abbancamento di rifiuti. Elaborazione modello di Resistività elettrica e Polarizzazione indotta (IP).

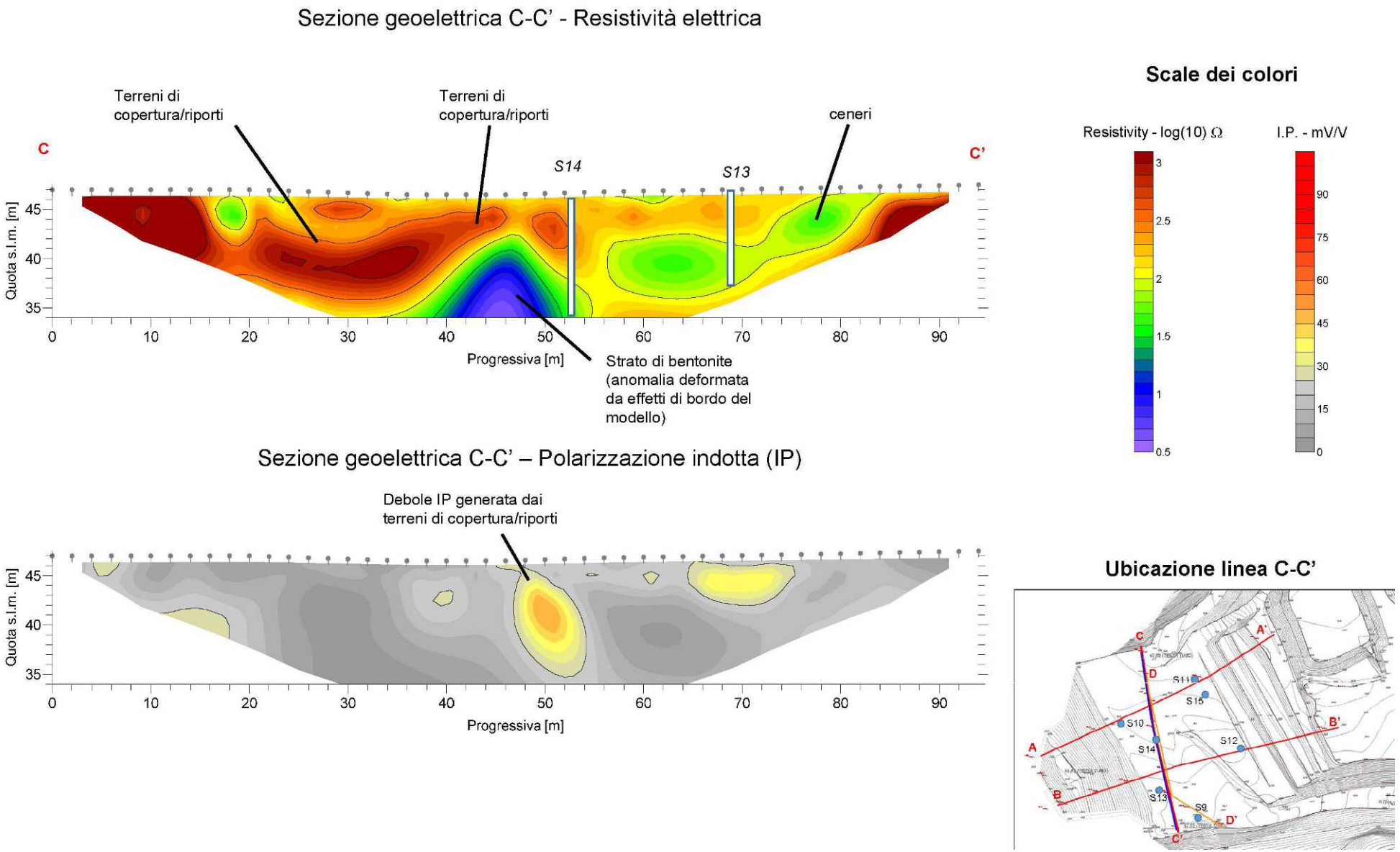


Figura 9.4 – Sezione geoelettrica C – C', longitudinale rispetto all'abbancamento di rifiuti. Elaborazione modello di Resistività elettrica e Polarizzazione indotta (IP).

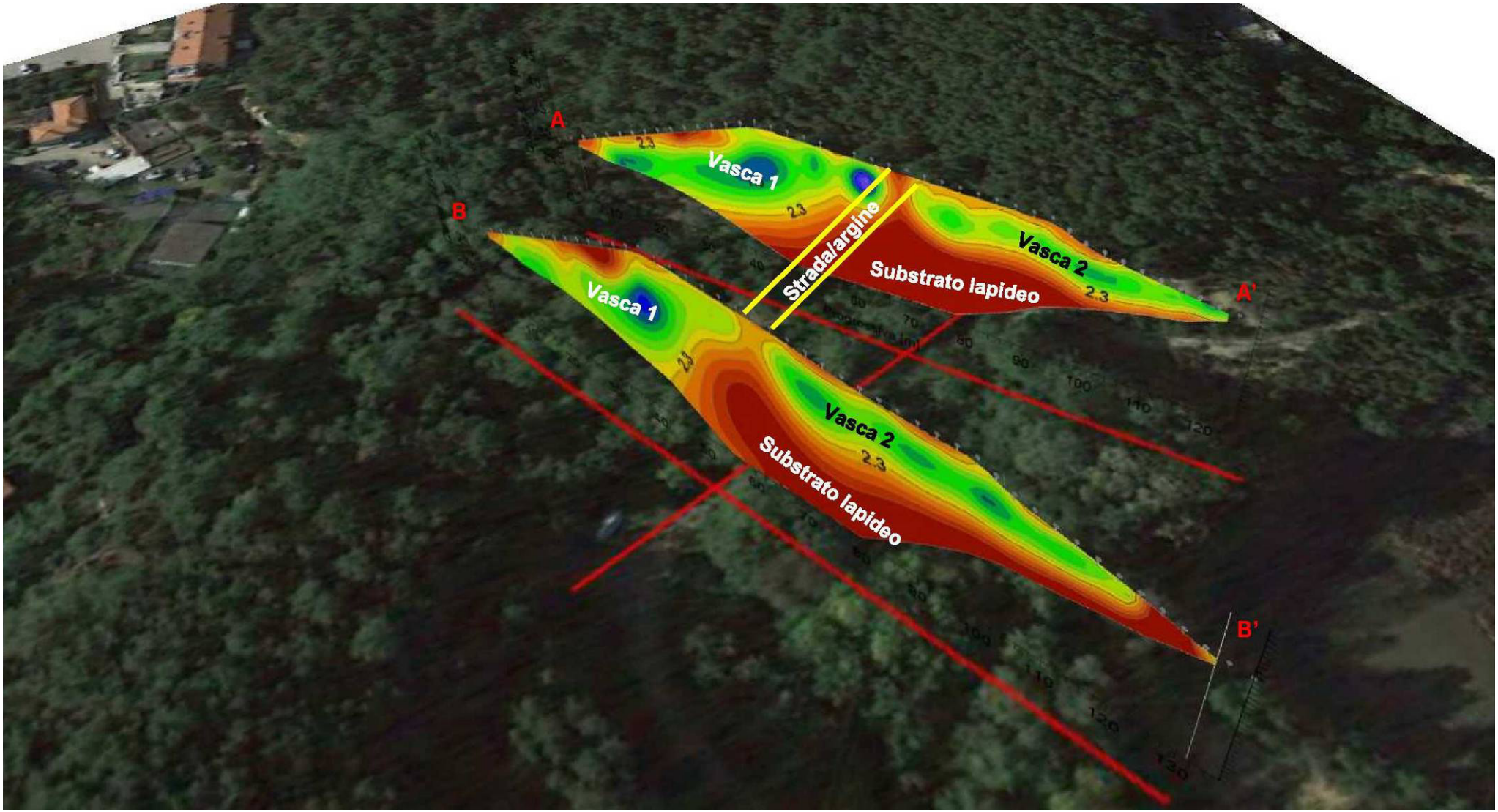


Figura 9.5 – Rappresentazione stereografica dei modelli ottenuti dall'elaborazione delle sezioni geoelettriche A – A' e B – B'.

Le sezioni geoelettriche acquisite con gli stendimenti A – A' e B – B' (Figg. 9.2 ÷ 9.3) risultano molto simili tra loro, come reso evidente dalla proiezione 3D di Fig. 9.5. Il modello interpretativo, unitamente ai dati dei sondaggi geognostici, consente di rilevare::

- Il corpo della discarica è costituito dalla sovrapposizione di strati di terreno di riporto, ceneri di carbone, rifiuti RSU mineralizzati/residui inorganici, con interposizione di uno strato di argilla bentonitica posto generalmente alla base delle "ceneri". Dal punto di vista della risposta del parametro resistività elettrica si osserva che:
  - i terreni di copertura, i materiali di riporto costituiti da terre e rocce, i rifiuti RSU, presentano valori di resistività elettrica generalmente superiori a 100-300 ohm.m (log10 2-2.5 ohm.m), e sono facilmente riconoscibili come strato di copertura della discarica e alla base della discarica stessa (in appoggio sul substrato lapideo, con valori > 300 ohm.m (log10 2.5 ohm.m);
  - le ceneri sono caratterizzate da valori molto bassi di resistività elettrica, con valori compresi tra 10 e 50 ohm.m (log10 1-2 ohm.m), e sono distribuite come strato intermedio del corpo discarica;
  - la presenza del livello di bentonite, di spessore irregolare e generalmente molto inferiore a quello dei corpi costituiti dagli altri materiali, non è chiaramente distinguibile nelle due sezioni, mentre causa un evidente anomalia conduttiva nella sezione a sviluppo longitudinale C-C' (Fig. 9.4);
  - la sezione C-C' rilevata, analogamente alle altre, prima di poter disporre di un modello della struttura interna dell'abbancamento, individua e risulta tracciata in parte sulla struttura definita come "argine mediano", relativo presumibilmente ad una pista di cantiere in fase di coltivazione. Ciò risulta evidente sulla base dei sondaggi e del modello geoelettrico, in particolare nel settore settentrionale dove si rilevano spessori consistenti di terreno di riporto e una sostanziale assenza delle ceneri. In posizione centrale, la forte anomalia conduttiva è riferibile, verosimilmente, ad un effetto bordo (limite argine centrale–vasca) di uno strato di bentonite sezionato diagonalmente. Sul lato Sud la sezione interseca il corpo discarica, e si rileva una sequenza simile a quella evidenziata nelle sezioni A-A' e B-B'.
- Il substrato lapideo, come accennato in precedenza, mostra valori di resistività elettrica più elevati di quelli del corpo discarica, con valori > 300 ohm.m (log10 2.5 ohm.m). Tali valori sono stati misurati direttamente su alcuni affioramenti di substrato lapideo, al fine di calibrare i risultati complessivi dell'indagine geoelettrica.

La geometria complessiva del corpo discarica è ricostruibile con elevato dettaglio sulla base dell'esame integrato dei rilievi geolettrici e dei risultati delle perforazioni. L'abbancamento disposto circa in direzione meridiana, presenta una sezione trasversale di forma circa trapezoidale. La sommità del deposito è posta alla quota media di 47 m slm, mentre il piano di appoggio si sviluppa tra le quote di 24,5 m slm (lato valle prospiciente la Galleria autostradale) e circa 35 m slm sul lato di monte (verso il centro dell'invaso attuale). Lo spessore complessivo accertato per l'accumulo nel suo complesso, nella zona assiale di maggiore sviluppo, è compreso tra 12 m (sondaggio S15 lato di monte) e i 19 m (S10, lato valle). Il modello geologico elaborato sulla base del complesso dei dati acquisiti è illustrato nelle Tav. D.02.04 (Profilo trasversale A – A') e D.02.08 (Profilo longitudinale D – D'). La documentazione completa delle attività di indagine geognostica è contenuta nel Rapporto della Ditta specializzata RCT srl inserito nell'elab. R04 Fascicolo indagini – Addendum 1, rev. 2.

La superficie di appoggio del cumulo di rifiuti attuale è impostata direttamente nell'orizzonte alterato dell'unità delle Quarziti e filladi, come riscontrato direttamente dal sondaggio S4 DH posto in corrispondenza della banca di valle, dei sondaggi S 2pz e S 3pz, ubicati ai margini N e S dell'abbancamento, del nuovo sondaggio S9 perforato con assetto inclinato al margine laterale e parallelamente alla membrana in PEAD costituente il rivestimento laterale (si *cfr*. il Par. seguente). In modo del tutto indipendente lo stesso assetto è stato riconosciuto per mezzo dei nuovi rilievi geolettrici (Sez. A – A', Fig. 9.2; Sez. B – B', Fig. 9.3) e sismici (Profilo a rifrazione in onde S e Sezione geosimica MASW 2D, vedi *par*. seguente). La ricostruzione di dettaglio del piano di appoggio dell'abbancamento di rifiuti è rappresentata, nell'ambito del Modello geologico nei Profili A – A' (Tav. D.02.04), D – D' (Tav. D.02.07) e nella Sezione relativa al nuovo Argine di contenimento Tav. D.02.10). In quest'ultimo elaborato sono illustrati a livello di dettaglio anche la posizione e le modalità di immorsamento dell'opera di protezione a valle dell'argine e la collocazione del piano di appoggio basale del nuovo impianto.

Verifica della possibile presenza di sacche di percolato

La ricerca e la verifica della presenza di percolato nel corpo dei rifiuti, ipotizzabile sulla base dei rilievi geolettrici condotti nella precedente fase, ha costituito uno degli obiettivi principali delle nuove indagini integrative svolte nel maggio 2016. Tutti gli elementi acquisiti evidenziano, concordemente l'assenza di percolato nei vari settori costituenti l'ammasso nel suo complesso:

- I sondaggi a carotaggio hanno attraversato l'intero spessore dell'accumulo dalla copertura superiore all'orizzonte di riporti con funzione di piano di appoggio posto immediatamente a contatto con il rivestimento di fondo e al di sopra di questo. Numero di verticali (n. 6), distribuzione areale, profondità investigate (da 9 a 19 m), elevata qualità del carotaggio e costante verifica delle modalità di perforazione, fanno ritenere la campagna effettivamente rappresentativa delle condizioni dell'accumulo. **In nessun tratto di perforazione è stata riscontrata la presenza di percolato**.
- Le sezioni geolettriche rilevate interessano secondo diverse direttrici l'intero accumulo. L'impostazione della prospezione finalizzata specificatamente all'individuazione, tra l'altro, di eventuali fluidi ad elevata conducibilità, ha comportato un'accurata definizione nella geometria degli stendimenti elettrici e in un'accurata taratura del modello di elaborazione sulla base del controllo puntuale fornito dalle perforazioni all'interno dei rifiuti (S 10 ÷ S 15) e alla base dell'accumulo (S 9), alo scopo di evitare effetti di "deformazione" del modello interpretativo derivanti da indeterminazioni nei vincoli al contorno. **In nessuno dei profili rilevati si riscontrano valori di resistività elettrica riferibili a percolato**.
- L'associazione del rilievo geolettrico alla misura della polarizzazione indotta (IP) fornisce un ulteriore strumento di verifica. Nell'ambito del corpo della discarica **il campo di valori di IP è sempre prossimo allo zero, ovvero caratteristico di totale assenza di percolato**. Modestissimi valori di IP sono osservabili, localmente, solo nell'ambito dei terreni di copertura superficiali. Valori di IP più elevati sono stati rilevati solo a profondità significativa, ben al di sotto della base della discarica, all'interno del substrato lapideo. Questi valori corrispondono, tuttavia, a un'elevata resistività elettrica e, di conseguenza, non sono attribuibili alla presenza di percolato. Tale anomalia di polarizzazione indotta è chiaramente, quindi, riconducibile ad un'origine primaria (litogenetica), e non ha alcuna attinenza con l'attività di discarica.

Per comprendere le cause che hanno portato, nella precedente indagine geolettrica (2015), ad evidenziare la possibile presenza di percolato all'interno e al di sotto della base della discarica è stata condotta, inoltre, una revisione dei profili tomografici elaborati in quella sede. Pur tenendo conto di alcune differenze sostanziali tra i parametri di acquisizione utilizzati nelle due campagne di indagini, differenze dovute alla necessità di integrare e approfondire i modelli costitutivi del sottosuolo, è possibile evidenziare i seguenti aspetti.

Le sezioni geoelettriche definite nella prima campagna di indagini evidenziano, ed esaltano, soprattutto i livelli a bassa resistività elettrica legati alla presenza delle ceneri di carbone. In assenza del parametro Polarizzazione indotta (IP), e per la scelta di una scala di valori molto estesa (da 0 a oltre 6000 ohm.m), risulta di notevole difficoltà definire i principali limiti geometrici della discarica nel suo complesso. Le importanti zone di anomalia individuate che si approfondiscono in modo rilevante verticalmente, sono correlabili ad un "effetto bordo". Ovvero la presenza di anomalie di resistività in posizione di bordo sezione che non convergono verso l'elaborazione di un modello realistico, ma portano a simulare la presenza di corpi a bassissima resistività, riferibili "apparentemente" alla presenza di importanti accumuli di percolato.

In definitiva, tutti gli elementi acquisiti con le nuove indagini, e la stessa revisione dei precedenti rilievi geolettrici, portano ad escludere la presenza di percolato nell'ambito dell'abbancamento di rifiuti esistente.

