



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE
DPGRS N° 239 del 04.12.96
Via Cagliari, 170 - 09170 ORISTANO



OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO

STUDIO DI FATTIBILITA' GENERALE

CUP G16J15001280002

CAT P0616

COMPATIBILITA' IDRAULICA

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA
E GEOTECNICA

All.

CI 3

Il progettista
ing. Massimo Sanna

Scala _____

relazione geologica e geotecnica
geol. Simone Manconi

Data Novembre 2016

compatibilità idraulica
ing. Gian Luca Zuddas

Rev. _____

V.il Resp. del procedimento
ing. Roberto Sanna

Rev. _____

INDICE

1.	Premessa.....	3
2.	Analisi del quadro di riferimento progettuale	3
3.	Riferimenti normativi	14
4.	Ubicazione dell'area in esame	15
5.	Inquadramento Geologico.....	17
6.	Inquadramento Geomorfologico.....	21
7.	Inquadramento Geopedologico.....	29
8.	Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	30
9.	Revisione Analisi idrologica e Idraulica	35
10.	Rilievo dello stato attuale e operazioni preliminari di tracciamento	37
11.	Prove Penetrometriche dinamiche SCPT.....	68
12.	Indagine sismica H.V.S.R. - Descrizione.....	91
13.	Indagine sismica H.V.S.R. – Analisi dei risultati Comune di Solarussa – Traversa n°1	92
14.	Indagine sismica H.V.S.R. – Analisi dei risultati Comune di Zerfaliu – Traversa n°2	96
15.	Analisi geotecnica del sottosuolo	99
16.	Conclusioni	115

1. Premessa

Con Deliberazione n. 31/3 del 17/06/2015 la Giunta regionale ha approvato in via definitiva il "Piano regionale delle infrastrutture". Nel suddetto programma risulta compreso l'intervento denominato "*Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso – Importo € 800.000*" da realizzarsi in regime di convenzione tra l'Amministrazione regionale, in qualità di ente finanziatore e il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese in qualità di soggetto attuatore.

In questo contesto, il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese, nella persona del Direttore del Servizio Dott. Ing. Roberto Sanna, a seguito della Determinazione n° 44 del 18.07.2016, ha conferito incarico allo scrivente Dott. Geol. Simone Manconi, iscritto al n° 513 dell'Ordine dei Geologi della Sardegna per la redazione della relazione geologica e geotecnica a supporto degli interventi progettuali previsti.

La presente relazione avrà cura di esaminare le questioni di carattere geologico e geotecnico connesse con il progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo alle opere di mitigazione del rischio idrogeologico in riva destra del Fiume Tirso.

Nello specifico, l'analisi dei caratteri geologici e geotecnici dei terreni interessati dall'intervento verrà eseguita mediante la programmazione e l'esecuzione di una serie di indagini, sia dirette sia indirette, che saranno eseguite in corrispondenza delle aree d'intervento per ottenere elementi conoscitivi di dettaglio a supporto degli interventi progettuali previsti.

2. Analisi del quadro di riferimento progettuale

La zona oggetto del presente studio è ricompresa nel comprensorio di bonifica "Nord" nei territori comunali di Zerfaliu, Solarussa, Siamaggiore, Oristano e Cabras (OR).

Le aree d'intervento risultano inserite nella fascia di pericolosità fluviale afferente al bacino idrografico del fiume Tirso, le cui zone di esondazione sono state perimetrate all'interno del progetto denominato "Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)".

Inoltre, parte delle aree interessate dall'intervento di mitigazione risultano inserite anche nello Strumento di Pianificazione di Bacino, ossia il P.A.I.

In questo contesto