9.2 Verifica dei terreni d'imposta e della presenza di percolato alla base della discarica esistente

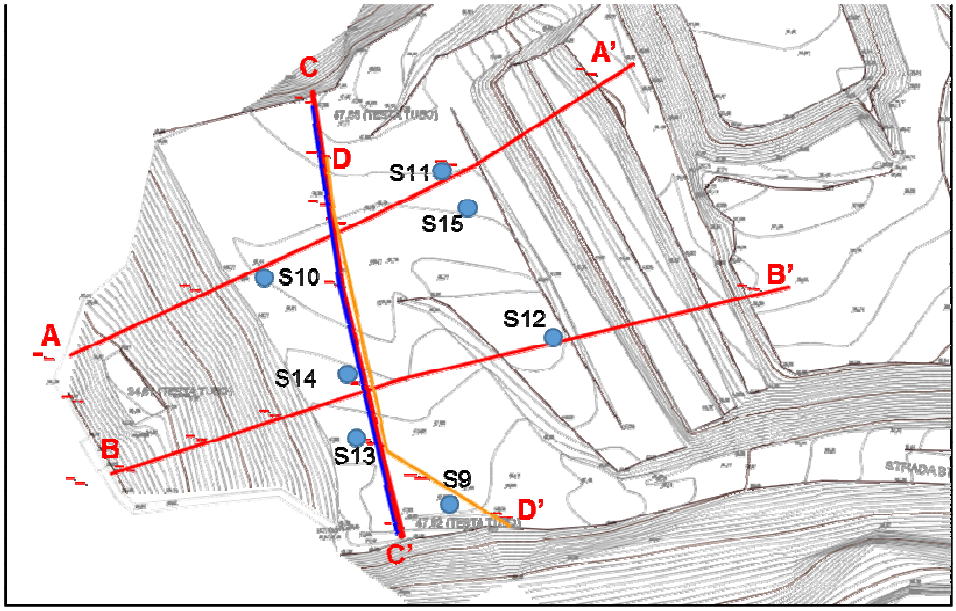
Per un'ulteriore verifica della natura dei terreni di appoggio e della possibile presenza di accumuli di percolato al di sotto dei rifiuti depositati, sempre segnalata dai precedenti rilievi geolettrici, sono stati condotti rilievi geosismici a rifrazione in onde di taglio e con il metodo MASW secondo la sezione C – C' disposta secondo lo sviluppo dell'abbancamento. Tale sezione risulta trasversale alla morfologia preesistente e consente, quindi, di indagare l'assetto della vallecola sottostante, dai versanti laterali all'originaria incisione.

A partire dal versante sud, inoltre, è stato perforato il sondaggio S 9, secondo un'inclinazione di 45° e con sviluppo lineare di 61,5 m. La perforazione ha raggiunto a fondo foro la quota di circa 5 m slm. Il suo sviluppo consente di verificare direttamente l'assetto del sottosuolo nelle immediate vicinanze dell'abbancamento, a circa 2 ÷ 3 m dal rivestimento laterale individuato in superficie. La stratigrafia riscontrata evidenzia, al di sotto di materiali di riporto relativi alla sistemazione della banca laterale dell'accumulo di rifiuti e alla sovrastante pista di servizio (3,3 m secondo l'assetto inclinato del sondaggio), la zona di alterazione superficiale del substrato (sino a 5,2 m) e quindi il passaggio all'unità delle Quarziti e filladi, costituenti un ammasso lapideo diffusamente fratturato (RQD determinabile solo localmente, con valori = 20 ÷ 30 %.

La perforazione per l'intero sviluppo risulta impostata totalmente nelle Quarziti e filladi, data la sua posizione immediatamente a ridosso del margine laterale della discarica, è da ritenere che la superficie laterale e basale di appoggio dell'accumulo di discarica esistente sia rappresentata

con continuità dall'orizzonte di alterazione del substrato, se non dalla roccia con caratteristiche di ammasso lapideo diffusamente fratturato.

I rilievi geosismici condotti lungo le Sezioni C – C' e D – D' (Fig. 9.6) consentono, da un lato di estendere la ricostruzione dei terreni di appoggio a entrambi i versanti della vallecola preesistente, dall'altro di caratterizzare anche sotto l'aspetto geofisico l'ammasso roccioso costituente il substrato locale subaffiorante a limitata profondità.



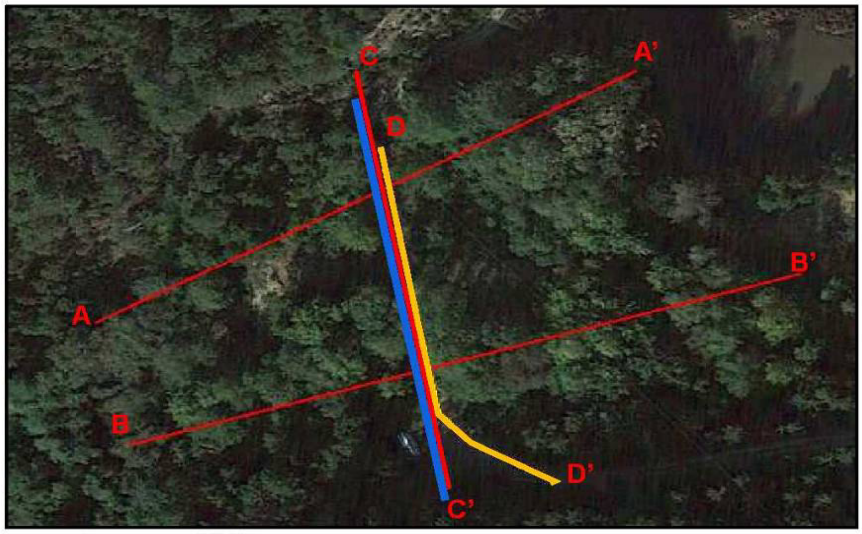


Immagine aerea 2015

A A' Traccia stendimento geoelettrico (ERT)

C C' Traccia sezione sismica in onde S (SIS)

D D' Traccia sezione sismica MASW2D

N

0 25 50 75 m

Figura 9.6 – Ubicazione del sondaggio inclinato S9, perforato al margine laterale della discarica, e delle sezioni geosismiche C – C' e D – D' rilevate trasversalmente all'orientazione della morfologia pre-esistente.

La sezione sismica a rifrazione è stata eseguita in sovrapposizione alla sezione geoelettrica C-C', allo scopo di localizzare il contatto tra il corpo discarica e il substrato lapideo. Il modello tomografico di velocità delle onde di taglio è riportato nella Fig. 9.7. Il modello stratigrafico che emerge dall'analisi dei dati sismici evidenzia chiaramente la presenza di un evidente rifrattore basale, sottolineato da un elevato gradiente di velocità delle onde di taglio, che segue nell'insieme l'andamento della isotaca 800 m/s, corrispondente con il passaggio al substrato lapideo.

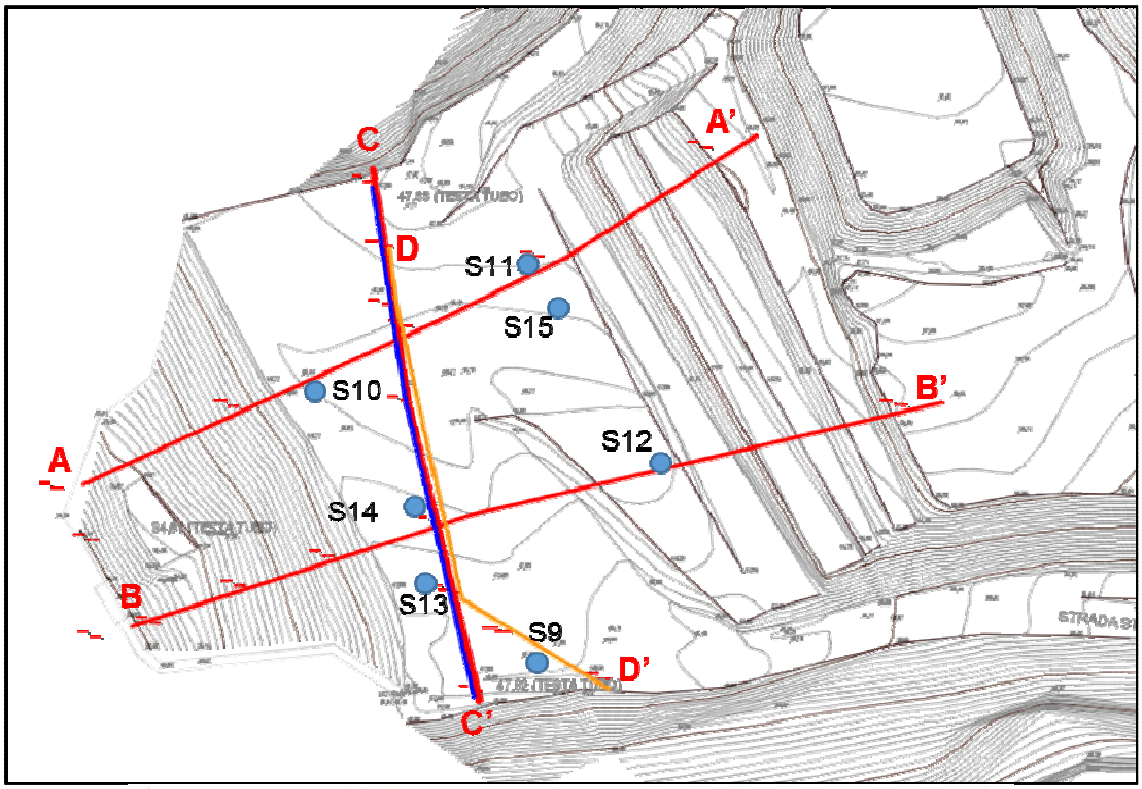
Per ovviare alle note problematiche del metodo sismico a rifrazione, che riconosce solo passaggi stratigrafici con velocità crescente, in corrispondenza della sezione C-C' è stata eseguita un sezione MASW 2D (sezione D-D', in Fig. 9.7). Data la differente modalità di acquisizione non è stato possibile sovrapporre perfettamente le due sezioni. Si sottolinea il fatto che la velocità delle onde di taglio rilevata con metodo MASW2D risulta lievemente inferiore a quella rilevata con metodo sismico a rifrazione (circa il 10-15 % in meno). L'analisi del profilo MASW2D, svolta congiuntamente alla sezione sismica a rifrazione, pur rilevando un assetto stratigrafico d'insieme congruente, evidenzia una più dettagliata caratterizzazione del corpo rifiuti e del substrato lapideo.

In definitiva lungo l'intera sezione trasversale alla morfologia originaria, la stratigrafia ottenuta con il sondaggio inclinato, come pure i rilievi geosismici in onde di taglio evidenziano, subito al di sotto del limite dell'abbancamento, la presenza del substrato locale costituito delle Quarziti e filladi. La superficie limite di passaggio all'ammasso diffusamente fratturato ma con comportamento di tipo lapideo, chiaramente identificato dall'isotaca Vs > 800 m/s, si individua già a pochi m dalla superficie di appoggio laterale e inferiore dell'accumulo.

Verifica della presenza di percolato nell'ammasso roccioso

Durante la perforazione particolare attenzione è stata posta nella verifica della possibile presenza di sacche di percolato impregnante la roccia al di sotto della discarica. Le osservazioni sono state condotte continuativamente durante l'avanzamento, esaminando sia l'aspetto della roccia recuperata con i carotaggi, sia le qualità macroscopiche del fluido di perforazione per evidenziare eventuali alterazioni o mescolamenti da parte di liquidi estranei. Lungo l'intero sviluppo del sondaggio (61,5 m) non è stata rilevata alcuna evidenza di tracce di percolato impregnanti l'ammasso roccioso o miscelatesi al fluido di perforazione.

In fase di avanzamento, inoltre, si è proceduto in corrispondenza della base della discarica e a fondo foro, allo svuotamento completo del foro per verificare la presenza di eventuali filtrazioni di percolato, nonché di circolazione idrica al disopra della superficie piezometrica.



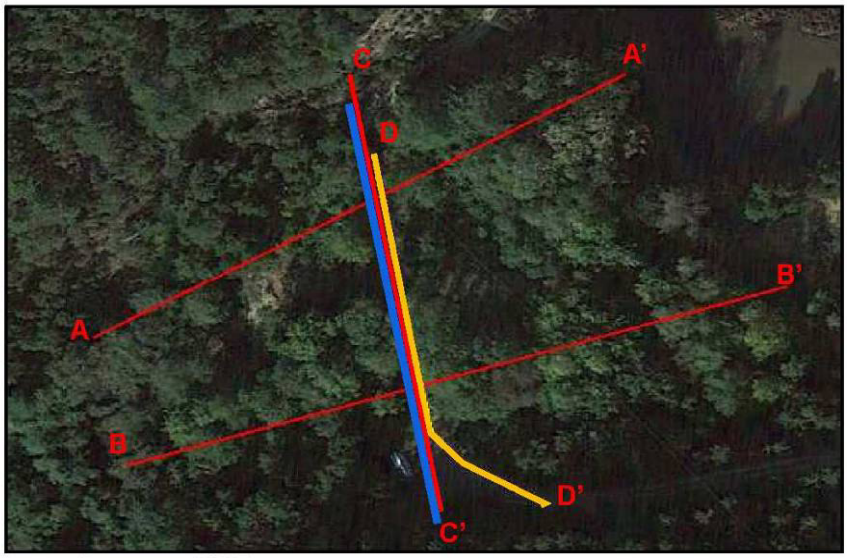


Immagine aerea 2015

A A' Traccia stendimento geoelettrico (ERT)

C C' Traccia sezione sismica in onde S (SIS)

D D' Traccia sezione sismica MASW2D

N

0 25 50 75 m

Figura 9.1 – Ubicazione schematica dei sondaggi e dei rilievi geofisici eseguiti in corrispondenza dell'abbancamento di rifiuti esistente.

La disposizione degli stendimenti geofisici è stata definita in relazione agli obiettivi dell'indagine. Nello specifico si sono individuate due sezioni geoelettriche (A-A' e B-B'), parallele tra loro, che potessero analizzare la zona secondo la direzione SO-NE, trasversale rispetto all'abbancamento complessivo, una terza sezione geoelettrica (C-C') è stata eseguita circa perpendicolarmente alle precedenti. In corrispondenza della traccia di quest'ultima sezione sono state eseguite anche una sismica a rifrazione in onde di taglio e una sezione MASW 2D che, per ragioni di spazio, limitanti il traino dello stendimento mobile di geofoni risulta leggermente curvata all'estremità sud. Per i dettagli sulle metodologie e le strumentazioni impiegate si rimanda al Rapporto della Ditta specializzata TechGea srl inserito nell'elab. R04 Fascicolo indagini – Addendum 1, rev. 2.

Sulla base dell'elaborazione preliminare dei rilievi geoeletttrici si è proceduto alla distribuzione e localizzazione puntuale dei sondaggi ambientali. Posizioni e profondità d'indagine sono stati tarati tenendo conto, inoltre, della geometria dell'accumulo, della configurazione del fondo rilevabile dagli elaborati di progetto originari, nonché dell'individuazione in sito dei teli di rivestimento affioranti e dei condotti idraulici di fondo. In questo modo è stato possibile spingere le indagini sino alla base dei corpi di rifiuto, raggiungendo gli strati di riporto posti alla base per regolarizzare il piano di imposta, senza tuttavia raggiungere e tanto meno danneggiare i sistemi di impermeabilizzazione di fondo.

I profili interpretativi di sottosuolo ottenuti sulla base dei modelli tomografici di resistività elettrica e polarizzazione indotta (IP) sono illustrati nelle Fig. 9.2 ÷ 9.5.

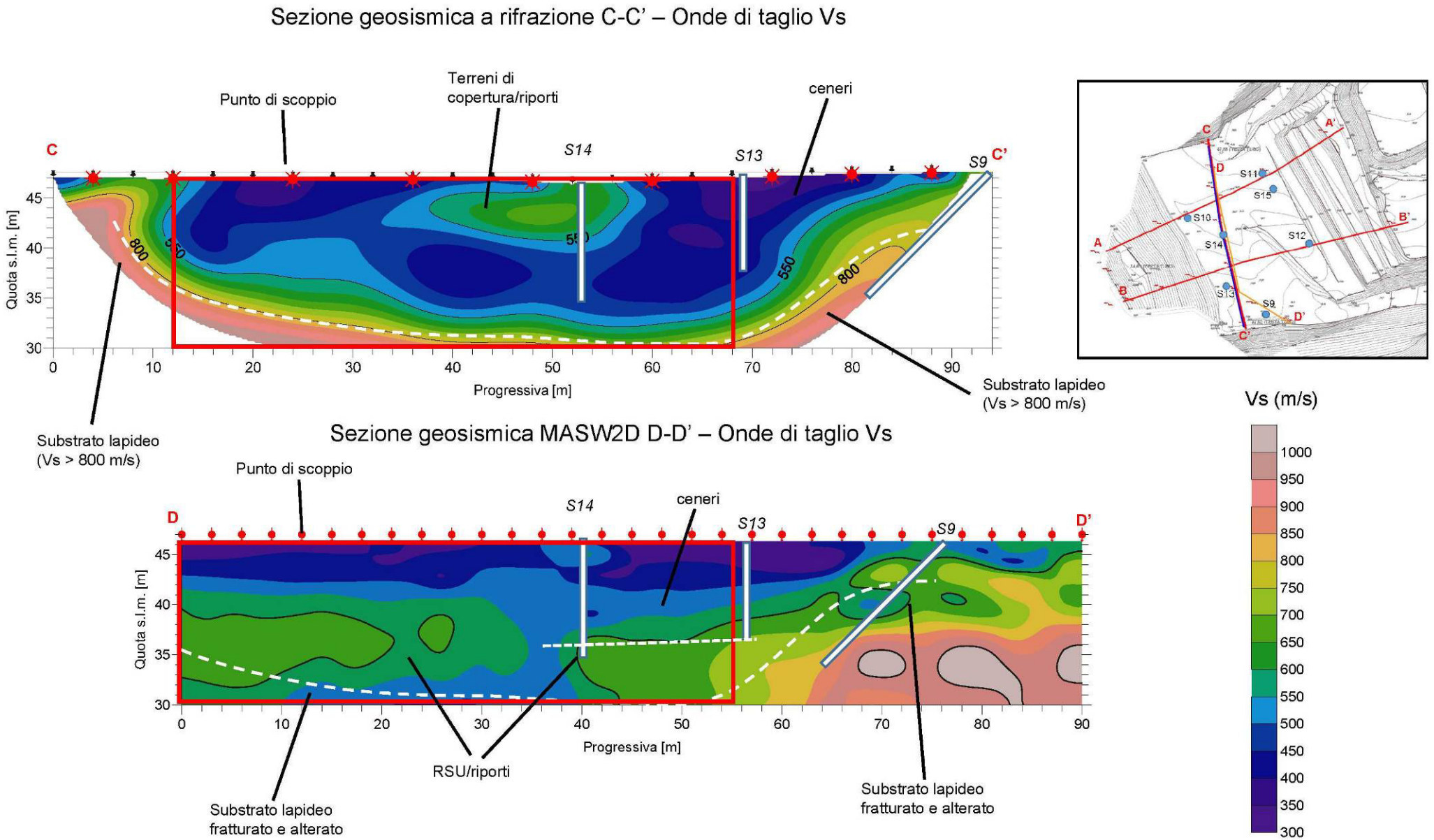


Figura 9.7 – Sezioni geosismiche C – C' (profilo a rifrazione in onde di taglio) e D - D' (profilo MASW2D in onde di taglio).

Come indicato in precedenza, il foro ad eccezione del tratto iniziale è stato realizzato senza impiego del rivestimento provvisorio. In corrispondenza della quote prescelte, una volta sospesa la perforazione si è proceduto allo svuotamento completo del foro tramite elettropompa sommersa, al suo accurato lavaggio con acqua potabile e successivo svuotamento, alla verifica tramite emungimento e videoispezione con telecamera delle pareti del foro. Tali operazioni sono state condotte una volta giunti allo sviluppo del foro rispettivamente di 41,5 m e 61,5 m dal p.c (fondo foro). In entrambi i casi, non è stata rilevata alcuna presenza di percolato, né come fase liquida affluita nel foro, né in termini di tracce di filtrazione rilevabili lungo l'intero sviluppo della perforazione nel tratto al di fuori della falda.

9.3 Stato dell'ammasso roccioso in posto

La scelta di una Ditta di indagini geognostiche di prim'ordine, in ambito sia nazionale che estero, quale la soc. RCT srl, ha consentito l'esecuzione del sondaggio inclinato S9 con elevati standard qualitativi, aspetto particolarmente importante in relazione alle caratteristiche delle litologie presenti nel sito. E' stato così possibile ottenere un carotaggio di lunghezza significativa (61,5 m) rappresentativo dell'effettivo stato dell'ammasso roccioso in posto. L'ubicazione della perforazione consente, tra l'altro, di verificare direttamente sia i terreni di imposta della vecchia discarica, sia l'assetto dei versanti afferenti alla morfologia originaria. I profili geofisici rilevati nelle immediate vicinanze consentono, inoltre, la definizione dei valori di velocità delle onde sismiche rappresentativi per il deposito di rifiuti, l'alterazione del substrato e l'ammasso lapideo.

L'elevata qualità del sondaggio ha consentito il recupero integrale dei carotaggi (% = 100 %) e la definizione, in alcuni tratti, anche del parametro RQD, che assume valori compresi tra 20 ÷ 50 %. L'assetto della roccia in sito è ben osservabile in fase di estrazione dei carotaggi dal carotiere T6S appena recuperato dal foro. Alcuni esempi sono riportati nelle foto seguenti.

Figure 9.8 (*a seguire)* **–** Sondaggio inclinato S9, estrazione del carotaggio dal carotiere doppio T6S. Il diametro di perforazione è pari a 130 mm. La lunghezza di una manovra completa è di 1,6 m.


INIZ.
INIZ. CAR. T6-S
I.P.N. 5,20






RCT-CONN: ACAM AMBIENTE




CASSA 1







Un esame ulteriore dello stato dell'ammasso roccioso in posto è stato reso possibile dall'esecuzione del sondaggio profondo S 9 senza l'utilizzo del rivestimento metallico provvisorio. In questo modo, insieme all'accertamento dell'assenza di circolazione idrica al di sopra della falda basale nonchè di qualsiasi traccia di filtrazione di percolato, è stata condotta tramite video-ispezione un'analisi visiva diretta dell'intera perforazione. Date le dimensioni informatiche (> 1 Gbyte), la ripresa video completa è inserita nella documentazione trasmessa, all'interno del file relativo al Rapporto Fascicolo delle indagini geotecniche e geofisiche – Addendum 1 (elab. R04 rev 02). A titolo illustrativo, alcune immagini estratte dal video, e rappresentative di diverse profondità sono riportate nelle Figure 9.9.

Lungo l'intera perforazione l'ammasso roccioso per quanto interessato da più sistemi di discontinuità, relativi sia a giunti di strato che a fratturazione, risulta compatto, con le discontinuità serrate o chiuse. I riempimenti delle discontinuità e le stesse intercalazioni incoerenti derivanti dall'alterazione in ambiente idrotermale dei corpi pelitici si presentano compatti e signifiativamente addensati. L'aspetto notevolmente regolare della parete del foro, o addirittura quasi "levigato", con assenza di distacco di frammenti di roccia e tanto meno scavernamenti conferma macroscopicamente, e su uno sviluppo signifcativo (varie decine di metri) tali caratteristiche.

Gli aspetti evidenziati confermano, nell'insieme, il modello interpretativo del comportamento dell'ammasso posto a base del Modello geotecnico descritto nella Relazione specifica (elab. R05 rev 02), costituito da un materiale originariamente con proprietà lapidee, diffusamente fratturato, con riempimenti e intercalazioni di materiali fini. Le proprietà meccaniche dell'ammasso, significativamente inferiori a quelle della roccia originaria, sono descrivibili in termini di parametri complessivi dell'ammasso improntati dalla presenza di una frazione fine frammista allo scheletro di blocchetti lapidei.

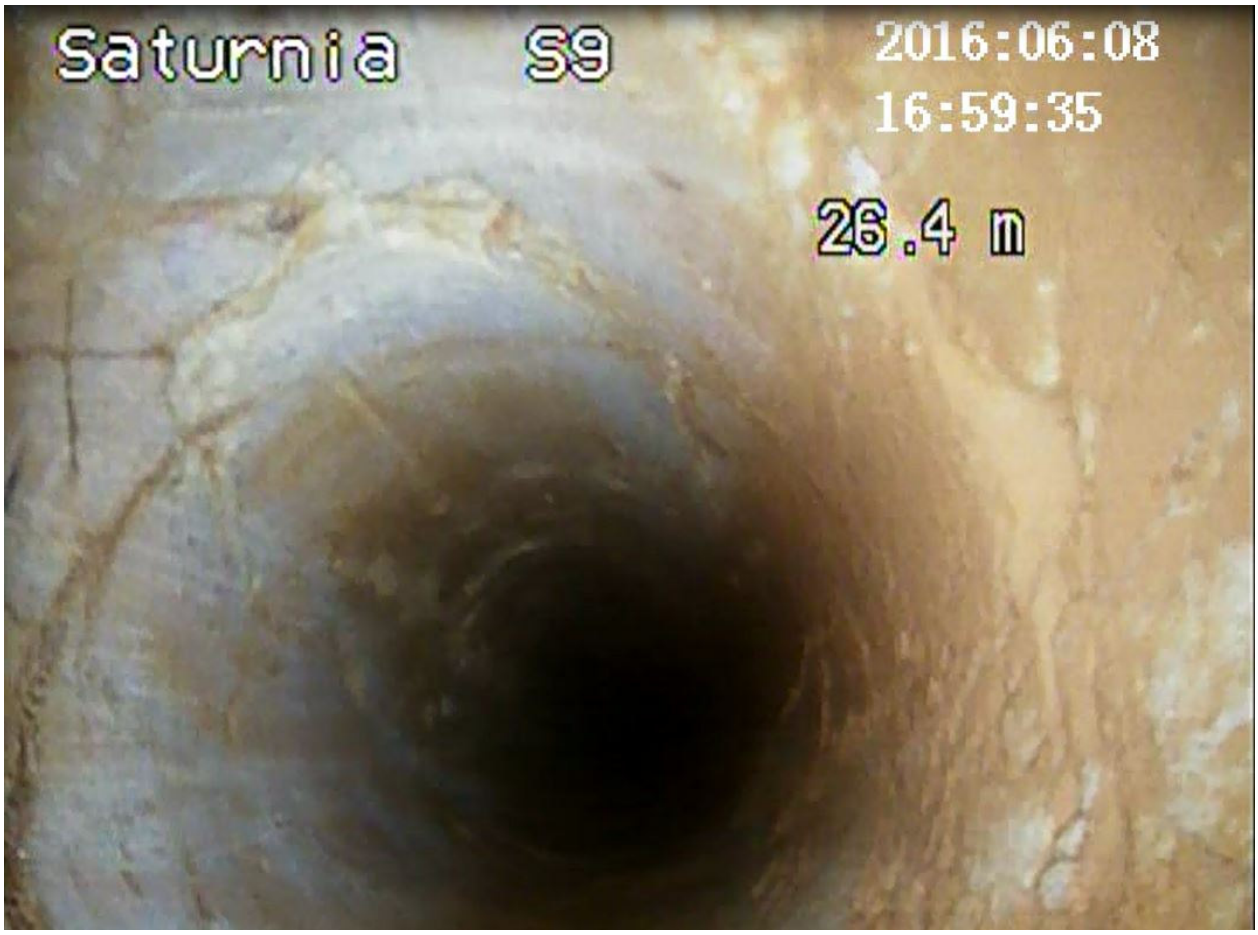
Figure 9.9 (*a seguire)* – Sondaggio inclinato S9, ripresa con telecamera della perforazione nel tratto fuori falda. Al di sotto del tratto più prossimo alla superficie, l'ammasso per quanto alterato e diffusamente fratturato risulta compatto, con discontinuità serrate e colmate di riempimento. Le pareti della perforazione per l'intero sviluppo sono risultate stabili, tanto da consentire l'avanzamento senza l'impiego del rivestimento provvisorio, anche nel corso delle operazioni di svuotamento e lavaggio del foro. La colorazione diversa rilevabile su una parete del foro è dovuta al trascinamento dell'attrezzatura di pompaggio utilizzata per lo svuotamento del foro dal fluido di perforazione.

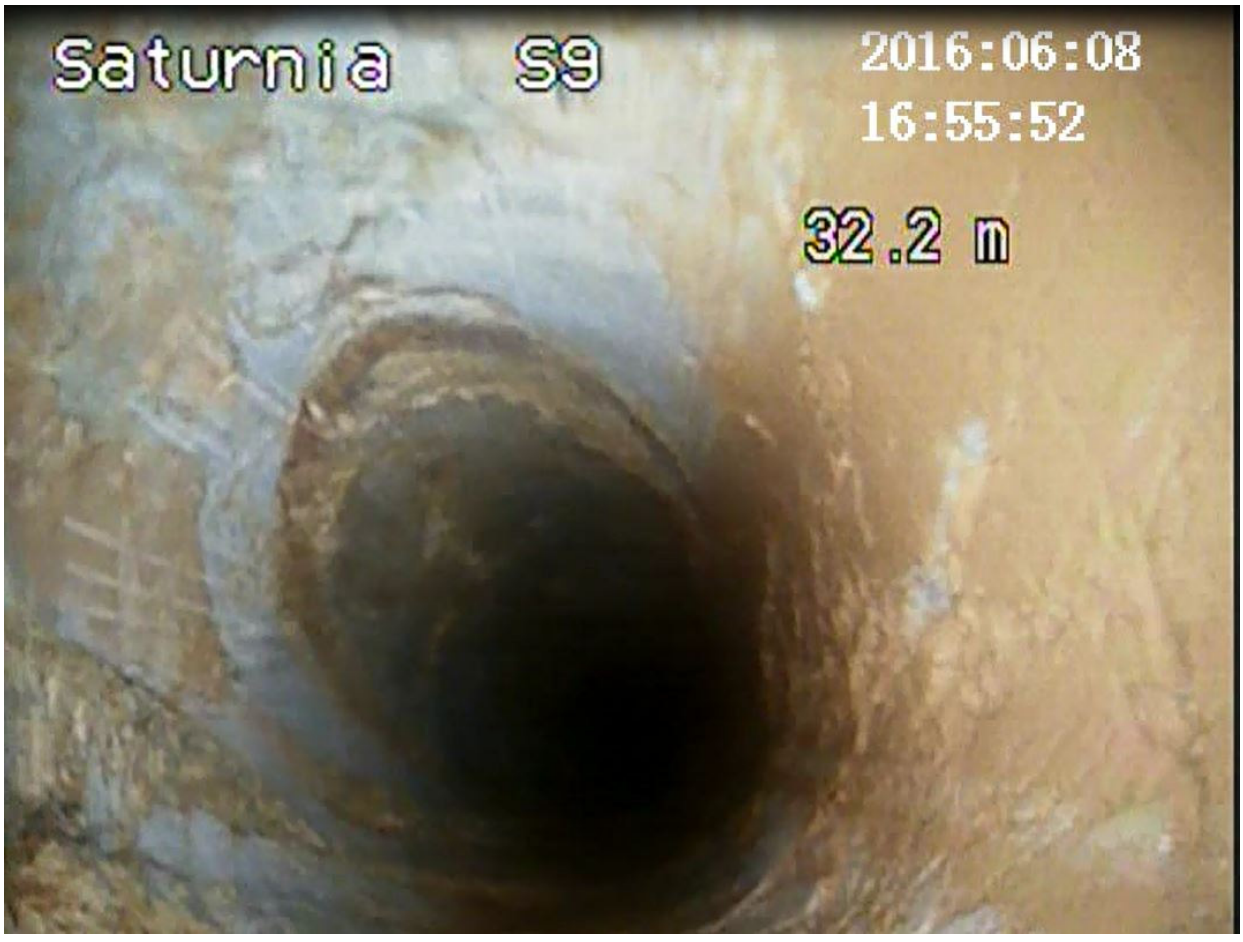

Saturnia S9
2016:06:08
17:12:23
8.5 m

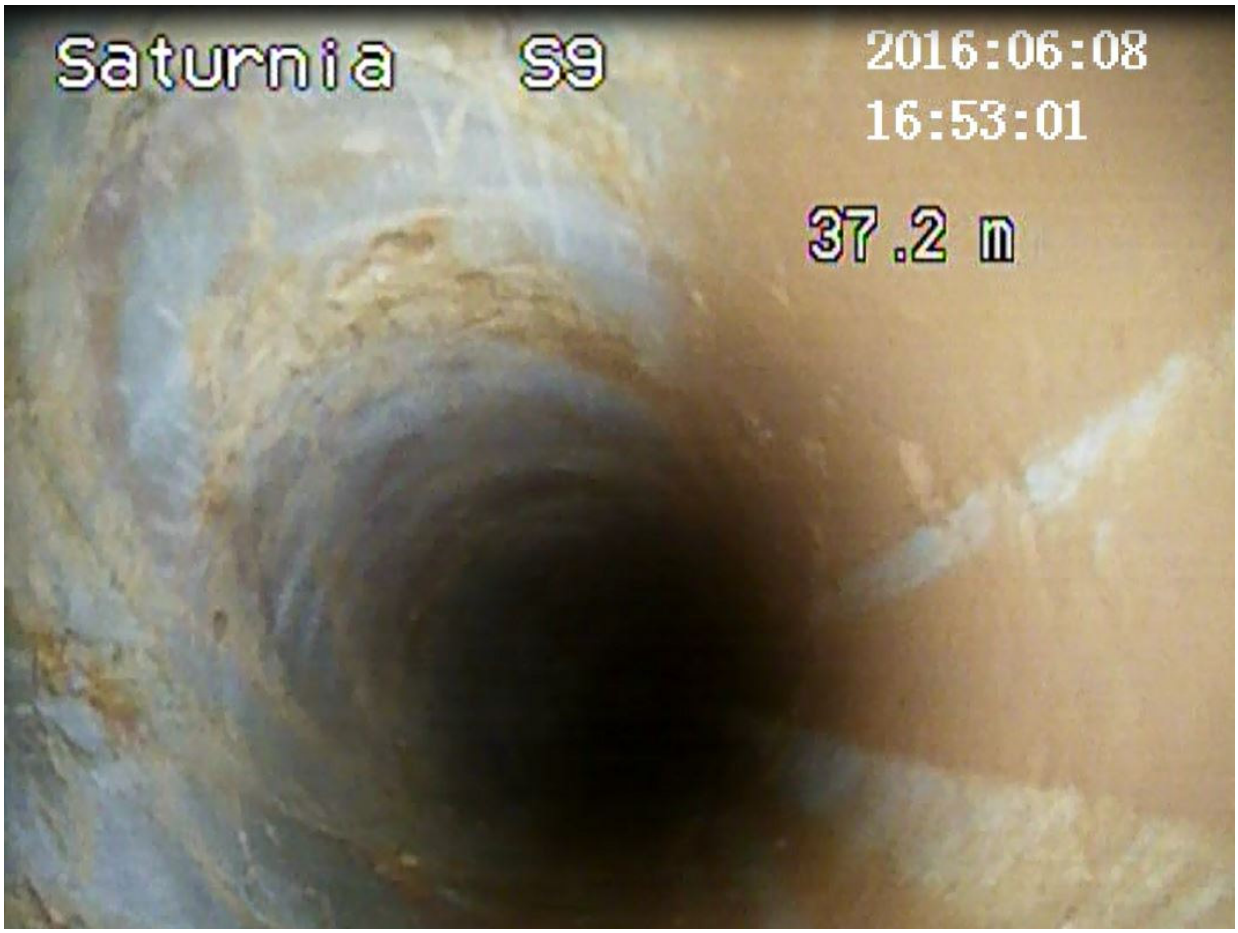

Saturnia S9
2016:06:08
17:11:00
11.2 m


Saturnia S9
2016:06:08
17:06:19
17.4 m


Saturnia S9
2016:06:08
17:01:20
24.3 m


Saturnia S9
2016:06:08
16:59:35
26.4 m


Saturnia S9
2016:06:08
16:55:52
32.2 m


Saturnia S9
2016:06:08
16:53:01
37.2 m


Saturnia S9
2016:06:08
16:52:08
38.1 m

L'analisi complessiva dei rilievi geofisici acquisiti nell'area di progetto consente di evidenziare:

- l'unità delle Quarziti e filladi, costituente il substrato locale, al di sotto dell'oriszzonte superficiale di alterazione (generalmente dello spessore di pochi metri) è caratterizzata da velocità delle onde di taglio Vs > 800 m/s (sondaggio S 9, profilo a rifrazione onde S). Il termine, per quanto eterogeneo e diffusamente fratturato, è classificabile quindi come un ammasso lapideo;
- i rilievi Down-hole (S2 DH e S4 DH) consentono di verificare sugli stessi termini litologiici in modo puntuale la correlazione esistente tra velocità di propagazione delle onde P ed S, parametro soggetto a grande variabilità in quanto strettamente dipendente dalla natura e dalle condizioni dell'ammasso (in generale Vp/Vs può spaziare da 1,4 a oltre 2,5). Nel caso specifico il rapporto Vp/Vs assume valori compresi tra 1,54 e 1,67;
- i dati di confronto diretto tra le velocità Vp e Vs in corrispondenza dei rilievi Down-hole, unitamente alla correlazione tra i profili a rifrazione in onde di compressione (relativi ai rilievi 2015) e il nuovo profilo in onde di taglio (2016) consente di associare l'isotaca Vs = 800 m/s – rappresentativa del passaggio ad un ammasso a comportamento lapideo – all'isotaca 1100 ÷ 1300 m/s per le onde di compressione. Tale assunzione è confermata dalla "morfologia" assunta da questo intervallo di velocità nei profili a rifrazione in onde P, caratterizzata generalmente da un netto gradiente di velocità ben differenziabile dalle zone circostanti.

Sulla base del complesso di elementi acquaiti, il comportamento delle unità di interesse nei confronti delle velocità di propagazione delle onde sismiche è così schematizzabile:

- <u>Abbancamento di rifiuti esistente:</u> Vp = 400 ÷ 1000 m/s, Vs = 250 ÷ 500 m/s;
- <u>Riporti:</u> Vp = 500 ÷ 700 m/s, Vs = 250 ÷ 400 m/s;
- <u>Alterazione superficiale substrato:</u> Vp = 700 ÷ 1300 m/s, Vs = 400 ÷ 800 m/s;
- <u>Substrato lapideo fratturato:</u> Vp = 1100 ÷ 2000 m/s, Vs = 800 ÷ 1200 m/s.

9.4 Caratterizzazione dei materiali antropici e delle unità geologiche interessate dall'intervento in progetto

La realizzazione dell'intervento interessa la successione di terreni costituente il volume di sottosuolo significativo, descritta nel *Cap*. 6, nonchè i materiali antropici abbancati in più fasi e di cui è prevista la completa rimozione e collocazione. Nel Cap. è svolta la caratterizzazione dei termini individuati per gli aspetti geologico-tecnici e idrogeologici sulla base dell'analisi complessiva delle indagini geognostiche e geofisiche precedentemente disponibili e dei nuovi elmenti forniti dalle campagne integrative. Per la definizione del comportamento geotecnico dei terreni e dei materiali, la classificazione merceologica dei rifiuti e la loro possibile ricollocazione si rimanda alel rispettive Relazioni specialistiche.

Nell'ambito dell'area di intervento significativa per l'esecuzione dei "Lavori di messa in sicurezza permanente e realizzazione del nuovo impianto" è presente, nel complesso, una successione di terreni e rocce in posto a cui risultano sovrapposti materiali eterogenei di origine antropica. Nel complesso la sequenza comprende i seguenti termini:

Materiali antropici

- abbancamento relativo alla discarica esistente;
- riporti;

Successione litologico-stratigrafica

- coltre detritica;
- alterazione superficiale del substrato roccioso;
- substrato locale in posto (unità delle Quarzti e filladi).

Materiali antropici

Abbancamento discarica esistente

L'accumulo di discarica esistente costituisce un ammasso di materiali incoerenti a composizione eterogenea e comportamento complesso. Nel suo ambito le nuove indagini 2016 consentono di distinguere, a partire dalla sommità del deposito posta alla quota di circa 47 m slm, i seguenti termini:

- Terreno di copertura. Sabbia limosa inglobante localmente ghiaia.
- Ceneri di carbone, a granulometria sabbioso-limosa (valori Nspt = 5 ÷ 10 colpi/30 cm), a tratti frammiste a riporti ghiaioso-sabbiosi (Nspt = 10 ÷ 25 colpi/30 cm, loc. a Rifiuto). La permeeabilità, per porosità, assume valori relativi ricadenti nel campo dei terreni

scarsamente permeabili. Prove di permeabilità in cella triassiale hanno fornito valori di k = = $10^{-7} \div 10^{-10}$ m/s (campioni prelevati nel sondaggio S4 DH).

- Interstrato bentonitico. Spessore variabile da 0,7 m a oltre 2,5 m..
- Rifiuti solidi urbani mineralizzati (Nspt = 5 ÷ 10 colpi/30 cm).
- Riporti. Ghiaie, ciottoli e scaglie di roccia quarzitica.in matrice sabbioso-limosa.
- (Nspt = 25 ÷ 30 colpi/30 cm, loc. a Rifiuto).

L'abbancamento nel suo complesso è caratterizzato da campi di velocità delle onde sismiche: Vp = 400 ÷ 1000 m/s, Vs = 250 ÷ 500 m/s (profili a rifrazione in onde P (2015) e in onde S (2016); rilievo Down-hole S4 DH).

Riporti

Ghiaie e ciottoli di natura quarzitica a elementi spigolosi in matrice sabbioso-limosa. Stato del deposito da poco a mediamente addensato. Valori di Nspt = 10 ÷ 15 colpi/30 cm. Il campo di velocità caratteristico delle onde sismiche assume valori: Vp = 500 ÷ 700 m/s; Vs = 250 ÷ 400 m/s (rilievo Down-hole S2 DH).

<u>Unità litologico-stratigrafiche</u>

Coltre detritica

Ghiaie e clasti con elementi spigolosi a composizione quarzitica frammisti ad una matrice fine sabbioso-limosa di colore giallo chiaro. Presenza localmente di limi debolmente argillosi di colore marrone-ocraceo derivanti dall'alterazione della componente filladica. Permeabilità primaria per porosità con valori relativi bassi (terreno scarsamente permeabile). Prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc hanno fornito valori di k = $10^{-6} \div 10^{-8}$ m/s.

Alterazione superficiale del substrato roccioso

Orizzonte degradato affiorante e/o subaffiorante. Ammasso alterato e diffusamente fratturato, in prossimità della superficie con discontinuità aperte o parzialmente riempite da terreni fini derivanti dall'alterazione degli interstrati pelitici.

Valori di Nspt = da 30÷50 colpi/30 cm, a Rifiuto. Velocità onde sismiche: Vp = 700 ÷ 1300 m/s; Vs = 400 ÷ 800 m/s (rilievi Down-hole S2 DH, S4 DH).

Sulla base dei nuovi rilievi sismici 2016 in onde di taglio, nonchè della revisione critica dei precedenti rilievi geofisici (2015) in foro (Down-hole) e di superficie (profili a rifrazione in onde

P) il limite di passaggio tra l'orizzonte di alterazione affiorante e il substrato con caratteristiche di ammasso lapideo fratturato è individuabile in corrispondenza dei campi di velocità

Vp > 1100÷1300 m/s, Vs > 800 m/s.

Quarziti e filladi

Quarziti a grana da medio-grossolana a fine, fittamente stratificate in livelli di spessore centimetrico-decimetrico. Presenza di interstrati metasiltitici/filladici varicolori, con spessore generalmente centimetrico, o più raramente costituenti corpi di spessore metrico inglobanti livelli di quarzite fratturata. La sequenza è diffusamente tettonizzata e alterata a seguito anche dell'interazione con fenomeni idrotermali. La componente quarzitica è interessata da una fratturazione intensa e pervasiva con suddivisione dell'ammasso in blocchetti litici. L'interazione con la circolazione idrotermale ha determinato una profonda alterazione delle porzioni filladiche trasformate in lenti e livelli di terreni limosi o sabbioso-limosi, solo localmente debolmente argillosi, di colore marrone-rossastro.

Le caratteristiche dell'ammasso rendono estremamente difficoltoso il campionamento delle alternanze di litotipi con le metodologie di perforazione ordinarie, sino a dissimulare la presenza di una macroporosità diffusa. L'adozione di metodologie specifiche consente il recupero pressoché integrale dei carotaggi, pari al 100 % (nuove indagini 2015 – Ottobre e 2016), e la verifica dell'assenza di macroporosità diffusa (videoispezione foro scoperto S9).

La permeabilità complessiva dell'ammasso è controllata dalla porosità secondaria per fratturazione, caratteristica delle porzioni quarzitiche litoidi, a cui è associata una permeabilità per porosità, sempre di tipo sovraimposto, dovuta alla presenza della frazione fine costituente il riempimento delle discontinuità e gli orizzonti pelitici profondamente alterata dai fenomeni di circolazione idrotermale. Prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc e Lugeon hanno fornito valori ricadenti nel campo delle rocce scarsamente permeabili ($k = 10^{-6} \div 10^{-8}$ m/s).

Indice RQD % generalmente = 0 %. Le indagini di migliore qualità (2015-16) hanno rilevato localmente valori di RQD = 20 ÷ 50 % nei tratti meno fratturati.

Velocità onde sismiche: Vp = 1100 ÷ 2000 m/s, localmente 2000 ÷ 2400 m/s; Vs = 800 ÷ 1200 m/s (rilievi Down-hole S2 DH, S4DH; rilievo SIS 2016).

Sulla base della caratterizzazione geologico-tecnica e idrogeologica descritta si è proceduto all'analisi complessiva delle indagini geognostiche e geofisiche acquisite nelle varie fasi. Il Modello geologico interpretativo elaborato per il volume significativo di sottosuolo è illustrato nei Profili geologico-idrogeologici rappresentati nelle Tav. D.02.04 ÷ D.02.10.

10. SISMICITA' DEL TERRITORIO

10.1 Normativa di riferimento

L'intervento ricade interamente nel territorio comunale di La Spezia inserito, sulla base dei "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone*" conseguente all'O.P.C.M. n. 3274 del 2003, nella Zona 3 corrispondente ad aree con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

La progettazione geologica e geotecnica delle opere è stata eseguita secondo i nuovi criteri in materia di Classificazione sismica del territorio, Norme tecniche per le costruzioni, Realizzazione di opere in aree sismiche, espressi con la recente normativa incentrata sui principali riferimenti di seguito indicati:

- O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e Documenti allegati, con le s.m.i.;
- O.P.C.M. n° 3519 del 28 aprile 2006 "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone",* che ha ridefinito i criteri generali e la nuova mappa di pericolosità sismica;
- D.M. 14/01/2008 *Norme tecniche per le costruzioni*, con la relativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 "*Istruzione per l'applicazione delle nuove norme tecniche sulle costruzioni"*;
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 16 maggio 2003, n. 530, "*Individuazione formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dei comuni della Regione Liguria*", in ottemperanza al disposto di cui all'O.P.C.M. n. 3274/2003;
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 24 ottobre 2008, n. 1308, "*O.P.C.M. n. 3519/2006 Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*";
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 19 novembre 2010, n. 1362, "*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*.

La significativa revisione nelle procedure conseguente all'adeguamento delle Normative allo stato dell'arte tecnico-scientifico ha comportato, tra l'altro un sostanziale mutamento dello sviluppo progettuale nei confronti della sismicità. Dall'approccio di tipo esclusivamente "zonale", basato sulla suddivisione del territorio in categorie con diverso grado di sismicità, definite in modo pressoché empirico (classificazione antecedente al 2003), si è passati ad una metodologia sito-

specifica che, partendo dal valore di accelerazione massima al suolo definita su base probabilistica tiene in debita considerazione l'assetto litologico-stratigrafico, i possibili effetti di amplificazione dovuti alla natura del sottosuolo, agli effetti di sito, alla tipologia e funzione delle opere da realizzare.

10.2 Inquadramento sismo-tettonico

Ai fini della valutazione della pericolosità sismica del territorio di La Spezia, il dominio che assume maggiore rilevanza è quello relativo all'Appennino interno, sia per la vicinanza all'area in esame, sia soprattutto alla severità dei sismi rilevati storicamente o potenzialmente valutabili sull'assetto morfo-strutturale del paesaggio sismico. Il settore ligure-piemontese, al contrario, non presenta un potenziale sismico particolarmente significativo; la sismicità è infatti caratterizzata da eventi di *magnitudo* moderata e non particolarmente frequenti.

L'area in esame, in particolare, si localizza in prossimità del limite tra i domini strutturali delle Alpi Liguri e dell'Appennino settentrionale (Fig. 10.1). La sua storia evolutiva recente, responsabile dell'assetto tettonico, della distribuzione spaziale e delle caratteristiche delle zone sismogenetiche, è connessa all'apertura del bacino tirrenico ed alle fasi di strutturazione del settore settentrionale della catena appenninica.

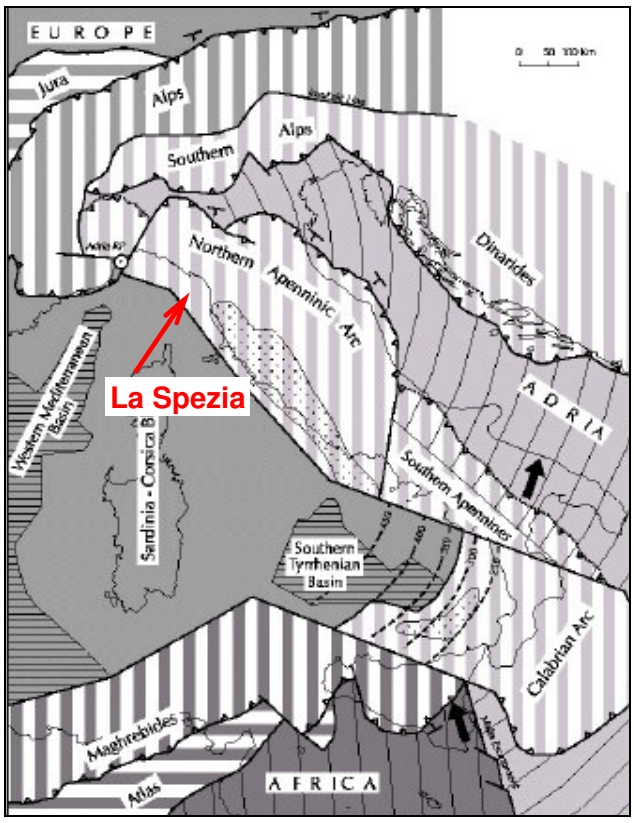


Figura 10.1 – Inquadramento tettonico-strutturale del territorio italiano ai fini della Zonazione sismogenetica la Penisola italiana tratto dalla Zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone & Stucchi, 2000).

Tali processi hanno portato, dapprima alla formazione del Bacino Terziario Piemontese (nel corso dell'Oligo-Miocene), quindi all'emersione ed al basculamento verso nord dell'intera area nel corso del Pliocene-Quaternario. A quest'ultima fase di sollevamento ha corrisposto anche il progressivo avanzamento verso nord della deformazione Appenninica, oggi riconoscibile nelle strutture frontali dell'arco del Monferrato parzialmente sepolte sotto la Pianura Padana.

Svolgendo un'analisi a vasta scala, nell'ambito dell'Italia Nord-occidentale è possibile riconoscere una serie di grandi aree tettonicamente e sismicamente attive, dalle caratteristiche sufficientemente distintive. Una loro zonazione di massima può essere condotta sulla base della distribuzione dell'attività sismica, dei fuochi sismici e dei lineamenti geostrutturali. Procedendo da Ovest verso Est, si riconoscono (Eva *et alii*, 1992) i seguenti domini tettonico-strutturali:

- le Alpi Marittime francesi (fascia di dislocazioni che interessano la parte meridionale dell'Argentera sino al Mar Ligure);
- il Mar Ligure Occidentale;
- la Liguria Occidentale;
- la fascia del Monferrato e l'Astigiano Meridionale;
- la fascia dell'Appennino Nord-Occidentale (zona di contatto fra l'Appennino emerso e la Pianura Padana);
- l'Appennino interno (zona Garfagnana – Lunigiana);
- l'Appennino esterno (zona del Parmense – Reggiano)

Alla fase di tettonica compressiva dovuta all'avanzata della catena appenninica è seguita una fase distensiva, caratterizzata dallo sviluppo di faglie normali che attualmente, insieme alle strutture di trasferimento legate all'interazione tra i due domini strutturali Alpini ed Appenninici, costituiscono le zone di accumulo della deformazione tettonica. Il Mar Ligure appare nettamente diviso in due settori, quello orientale quasi completamente asismico, e la porzione occidentale in cui si localizzano i principali terremoti che hanno interessato l'Italia Nord-Occidentale. Le caratteristiche morfologiche e morfotettoniche del bacino e del suo margine continentale sono state studiate tramite rilievi sismici eseguiti durante campagne oceanografiche italiane e francesi. I profili sismici mettono in evidenza che il sistema di faglie più significativo è quello legato al piede del margine continentale; in questa zona, gli ipocentri dei terremoti raggiungono i 15 ÷ 20 km di profondità (Eva *et alii,* 1999).

10.3 Sismicità attuale e storica

La sismicità attuale della Liguria mostra, sulla base dei dati rilevati nel periodo 1981-2006 della rete sismica regionale (Eva *et alii*, 1992, pagina *web* http://www.dipteris.unige.it/geofisica/; INGV - Catalogo sismico strumentale), magnitudo comprese tra 1,5 e 5,0 M_l. Le localizzazioni indicano una maggiore superficialità degli eventi in terra (mediamente h < 7 km), mentre mostrano degli approfondimenti sino a 15 ÷ 20 km in prossimità del margine continentale (Cattaneo *et alii*, 1999).

Il settore di La Spezia, in particolare, si inserisce tra una fascia ad alta sismicità che va dalla Garfagnana all'alta Val Taro e una zona a macrosismicità praticamente assente che comprende tutto il margine tirrenico dell'Appennino ligure tra Lerici e Portofino (Fig. 10.2; Abbate *et alii*, 2005). L'area stessa è sede di ipocentri di fenomeni a bassa magnitudo, localizzati tra Val Magra e nei dintorni di La Spezia. Tra questi si cita, ad esempio, l'evento dell' 11 aprile 1955 con epicentro tra Sarzana e Vezzano Ligure. Il sisma venne avvertito con intensità pari a V – VI° MCS nel territorio compreso tra La Spezia, Vezzano e Sarzana (De Panfilis, 1959). A mare gli eventi sono relativamente rari e di scarsa energia, la loro distribuzione sembra separare i due semi-*graben* del golfo e del Magra dalla parte più depressa del Bacino di Viareggio. Nella valutazione dei dati esposti si deve tener debitamente conto sia della limitatezza della serie temporale disponibile, sia del margine di incertezza nelle localizzazioni che affligge, in articolare, gli eventi più antichi.

La sismicità strumentale degli ultimi anni (1999-2001) mostra un considerevole addensamento di attività a bassa magnitudo lungo la bassa Val Magra (Ferretti *et alii*, 2002) e lungo una struttura trasversale che limita la zona attiva verso S e verso mare. I meccanismi focali del periodo 1985-1996 sono quasi esclusivamente trascorrenti e trans-tensivi. Tale configurazione sembra confermare che la fase tettonica attuale sia caratterizzata fondamentalmente da una blanda disgiunzione nella quale ben si inquadrano i processi di subsidenza di parte del margine e di attivazione delle linee trans-tensive su cui è impostata la testata del Canyon di Levante (Abbate *et alii*, 2005).

Per la sua prossimità alle strutture sismogenetiche toscane, l'area di La Spezia risulta inoltre interessata direttamente dai terremoti di ben maggiore severità con epicentro localizzato in Garfagnana. I risentimenti documentati, tuttavia, non hanno raggiunto intensità macrosismiche elevate. L'evento storico di maggiore severità ben documentato rappresentato dal sisma dell'ottobre 1920, il cui epicentro si localizza circa 30 km a NE di La Spezia, in particolare, venne risentito nel capoluogo con I = VI° MCS (Boschi *et alii*, 1995; Boschi *et alii*, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004).

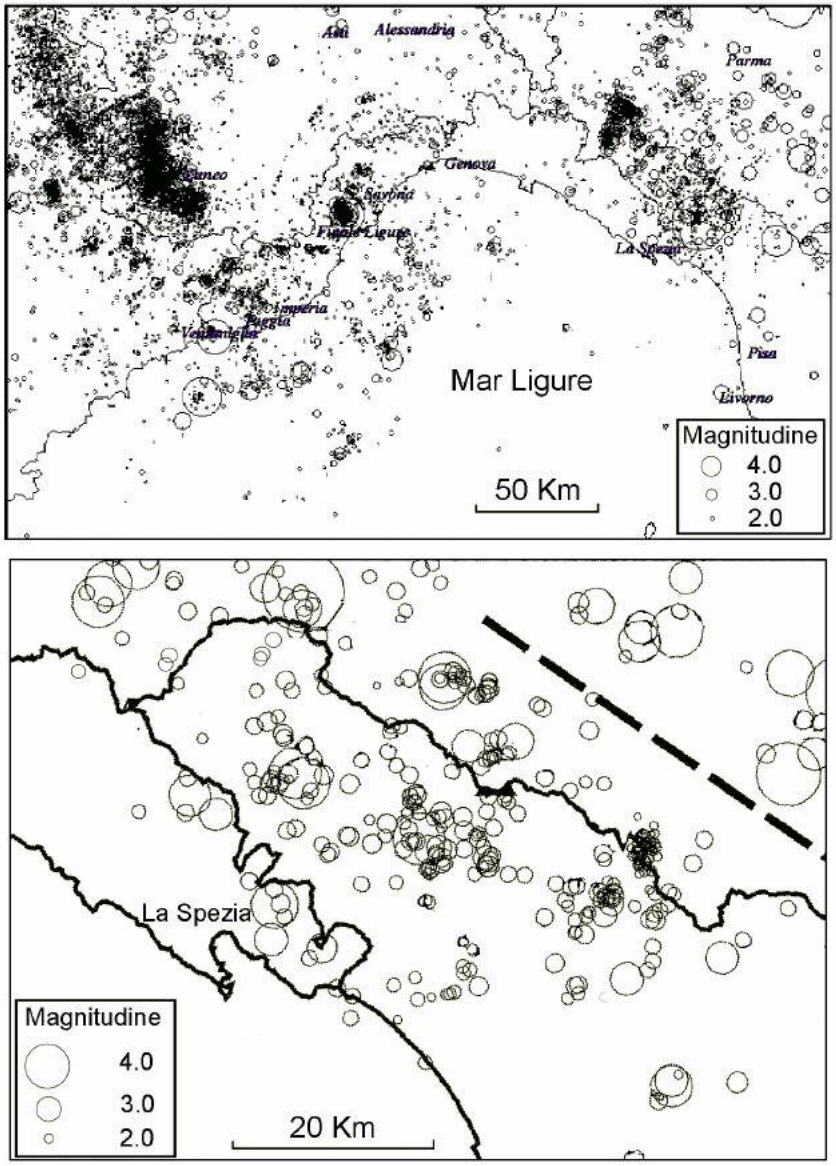


Figura 10.2 - Epicentri e magnitudo dei sismi registrati nel periodo 1882-1997 nel Mar Ligure e delle aree di catena circostanti (modificato da Abbate *et alii*, 2005; dati tratti da Eva *et alii*, 2001). Nell'immagine in basso è riportata la sismicità (modificata da Ferretti *et alii*, 2002) delle aree emerse circostanti il Golfo di La Spezia. La linea tratteggiata rappresenta il limite tradizionale tra zone in distensione e in compressione.

Il quadro conoscitivo delineato risulta coerente anche con la sismicità più recente, quale la sequenza sismica del giugno 2013. L'area epicentrale della sequenza si localizza al margine meridionale della struttura sismogenetica della Lunigiana, in corrispondenza della zona di svincolo con la struttura sismogenetica della Garfagnana (Fig. 10.3). L'evento più rilevante, registrato il 21 giugno, si localizza 20 km a ovest del sito di progetto ed ha raggiunto magnitudo Mw = 5,3.

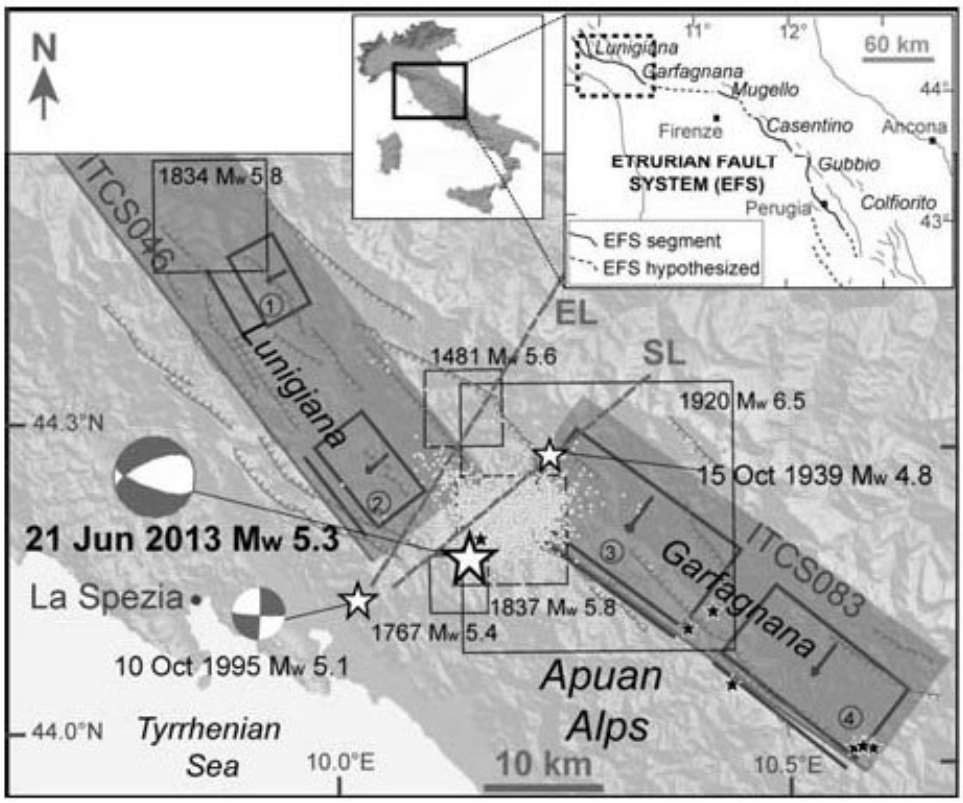


Figura 10.3 - Schema delle sorgenti sismogenetiche prossime all'area di La Spezia e localizzazione della sequenza sismica del giugno 2013 (tratto con modifiche da DISS, 2015, sulla base di Stramondo *et alii*, 2014). Legenda:
poligoni scuri: proiezione in superficie delle sorgenti sismiche composite Lunigiana e Garfagnana;
stelle: localizzazione epicentri sismi 1995 e 2013 per cui è stato possibile determinare il meccanismo focale rispettivamente di tipo trascorrente (1995) e trantensivo (2013);
quadrati: area epicentrale terremoti storici con magnitudo Mw > 5,3.

10.4 Pericolosità sismica

Lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese su base probabilistica è la pericolosità sismica. Le carte di pericolosità si basano quindi sui parametri di scuotimento maggiormente significativi ai fini ingegneristici, quali le intensità macrosismiche ed il picco di accelerazione massima attese ottenute sulla base della storia sismica documentata per il sito. La classificazione sismica e le azioni sismiche sono definite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

A livello di inquadramento, i dati di riferimento sono costituiti dalle elaborazioni delle Mappe di intensità macrosismica e di accelerazione massima orizzontale di picco attese, elaborate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

I valori di intensità macrosismica attesa per un periodo di riferimento di 50 anni, con la probabilità di superamento del 10%, sono stimati in I = VII ÷ VIII della Scala MCS (Fig. 10.4), mentre l'accelerazione orizzontale massima al suolo nelle condizioni di riferimento (superficie topografica orizzontale; suoli rigidi con $vs_{30} > 800$ m/s) per il territorio comunale di La Spezia sono di 0,125 ÷ 0,150 g (Fig. 10.5), con probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni.

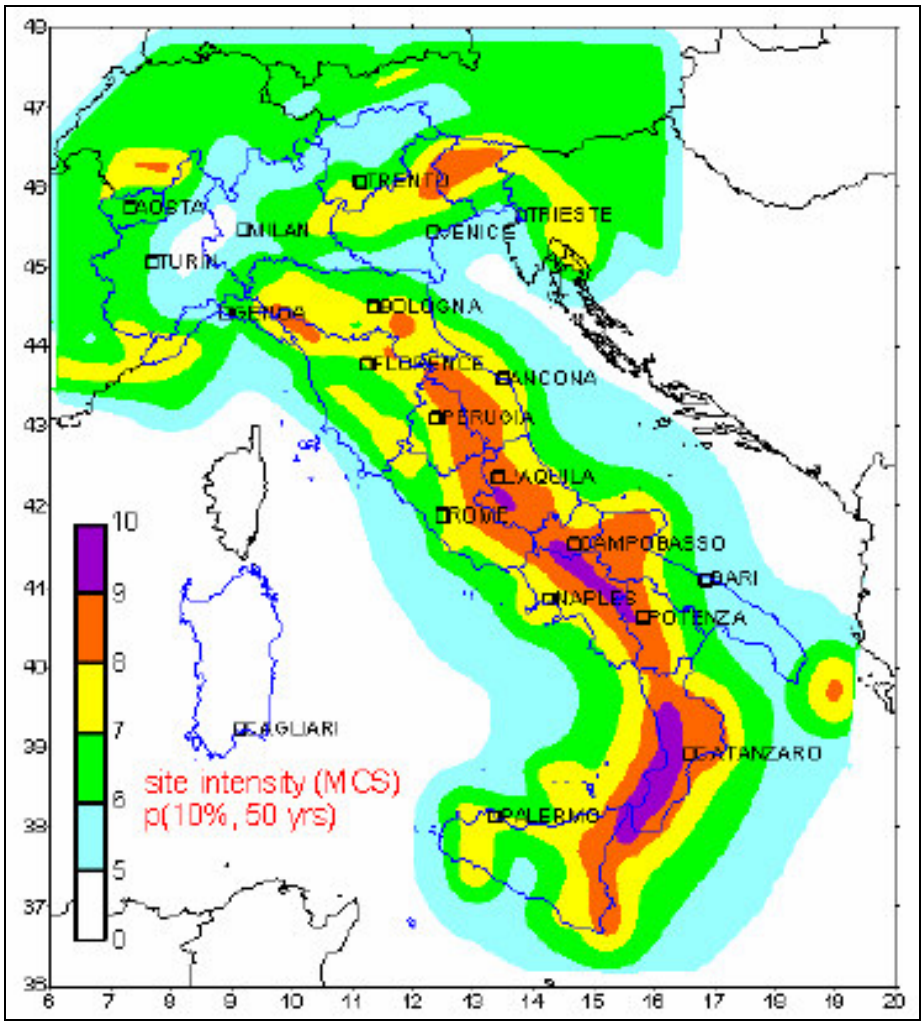
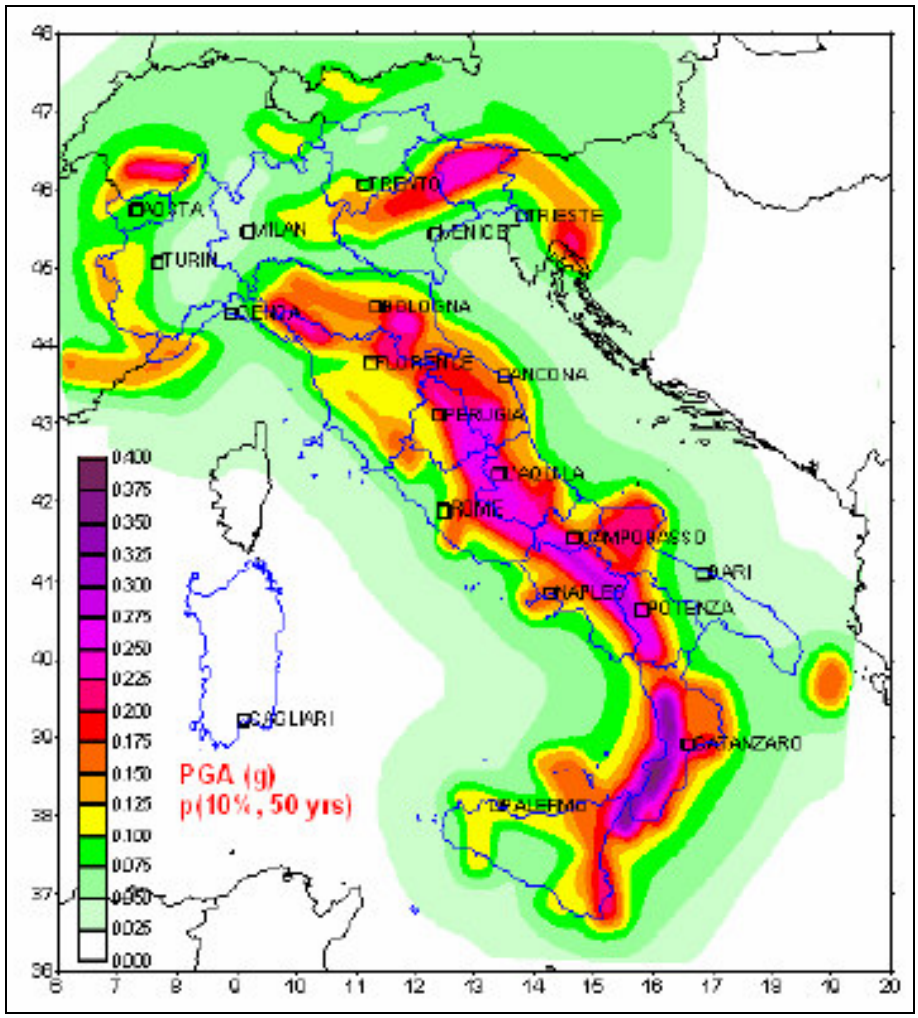


Figura 10.4 – Intensità macrosismiche attese per un Periodo di riferimento di 50 anni, con probabilità di superamento pari al 10%. Valori espressi secondo la scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg). Il territorio di La Spezia si localizza al margine est della Liguria nell'ambito di un settore caratterizzato da Intensità attese comprese tra I = VII ÷ VIII MCS.



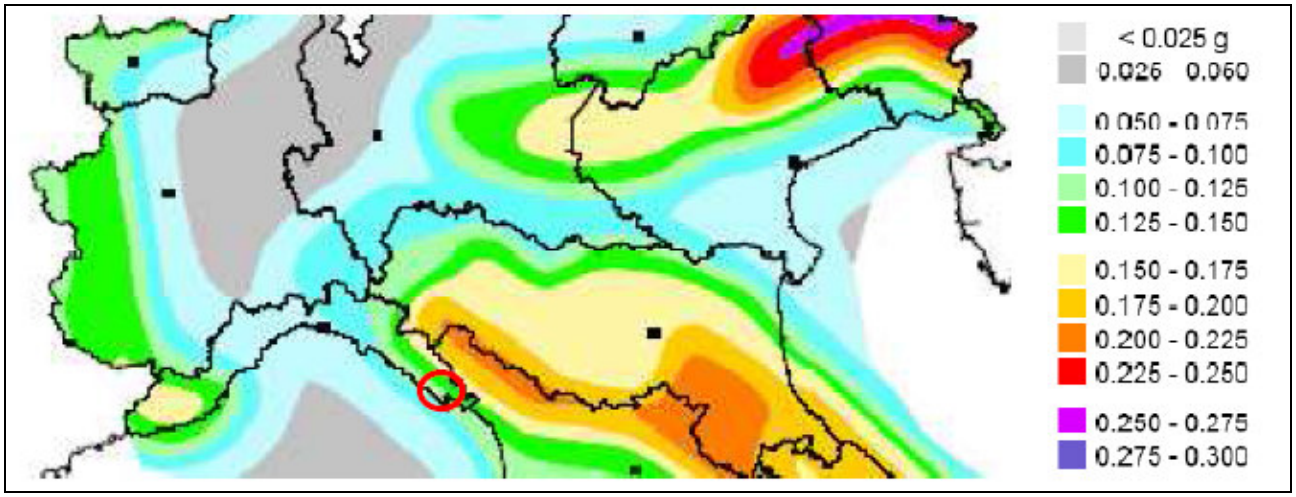


Figura 10.5 – Valori di accelerazione di picco orizzontale attesi per un Periodo di riferimento di 50 anni, con probabilità di superamento pari al 10%. Valori di accelerazione espressi in *g* (accelerazione di gravità). Il territorio di La Spezia si colloca nell'ambito dell'areale contraddistinto da accelerazioni di picco comprese tra 0,125 ÷ 0,150 g.

In relazione ai limitati valori di pericolosità sismica, il territorio del Comune di La Spezia è inserito nella *Classe 3* nella classificazione delle zone sismiche dei comuni della Regione Liguria (D.G.R. n. 1362 del 19/11/2010 - *Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria in ottemperanza al disposto di cui D.M. 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni*).

Questa classificazione costituisce il quadro di riferimento per la definizione delle azioni sismiche nel sito di progetto, da valutare sulla base della ricostruzione dell'assetto territoriale, del volume di sottosuolo significativo e della tipologia delle opere.

10.5 Valutazione della risposta sismica locale

Per la valutazione dei possibili effetti di amplificazione al sito della sollecitazione sismica dovuti all'assetto litologico-stratigrafico e alle condizioni topografiche (DM 14/01/2008, Cap. 3.2.2), si è proceduto, coerentemente alle prescrizioni fornite dalle NTC allo svolgimento di un'indagine geofisica specifica per l'acquisizione dei profili di velocità delle onde S e alla definizione della configurazione morfologica dell'area in cui si localizza l'intervento.

La classificazione sismica dei terreni è stata ottenuta, in accordo alle NTC (Cap.3.2.2), tramite l'esecuzione di rilievi sismici in foro per l'ottenimento di profili verticali di velocità delle onde di taglio con la determinazione diretta in sito del parametro $Vs_{,30}$.

La definizione della categoria di sottosuolo ai fini della valutazione della risposta sismica locale in occasione di un terremoto è basata sui valori della velocità equivalente $Vs_{,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (D.M. 14/01/2008, Cap. 3.2.2). La velocità equivalente delle onde di taglio $Vs_{,30}$ è definita dall'espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m di profondità.

Nell'ambito delle indagini per la definizione dell'assetto di volume significativo del sottosuolo, insieme all'esecuzione di prospezioni sismiche a rifrazione si è proceduto al rilevamento di n. 2 profili sismici in foro con il metodo down-hole, in corrispondenza dei sondaggi DH 2 e DH 4 (Campagna d'indagine Febbraio 2015) distribuiti nell'ambito dell'area di intervento in modo da poter ottenere una casistica adeguatamente rappresentativa per l'intero volume di terreno significativo.

L'acquisizione di profili verticali di velocità delle onde S consente – in accordo alle raccomandazioni delle NTC (D.M. 14/01/2008) [1] – la definizione sperimentale diretta della Categoria di sottosuolo per una corretta valutazione della risposta sismica locale (Tab. 10.1).

Tabella 10.1 – Classificazione delle categorie di sottosuolo per la valutazione della risposta sismica locale (NTC - D.M. 14/01/2008, Cap. 3.2.2, Tab. 3.2.II-III).

Categoria di sottosuolo	**Descrizione**	**Parametro Vs_{30}** (m/s)
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $Vs_{,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $Vs_{,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	360 ÷ 800
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 $Vs_{,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	180 ÷ 360
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $Vs_{,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	< 180
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	(180 ÷ 360) / 800 < 180 / 800
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $Vs_{,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < Cu_{,30} < 20$kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	

[1] - NTC, Cap. 3.2.2:

"*… Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $Vs_{,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali* [tipologia di opera alla quale fa riferimento l'intervento previsto], *tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse … .*

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. ..."

Area di deposito del corpo rifiuti

In relazione alla distribuzione delle velocità delle onde elastiche trasversali Vs rilevate nei 2 rilievi down-hole eseguiti sull'impronta dell'impianto, il parametro $Vs_{,30}$ in corrispondenza dell'area di deposito assume i valori:

	sondaggio DH 2 [1]	**sondaggio DH 4** [2]
Vs,30 (m/s)	501 m/s	842 m/s

Note:

[1] In DH 2 il calcolo di $Vs_{,30}$ è stato condotto con riferimento all'attuale piano campagna nell'intervallo di profondità 0 ÷ 30 m.

[2] In DH 4 il calcolo di $Vs_{,30}$ è stato condotto nell'intervallo di profondità 11 ÷ 41 m (rispetto al p.c. attuale) in quanto il primo tratto del sondaggio (e del rilievo geofisico) è impostato nel corpo di rifiuti da ricollocare. Le opere di fondazione al piede del deposito saranno impostate direttamente in roccia. A titolo cautelativo, al tratto inferiore della verticale sono stati attribuiti valori di Vs medi analoghi a quelli del tratto in roccia più superficiale, non tenendo conto del graduale miglioramento delle caratteristiche elastiche con la profondità.

Per il substrato lapideo su cui viene impostato il sito di deposito i valori di $Vs_{,30}$ ottenuti, definiscono l'attribuzione, rispettivamente, alla Categoria di sottosuolo A (rilievo DH 4) e alla Categoria B (rilievo DH 2), come definite dalle NTC (Tab. 10.1). In relazione alle caratteristiche della roccia verificate arealmente grazie al numero di verticali d'indagine eseguite, nonché al valore di $Vs_{,30}$ riscontrato con il rilievo DH 4, comunque prossimo al limite inferiore della Categoria A, appare opportuno operando in modo cautelativo attribuire all'intero ammasso roccioso in posto la Categoria di sottosuolo B.

Nuovo tracciato stradale di accesso

La valutazione del parametro $Vs_{,30}$ per il breve tracciato stradale di accesso dal limitrofo impianto di Val Bosca è stata condotta sulla base dei sondaggi geognostici eseguiti (SV1, SV2, campagna Febbraio 2015) e dei profili sismici a rifrazione PS 7 ÷ PS10.

Il tracciato interessa un precedente sito di discarica completato e ricoperto. I sondaggi SV1 e SV2 eseguiti nelle zone con maggiore potenza dell'accumulo hanno riscontrato spessori compresi tra 15 e 18 m, poggianti sul substrato fratturato con caratteristiche analoghe a quelle rilevate con il rilievo down-hole DH2. La soluzione di progetto prevede la sovrapposizione della sede stradale sul cumulo di rifiuti in posto, in questo caso la determinazione del parametro $Vs_{,30}$ è stata condotta con riferimento al piano campagna attuale e alla variabilità stratigrafica accertata.

In corrispondenza delle due verticali il parametro Vs,30 assume i valori:

	sondaggio SV 1	**sondaggio SV 2**
Vs,30 (m/s)	323 m/s	342 m/s

Per la successione deposito di rifiuti – substrato su cui viene impostato il tracciato stradale i valori di Vs,30 ottenuti, insieme al contrasto di comportamento elastico e agli spessori dei terreni scadenti, definiscono entrambi l'attribuzione alla Categoria di sottosuolo E, come definita dalle NTC (Tab. 10.1).

Categoria topografica

La configurazione topografica del sito assume, analogamente all'assetto del sottosuolo, un ruolo importante nel determinare la risposta sismica locale. L'impianto si localizza nell'ambito della dorsale collinare con parte dei margini laterali del deposito di rifiuti addossati ai pendii collinari mediamente acclivi relative alla dorsale collinare secondaria.

Le NTC (Cap. 3.2.2, Tabb. 3.2.IV e 3.2.VI) definiscono un fattore di amplificazione topografica S_T che incide direttamente sullo spettro di risposta elastico, assumendo i valori:

- S_T = 1,0 per opere o interventi situati su superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15° (Categoria topografica T1);
- S_T = 1,2 per opere o interventi localizzati nell'ambito di pendii con inclinazione media i > 15° (Categoria topografica T2).

10.6 Zonazione sismogenerica

Una completa definizione della pericolosità sismica comporta la definizione, insieme ai dati sismici di sollecitazione attesa e di risposta sismica puntuale del sito, del quadro sismogenetico di riferimento per la caratterizzazione delle sorgenti sismiche e dei possibili effetti attesi al sito.

Il rilascio dell'energia sismica è connesso al superamento, in condizioni di deformazione fragile, della resistenza dell'ammasso roccioso e al conseguente movimento che si determina in corrispondenza delle discontinuità (faglie) così individuatesi. Nella maggior parte dei casi, ovvero quando il sito si trova a distanza rilevante dalla sorgente sismica, le sollecitazioni attese sulle opere sono riferibili allo scuotimento (accelerazione al suolo) e ai suoi effetti secondari (liquefazione, frane, rotture secondarie). In corrispondenza e nelle vicinanze dell'area sorgente, all'azione transitoria dello scuotimento del suolo, si associano gli effetti permanenti conseguenti alla deformazione della superficie topografica e alla sua eventuale rottura e dislocazione. Tramite gli studi paleosismologici degli ultimi decenni è stato accertato anche nel contesto geodinamico italiano

che il verificarsi di forti terremoti (magnitudine M $\geq$ 5,5) è associabile alla rimobilizzazione di faglie principali e/o secondarie e al conseguente verificarsi di dislocazioni in superficie. Il modello sismogenetico, attraverso il riconoscimento dell'evoluzione delle strutture geologiche, l'individuazione della loro attività recente e le relazioni con la sismicità strumentale e storica, rappresenta il processo logico per la valutazione della distribuzione areale e della severità attesa per lo scuotimento, le deformazioni e le dislocazioni del suolo.

La definizione di un modello sismogenetico rappresentativo costituisce un'operazione multidisciplinare articolata e complessa, dove il grado di definizione e l'attendibilità dei risultati sono strettamente condizionati dal data-base geologico, dalle conoscenze sulle strutture deformative e dalla completezza del catalogo sismico. Vari studi condotti negli scorsi decenni hanno accertato in modo incontrovertibile che anche nel contesto geologico italiano il verificarsi di terremoti di elevata magnitudo è associato al verificarsi di deformazioni e dislocazioni permanenti in corrispondenza della superficie topografica, dovuti alla mobilizzazione di faglie con attività recente. Con specifico riferimento all'intervento in progetto, l'eventuale presenza di una faglia attiva costituisce secondo i dettami del Dec. Lgs. n. 36/2003 un fattore ostativo alla localizzazione dell'impianto.

Per la definizione in termini ingegneristici della pericolosità sismica di un territorio gli elementi relativi alla sismicità e al suo assetto geologico-strutturale riconosciuti devono essere inseriti in un modello interpretativo che consente di definire le zone sismotettoniche e le relative aree sismogenetiche. Per zona sismotettonica si intende un settore del territorio in cui, sia lo stile deformativo recente della crosta che la sismicità, presentino caratteri di omogeneità spaziale e temporale. Le aree sismogenetiche individuano i domini spaziali in cui la presenza di strutture tettoniche con evidenza di attività recente fa ritenere possibile il verificarsi di eventi sismici rilevanti in ambiti temporali di interesse per gli insediamenti e le attività antropiche.

Uno dei modelli sismotettonici di riferimento per la penisola italiana è quello elaborato dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e noto come Zonazione sismogenetica ZS9, (Fig. 10.6, Meletti & Valenzise, 2004), che rappresenta l'evoluzione della precedente Zonazione ZS4 (Scandone & Stucchi, 2000).

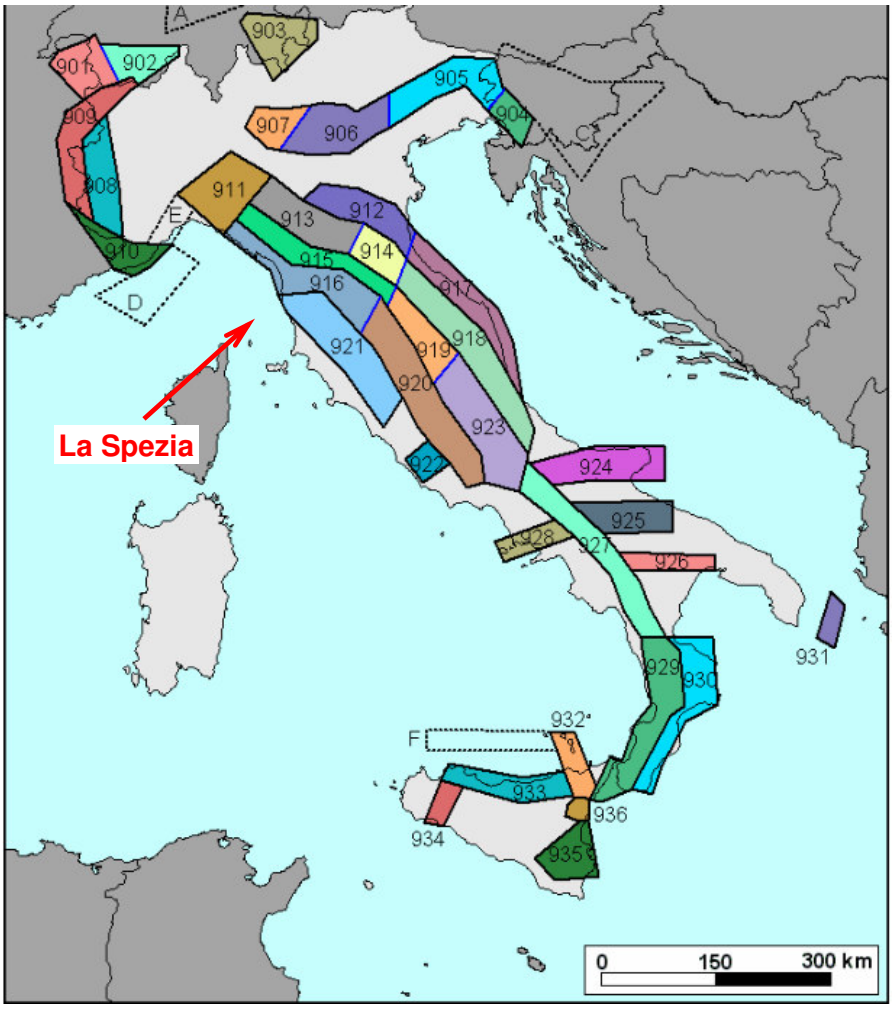


Figura 10.6 - Zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale ed aree limitrofe ai fini della definizione della pericolosità sismica. (Meletti & Valenzise, 2004) Il settore orientale del territorio ligure, comprendente l'area di La Spezia ricade nella Zona 916.

Modificando la precedente Zonazione ZS4 sulla base di vedute aggiornate sulla fagliazione attiva e sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche (si vedano ad esempio, Galadini *et alii*, 2001, Valenzise & Pantosti, 2001, con relative bibliografie), il settore ligure-tosco-emiliano è stato incluso in una serie di zone sorgenti con sviluppo longitudinale rispetto all'asse della catena appenninica. Secondo la ZS9 il settore orientale del territorio ligure comprendente anche il Golfo di La Spezia, risulta compreso nella Zona denominata 916, corrispondente al settore ligure-toscano costiero riferibile al contesto sismo-tettonico della fascia tirrenica in distensione. In questa zona i meccanismi di rottura attesi nell'ambito della crosta sono prevalentemente del tipo dip-slip. Le zone 916 e 920 coincidono con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti *et alii* (2000). L'areale nel suo insieme è caratterizzato da una sismicità di bassa energia che

sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati. La distinzione tra le due zone è stata introdotta in base alla maggiore frequenza di eventi che caratterizza la zona 920.

La localizzazione delle principali strutture tettoniche con evidenze di attività recente nel settore dell'Appennino settentrionale prossimo al Golfo della Spezia è illustrata nella Fig. 10.7

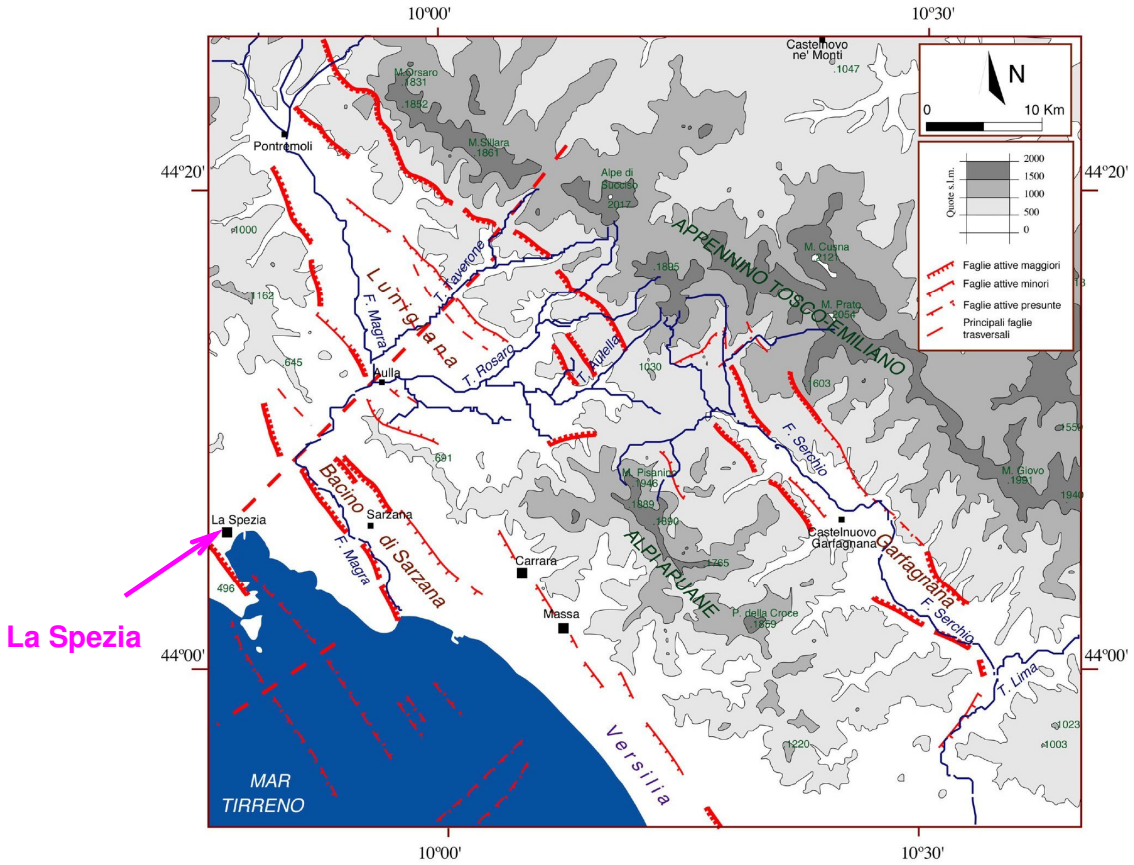


Figura 10.7 - Principali faglie attive riferibili all'evoluzione recente delle strutture tettoniche che controllano l'evoluzione dei bacini della Garfagnana, Lunigiana e Sarzana, in prossimità del margine orientale del Golfo di La Spezia (DISS, 2015; rielaborato da Corti, 1997; Vannucci, 1999).

Il quadro conoscitivo disponibile per la localizzazione puntuale degli elementi tettonici con evidenze di attività recente e sede potenziale di dislocazione in occasione di forti terremoti è riferibile fondamentalmente al Database delle sorgenti sismogenetiche DISS 3.2.0 (DISS, 2015), rappresentante la revisione e l'estensione dell'inventario delle sorgenti sismogenetiche pubblicato nel Luglio 2010 quale contributo conclusivo al progetto "Analisi del potenziale sismico in Italia per la valutazione della pericolosità sismica" promossa dal Dipartimento della Protezione Civile.

Con riferimento al territorio in esame le strutture tettoniche con attività recente di diretto interesse sismogenetico classificate nel DISS 3.2.0 comprendono:

- <u>sorgenti sismogenetiche individuali</u> (ITIS): faglie o pieghe attive ben caratterizzate dal punto di vista geologico e geofisico, per cui si dispone di elementi sufficientemente completi per la

localizzazione, le definizione dei parametri dimensionali e giaciturali, e per le quali è documentata un'attività recente nel corso anche del Pleistocene superiore – Olocene. Le ITIS possono essere utilizzate per la stima della magnitudine massima attesa e degli scenari geodinamici;

- sorgenti sismogenetiche composite (ITCS): strutture individuate sulla base dell'analisi regionale della geologia di superficie e dell'assetto del sottosuolo, per le quali non si dispone di precisi elementi sulla rottura e dislocazione di natura sismica. Una sorgente composita comprende in genere un certo numero di sorgenti individuali. I limiti conoscitivi caratterizzanti queste strutture non consentono valutazioni dirette della magnitudine sulla base dell'ampiezza della rottura co-sismica, il loro potenziale deve pertanto essere valutato sulla base dei cataloghi sismici unitamente a eventuali dati sulla geometria e giacitura di mobilizzazione delle strutture tettoniche. Anche per questa categoria di sorgenti è documentata, generalmente, un'attività recente (Pleistocene superiore – Olocene). Rispetto alle sorgenti individuali, la valutazione dimensionale del terremoto atteso risulta meno accurata, tuttavia il carattere regionale delle strutture consente una maggiore completezza nel riconoscimento delle potenziali sorgenti sismiche;

Le strutture di interesse sismogenetico individuate nel territorio circostante La Spezia sono riportate nelle Figg. 10.8 ÷ 10.9. Il sito in esame si localizza ad ovest del margine della sorgente composita ITCS 026 "Lunigiana", quasi in corrispondenza della zona di svincolo con la sorgente ITCS 083 "Garfagnana" che individua la prosecuzione meridionale delle strutture distensive lungo il margine tirrenico. Nell'ambito della sorgente ITCS 026 sono comprese le sorgenti sismogenetiche individuali ITIS 085 Pontremoli e ITIS 067 Aulla.

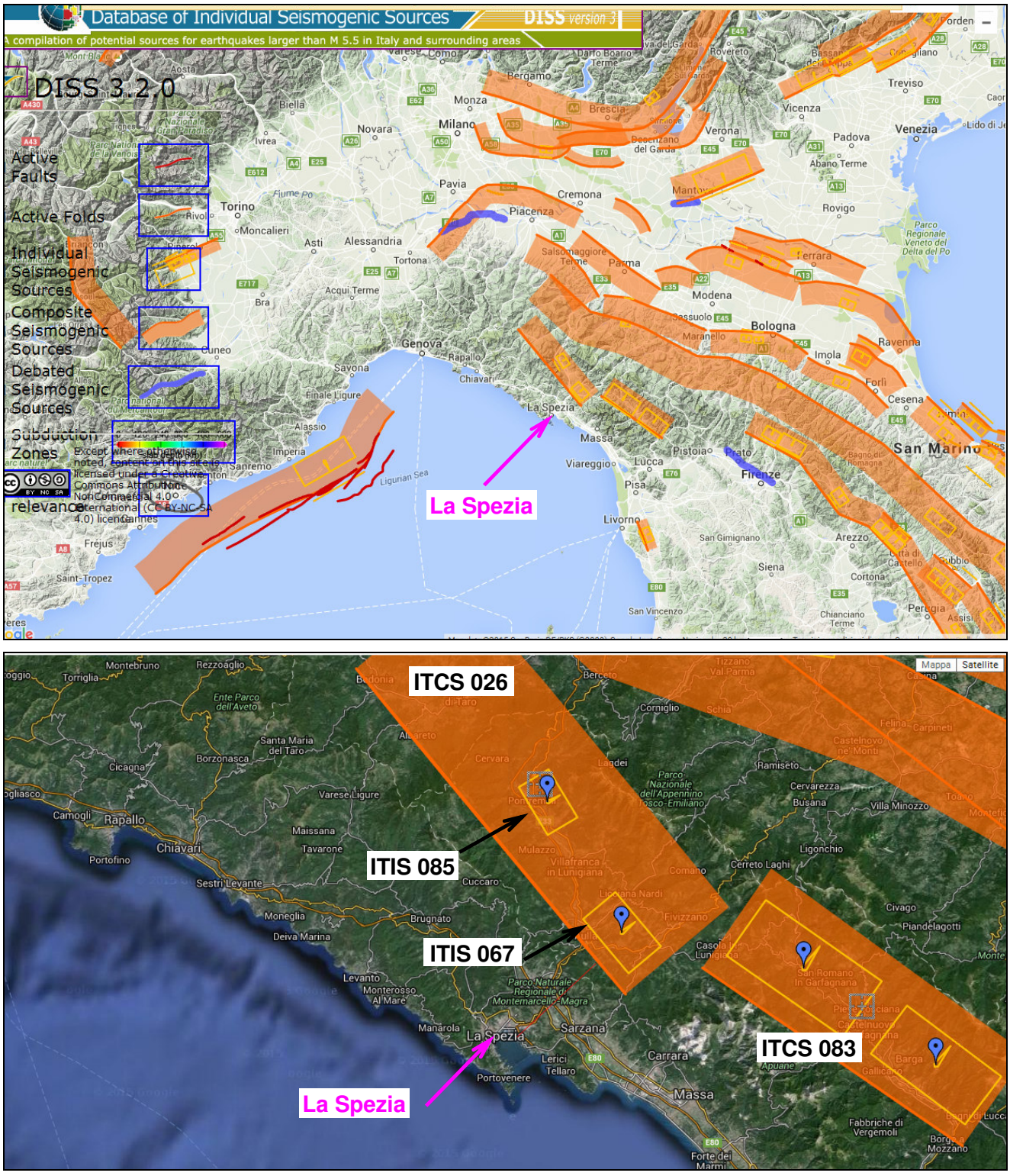


Figura 10.8 - DISS 3.2.0. Sorgenti sismogenetiche individuate nell'intorno significativo del Golfo della Spezia. I singoli rettangoli in color arancio evidenziano le sorgenti sismogenetiche individuali (ITIS), mentre le più ampie fasce arancio delimitano le sorgenti sismogenetiche composite (ITCS). Il sito in esame si localizza ad ovest del margine della sorgente composita ITCS 026 "Lunigiana".

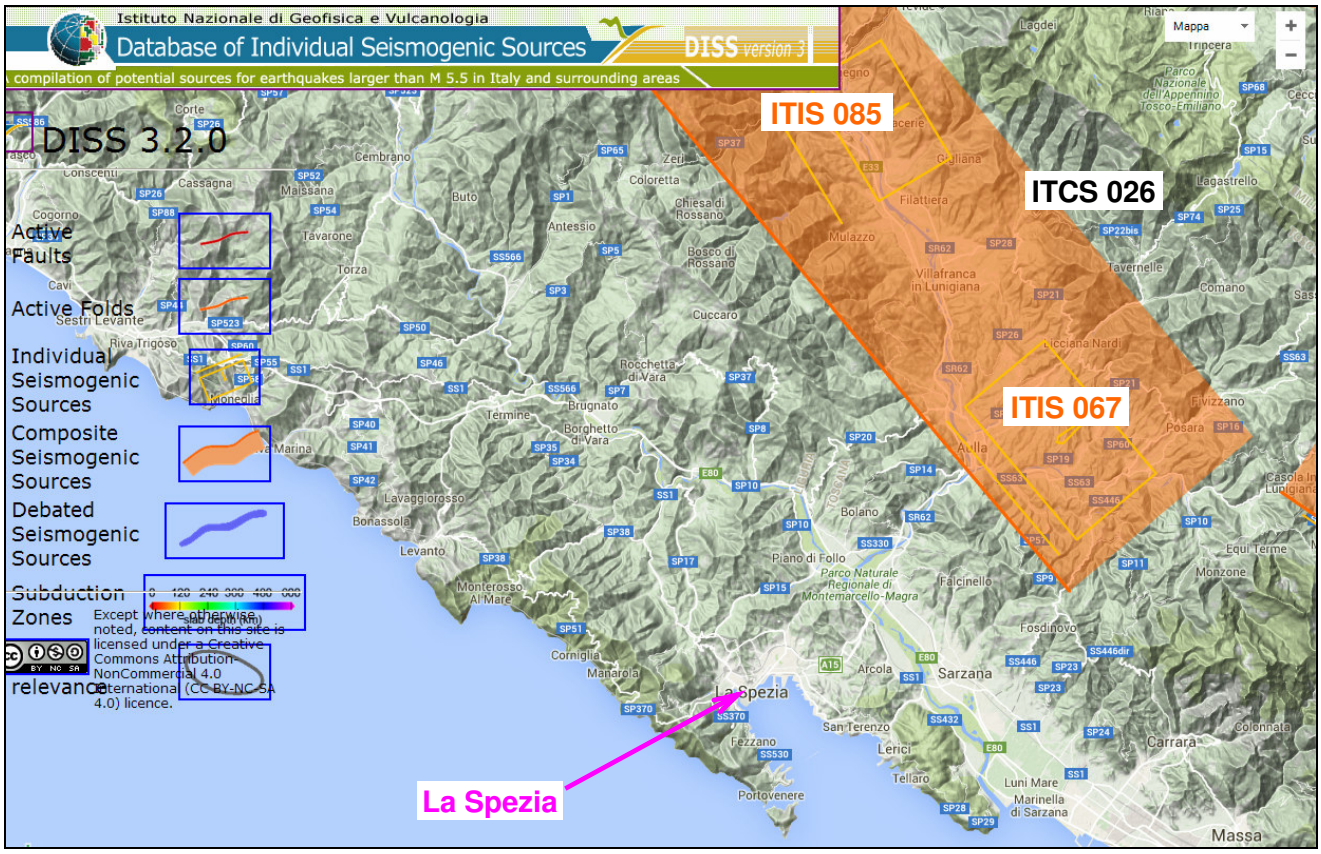


Figura 10.9 - DISS 3.2.0, dettaglio della fig. 10.8. L'area di intervento, posta nel tratto iniziale del promontorio orientale del Golfo di La Spezia, si localizza 13,65 km ad ovest della traccia della faglia inviluppo relativa alla sorgente composita ITCS 026 "Lunigiana".

La sorgente, denominata ITCS 026 "Lunigiana", si localizza in corrispondenza del medio-alto corso del F. Magra e del bacino di Pontremoli. La faglia inviluppo con evidenze di maggiore attività si individua sul lato occidentale, nella parte meridionale della struttura decorre in prossimità dell'allineamento Pontremoli – Aulla. La ITCS 026 è costituita da un sistema di faglie normali, ad alto angolo, disposto longitudinalmente rispetto alla dorsale dell'Appennino settentrionale e immergente verso NE. Lo sviluppo longitudinale complessivo della sorgente ricavato dalle strutture geologiche individuate è di circa 40 km, l'assetto è caratterizzato da una direzione NO-SE (N310°-330°), immersione a NE con inclinazione di 30°-45°. Nel sottosuolo la sorgente si estende tra 1,0 e 10,0 km di profondità. Il tasso medio di movimento (slip-rate), ricavato dall'analisi delle strutture adiacenti caratterizzate da un contesto tettonico analogo, è stimato in 0,1 ÷ 1,0 mm/anno. La magnitudine massima ottenuta sulla base degli effetti riconosciuti per il sisma maggiormente distruttivo associato è pari a Mw = 6,0.

La ITCS 026 rappresenta la sorgente sismogenetica definita e caratterizzata più prossima all'area di progetto. Il valore di magnitudo atteso (Mw = 6,0) consente di tener in debito conto

anche dei possibili effetti di scuotimento derivanti da sorgenti con maggiore potenziale sismico, poste a maggiore distanza quale la sorgente sismogenetica composita ITCS 083 "Garfagnana" caratterizzata da una magnitudine massima attesa Mw = 6,4.

La localizzazione della ITCS 026, con riferimento alla traccia della faglia inviluppo delimitante il margine occidentale della sorgente, si dispone comunque ad una distanza minima di 13,65 km dal sito di progetto. Può essere esclusa quindi la possibilità di rottura superficiale nell'area dell'impianto a seguito del verificarsi di sismi di elevata magnitudo ($M \geq 5,5$) in corrispondenza della sorgente sismogenetica descritta. Tale condizione verifica la prescrizione del D. Lgs. n. 36/2003 relativa all'ubicazione degli impianti di discarica in zone non interessate da faglie attive.

L'individuazione della sorgente sismogenetica di interesse consente una valutazione puntuale dello scuotimento atteso in corrispondenza del sito derivante dal verificarsi di un sisma con la massima magnitudine caratteristica riconosciuta per la struttura tettonica. L'approccio metodologico seguito comprende in sintesi:

- individuazione della sorgente sismogenetica di riferimento (ITCS 026 – Lunigiana) e definizione sulla base del DISS 3.2.0 della massima magnitudo attesa (Mw = 6,0);
- determinazione della distanza minima del sito di progetto dalla zona sorgente;
- applicazione di un modello di attenuazione della propagazione delle onde sismiche, nel caso in esame è stata adottata la relazione di attenuazione proposta da Sabetta & Pugliese (1987) ampiamente verificata nel contesto sismogenetico italiano, utilizzabile per il territorio italiano in presenza di terremoti con Magnitudo comprese tra Mw = 4,6 ÷ 6.8).

I risultati ottenuti con l'applicazione della procedura descritta sono sintetizzati nella Fig. 10.10. Il sito di progetto si colloca ad una distanza minima di 13,65 km dalla traccia della faglia inviluppo principale posta sul margine occidentale della zona sorgente. L'accelerazione massima orizzontale di picco attesa nelle condizioni di sottosuolo del sito è pari a 0,148 g.

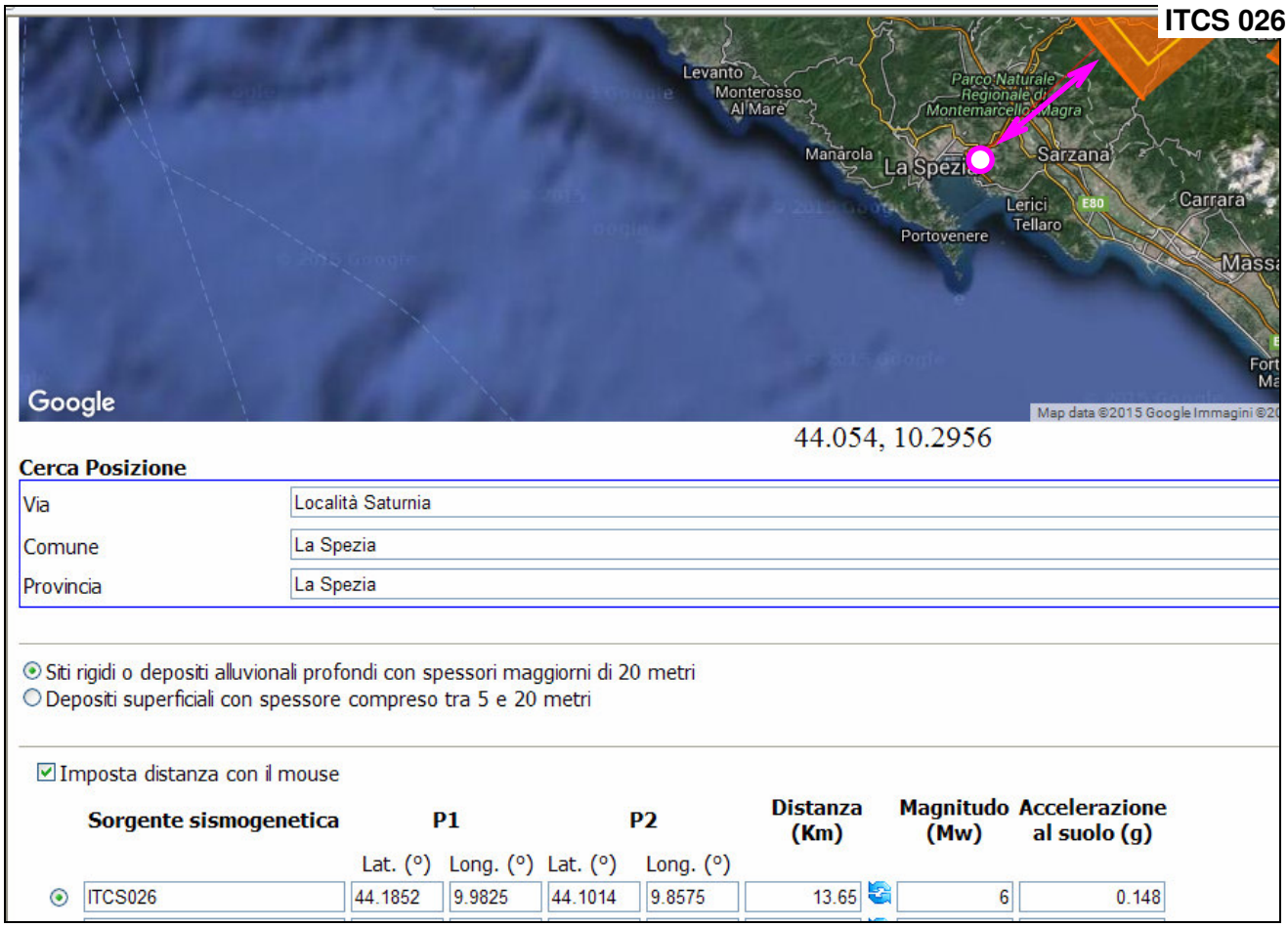


Figura 10.10 - Valutazione dell'accelerazione massima nel sito di progetto a seguito di un sisma con la massima magnitudine attesa (Mw = 6,0) per la sorgente sismogenetica ITCS 026. La zona sorgente si localizza alla distanza minima 13,65 km dal nuovo impianto (individuato dal circolo color fucsia). L'accelerazione orizzontale massima di picco attesa è pari a 0,148 g.. Il calcolo è stato condotto con l'applicativo www.geostru.com/geoapp/sismog/ default2.aspx

11. RIFERIMENTI

11.1 Quadro normativo

- Decreto Ministero LL.PP. 11 marzo 1988, "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce*, *la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*" con relativa Circolare n. 30483 del 24 settembre 1988, per quanto non sostituito dal D.M. 14/01/2008;
- Legge 18 maggio 1989, n. 183, "*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*";
- Legge 6 dicembre 1991, n. 394, "*Legge quadro sulle aree protette*";
- Decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357 "*Regolamento recante attuazione della Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche*;
- Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152, "*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al Decreto Legislativo 18 agosto 2000, n. 258*";
- Autorità di Bacino del Fiume Po "*Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)",* approvato con D.P.C.M. del 24/05/2001, comprensivo del *P.S.45* e del *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*.
- Decreto Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, "*Testo Unico dell'Edilizia*";
- Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 "*Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti"* e smi. (GU n. 59 del 12-3-2003 - Suppl. Ordinario n. 40);
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*";
- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42 "*Codice dei beni culturali e del paesaggio*", e smi.
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519, "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;*
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 – "*Norme in materia ambientale*", modificato dal successivo Decreto Legislativo n. 4 del 16 gennaio 2008.
- Decreto Ministero Infrastrutture 14 gennaio 2008 "*Norme tecniche per le costruzioni*", con la relativa Circolare n. 617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici emanata in data 2 febbraio 2009.

11.1.1 Ordinamento Regione Liguria

- Regione Liguria, Legge Regionale 3 aprile 1990 n. 14, "*Norme per la tutela e la valorizzazione del patrimonio speleologico e delle aree carsiche e per lo sviluppo della speleologia*";
- Regione Liguria, Legge regionale 22 gennaio 1999 n. 4, "*Disciplina degli interventi in materia forestale*";
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 16 maggio 2003, n. 530, "*Individuazione formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dei comuni della Regione Liguria*", in ottemperanza al disposto di cui all'O.P.C.M. n. 3274/2003;
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale, n. 154/2004, "*Estensione dell'obbligo di progettazione antisismica nei comuni liguri in classe sismica 4*";
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 24 ottobre 2008, n. 1308, "*O.P.C.M. n. 3519/2006 Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*";
- Regione Liguria, Deliberazione Giunta Regionale 19 novembre 2010, n. 1362, "*D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*.

11.2 Riferimenti progettuali

ARPAL (2005) – *Caratterizzazione della parte a terra dell'area di competenza pubblica compresa nella perimetrazione del sito di interesse nazionale di Pitelli (SP).* Relazione finale. Genova, ottobre 2005.

ARPAL (2008) – *Caratterizzazione della parte a terra dell'area di competenza pubblica compresa nella perimetrazione del sito di interesse nazionale di Pitelli (SP).* Relazione finale. Genova, 2008.

C.I.R. CONSORZIO INTERCOMUNALE RIFIUTI LA SPEZIA (1996°) – *Progetto Preliminare e Definitivo della disacrica per R.S.U. e assimilabili in località Val Bosca – Comune di La Spezia. Relazione Geologica ed Idrogeologica*. Studio Geotecnico Italiano Srl. Milano, Febbraio 1996.

C.I.R. CONSORZIO INTERCOMUNALE RIFIUTI LA SPEZIA (1996b) – *Progetto Preliminare e Definitivo della disacrica per R.S.U. e assimilabili in località Val Bosca – Comune di La Spezia. Relazione Geotecnica*. Studio Geotecnico Italiano Srl. Milano, Febbraio 1996.

. DE.PE.TI. Srl (1989) – *Progetto per la realizzazione di una Discarica di rifiuti speciali IIa categoria tipo "B" in località Valle Oscura di Pitelli (Discarica Saturnia).* Comune di La Spezia. Approvazione Regione Liguria con Del. Giunta Regionale n. 5490 del 07/12/1990.

D.R.I. PAGLIARI Srl (2014) – *La Spezia. Area "Saturnia" Relazione finale esiti Piano di Caratterizzazione*. Studio Geotecnico Italiano Srl. Milano, Maggio 2014.

11.3 Geologia e geomorfologia

BERNINI M. (1991) – *Le strutture estensionali della Lunigiana (Appennino settentrionale): proposta di un nuovo modello deformativo*. Atti Tic. Sci. Terra, 34, 29-38, Pavia.

BERNINI M., BOCCALETTI M., MORATTI G., PAPANI G., SANI F., TORELLI L. (1990) – *Episodi compressivi neogenico-quaternari nell'area estensionale tirrenica nord-orientale. Dati in mare e a terra*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 577-589, Roma.

BERNINI M., VESCOVI P., ZANZUCCHI G. (1997) – *Schema strutturale dell'Appennino NordOccidentale*. Acta Naturalia, Ateneo Parmense, 33, 43-54, Parma.

BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G., VALENZISE G. (1995) – *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. Istituto Nazionale di Geofisica – Sga storia geofisica ambiente. 973 pp., cd-rom.

BOSCHI E., GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., VALENSISE G., GASPERINI P. (2000) – *Catalogue of strong Italian earthquakes*. Ann. Geofis. 43 (4), 268.

CATTANEO M., AUGLIERA P., PAROLAI S., SPALLAROSSA D. (1999) – *Anomalously deep earthquakes in Northwestern Italy*. Journal of Seismology, 3 (4), 421-435.

CORTI G. (1997) - *Studio della tettonica attiva dell'Appennino settentrionale: esempi dal settore nord-occidentale e dal bacino di Firenze*. MS Thesis, Univ. of Florence, 123 pp., non pubblicata.

CPTI Gruppo di lavoro (2004) – *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/

DE PANFILIS M. (1959) – *Attività sismica in Italia dal 1953 al 1957.* Annali di Geofisica, XII, 1, 21-148, 1 tav. f.t.

DISS WORKING GROUP (2015) - *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. http://diss.rm.ingv.it/diss/, © INGV 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

EVA C., AUGLIERA P., CATTANEO M., PASTORE S., TOMASELLI A. (1992) – *Sismotettonica dell'Italia Nord-Occidentale*. Atti del Convegno GNDT, Pisa 25-27 Giugno 1990, 1, Zonazione e riclassificazione sismica: 35-51.

EVA C., AUGLIERA P., EVA E., SOLARINO S., SPALLAROSSA D. (1999) – *Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria Occidentale ed influenza sui parametri di hazard*. In GALADINI F., MELETTI C. & REBEZ A. (Eds.): *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996 – 1999)*. CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 2000, pp. 297, Roma.

EVA E., SOLARINO S., SPALLAROSSA D. (2001) – *Seismicity and crustal structure beneath the western Ligurian Sea derived from local earthquake tomography*. Tectonophysics, 339, (3-4), 495-510, Amsterdam.

FEDERICI P.R. (1965) – *Nuove conoscenze sulla stratigrafia del Trias medio di Punta Bianca*. Boll. Soc. Geol. It., 84, 323-329, Roma.

FEDERICI P.R. (1973) – *La tettonica recente dell'Appennino: 1 – Il bacino villafranchiano di Sarzana e il suo significato nel quadro dei movimenti distensivi a nord-ovest delle Alpi Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 92, 287-301, Roma.

FEDERICI P.R. (1980) – *Note illustrative della neotettonica del foglio 95 – La Spezia e del margine meridionale del foglio 84 – Pontremoli*. CNR, Prog. Fin. Geodinamica, 356, 1345-1364, Pisa.

FEDERICI P.R. (1987) – *Uno sguardo alla struttura e alla morfologia del Golfo della Spezia.* Quaderni Ist. Geol. Univ. Genova, Anno 8, 5, 293-306, Tortona.

FEDERICI P.R., RAGGI G. (1975) – *Una nuova interpretazione della tettonica dei monti della Spezia.* Boll. Soc. Geol. It., 94 (4), 945-960, Roma.

FERRETTI G., SOLARINO S., EVA E. (2002) – *Crustal structure of the Lunigiana-Garfagnana area (Tuscany, Italy): seismicity, fault-plane solutions and seismic tomography*. Boll. Geof. Teor. Appl., 43, (3-4), 221-238, Trieste.

GALADINI F., MELETTI C., VITTORI E. (2001) – *Major active faults in Italy: avaible surficial data*. Netherlands Journa of Geoscience/Geologie en Mijnbow, 80, 273-296.

GIAMMARINO M. (1984) – *Evoluzione delle Alpi Marittime e sue relazioni con il Bacino Terziario del Piemonte ed il Mar Ligure.* Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. A, 91, pp. 155-179.

GRUPPO DI LAVORO CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04).* INGV Bologna. http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/

GRUPPO DI LAVORO MPS (2004) – *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile. INGV, Milano-Roma, aprile 2004. 65 pp. 5 appendici.

ITHACA – *Catalogo delle faglie capaci* (http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA_-_catalogo_delle_faglie_capaci

MELETTI C., PATACCA E., SCANDONE P. (2000) – *Construction of a seismotectonic model: the case of Italy*. Pageoph., 157, 11-35.

MELETTI C., VALENZISE G. (a cura di) (2004) – *Zonazione sismogenetica ZS9 – App. al Rapporto Conclusivo*. Marzo 2004. In Gruppo di Lavoro MPS (2004).

POSTPISCHL D. (Ed.) (1985) – *Catalogo dei Terremoti Italiani dall'Anno 1000 al 1980*. CNR, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114 (2B), 239 pp.

PRINCIPI G. & TREVES B. (1984) – *Il sistema corso-appenninico come prisma di accrezione. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. Mem. Soc. Geol. It., 28, 549-576, Roma.

RAGGI G. (1985) – *Neotettonica ed evoluzione paleogeografica plio-pleistocenica del bacino del fiume Magra*. Mem. Soc. Geol. It, 30, 35-62, Roma.

SABETTA F., PUGLIESE A. (1987) -:*Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from italian strong-motion records*. Bull. seism. Soc. Am., 77, 1491-1513.

SABETTA F., PUGLIESE A. (1996) – *Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions*. Bull. Seism. Soc. Am., 86 (2), 337-352.

SCANDONE P., STUCCHI M. (2000) – *La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica*. In GALADINI F., MELETTI C. & REBEZ A. (Eds.) – *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000, 3-14.

STRAMONDO S., VANNOLI P., CANNELLI V., POLCARI M., MELINI D., SAMSONOV S., MORO M., BIGNAMI C., SAROLI M. (2014) - *X- and C-Band SAR Surface Displacement for the 2013 Lunigiana Earthquake (Northern-Italy): A Breached Relay Ramp ?* IEEE J-STARS, 7, 7, 2746-2753, 10.1109/JSTARS. 2014.231364

VANNUCCI G. (1999) - *Individuazione di strutture attive nell'Appennino centro-settentrionale*. Ph.D. Thesis, Università di Firenze; non pubblicata.

TREVES B. (1984) – *Orogenic belts as accretionary prisms: the example of the Northern Apennines*. Ofioliti, 9, 577-618, Bologna.

VALENZISE G., PANTOSTI D. (2001) – *Database of potential sources for earthquake larger than M 5,5 in Italy*. Annali di Geofisica, suppl. vol. 44 (4), 797-964, con CD-ROM.

11.4 Cartografia e riprese aerofotografiche

ABBATE A., FANUCCI F., BENVENUTI M., BRUNI P., CIPRIANI N., FALORNI P., FAZZUOLI M., MORELLI D., PANDELI E., PAPINI M., SAGRI M., REALE V., VANNUCCHI P. (2005) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000, F. 248 – La Spezia*. 208 pp. APAT – Dipartimento Difesa del Suolo – Regione Liguria.

ATLANTE ITALIANO (1988) - *Riprese aereofotografiche in b/n. Volo 1988*.

ATLANTE ITALIANO (1994) - *Riprese aereofotografiche in b/n. Volo 1994*.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR, 1992) – *Structural Model of Italy*. Scala 1:500.000. Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica. CNR, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, vol. 3, Foglio 1.

CORPO R. DI STATO MAGGIORE (1827-32) - *Antichi rilievi della Spezia, scala di 1:9450 - foglio 9.*

CORPO R. DI STATO MAGGIORE (1853) – *Gran Carta Topografica degli Stati Sardi in terraferma, scala 1:50.000. F. 84 – La Spezia.*

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) - *Carta Topografica d'Italia a scala 1:25.000, Foglio F. 95 – SE Vezzano Ligure*. Rilievo topografico 1877; Rilievo topografico 1904; Rilievo topografico 1933.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Nuova Carta Topografica d'Italia a scala 1:50.000, Foglio F. 248 - La Spezia.* Ricognizione 1979, produzione 1982.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) (1954) – *Riprese aereofotografiche in b/n. Volo GAI, strisciata 55*.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) (1971) – *Riprese aereofotografiche in b/n.Volo 1971, strisciata 16*.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) (1981) – *Riprese aereofotografiche in b/n.Volo 1981, strisciata 23.*

PASQUARÈ G., ABBATE E., BOSI C., CASTIGLIONI G.C., MERENDA L., MUTTI E., OROMBELLI G., ORTOLANI F., PAROTTO M., PIGNONE R., POLINO R., PREMOLI SILVA I., SASSI F.P. (1992) – *Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000. Guida al rilevamento.* Servizio Geologico d'Italia, Quaderni, serie III, n. 1, 203 pp.

REGIONE LIGURIA (2004) – *Riprese aeree a colori. V.M. 2004,Provincia di La Spezia,Volo 67, strisciata 12*.

REGIONE LIGURIA (2004) – *Riprese aeree a colori. Volo 2004, Provincia di La Spezia,Volo 77, strisciata 8.*

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1928) - *Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000. Foglio 95 – La Spezia*. Prima edizione. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000. Foglio 96 – Massa*. Seconda edizione. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2005) – *Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 Progetto CARG*, F. 248 – La Spezia. 208 pp. APAT, Agenzia Nazionale per la Protezione del'Ambiente e del Territorio – Dipartimento Difesa del Suolo – Regione Liguria.

TREVISAN L., DALLAN L., FEDERICI P.R., GIGLIA G., NARDI R., RAGGI R. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, F. 96 – Massa.* .Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. 57 pp.

11.5 Indagini geognostiche

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (AGI, 1977) – *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.* Roma.

CESTARI F. (2005) – *Prove geotecniche in sito.* 3a edizione, 415 pp. Ed. GEO-GRAPH snc, Segrate (Milano).

CIRIA – CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION (1995) – *The Standard Penetration Test (SPT): Methods and Use.* Report 143. 143 pp.

FROLDI P, LUNARDI P. (1994) – *La deformabilità degli ammassi rocciosi.* Quarry and Construction. Settembre 1994.

GARDNER G.H.F, GARDNER L.W., GREGORY A.R. (1974) – *Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps.* Geophysics, 39, 770-780.

HOULSBY A.C. (1977) – *Routine interpretation of the Lugeon water-test*. Q. Journal Engineering Geology, vol. 9, 151-154.

LUGEON M. (1933) – *Barrages et Géologie*. Rouge, Lausanne.

MARINOS P., HOEK E. (2000) – *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. In: Proceedings of the GeoEng2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, pp. 1422–1446. Technomic publishers, Lancaster.

MARINOS V., MARINOS P., HOEK E. (2005) - *The geological strength index: applications and limitations*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64, 55–65.

MONACO P. (2003) – *Monitoraggio geotecnico*. Testo del Corso. Università degli Studi dell'Aquila, DISAT – Laboratorio geotecnico.

TORNAGHI R. (1981) – *Indagini geotecniche in sito.* Pubblicazioni Tecniche RODIO S.p.A. - Impresa Costruzioni Speciali. 135 pp.

11.6 Idrogeologia

ACAM ACQUE SPA in collaborazione con ARPAL (2012) – *Studio geochimico sull'origine delle anomalie di ferro e manganese rilevate nelle acque sotterranee della Disacrica di Valbosca (Comune della Spezia).* Studio svolto per conto di ACAM ambiente Spa, 69 pp. La Spezia, Maggio 2012.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (2003-09) – *Annali Idrologici 2003 – 2009.*

ARPAL – ACAM ACQUE SPA (2007) – *Studio geochimico delle acque di falda nel sito di Pitelli, ed in particolare nella zona della Centrale Termoelettrica della Spezia "Eugenio Montale"*. A cura di Marini L. & Brozzo G.., 38 pp. ARPAL, ACAM acque Spa, Università degli Studi di Genova – DIP. TE. RIS., Laboratorio di Geochimica. LA Spezia, Novembre 2007.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2011) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 22-23/12/2010.* 11 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (2013) – *Atlante Climatico della Liguria*. 127 pp. ARPAL – Centro funzionale meteoidrologico di Protezione Civile. Grafica KC stampatori in Genova.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2013) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 26-28/10/2012.* 23 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2013) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 10-11/11/2012.* 19 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2013) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 23-24/10/2013.* 17 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2014) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 25-26/12/2013.* 25 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2015) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 16-19/01/2014*. 25 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2014) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 29-30/01/2014*. 17 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria.

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE LIGURE (2015) – *Rapporto di evento meteoidrologico del 14-15/11/2014*. 21 pp. ARPAL - Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile della Regione Liguria

ARPAL - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (2015) – *Dati meteo relativi alle osservazioni in tempo reale*. Osservatorio Meteo-Idrologico della Regione Liguria. http://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/osservazioni.html

BROZZO G. (1998) – *Le acque termo-minerali del Golfo della Spezia*. Luna Editore.

CELICO F. (1986-1988) – *Prospezioni idrogeologiche*. 2 voll., 735 + 528 pp. Liguori Editore, Napoli.

CIVITA M. (2005) – *Idrogeologia applicata e ambientale*. 794 pp. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE (SIMN) – *Annali idrologici 1918-1931*. Sezione autonoma del Genio Civile, Ufficio compartimentale di Pisa. Ministero dei Lavori Pubblici.

SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE (SIMN) – *Annali idrologici 1932-1998*. Sezione autonoma del Genio Civile, Ufficio compartimentale di Genova. Ministero dei Lavori Pubblici, quindi Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali.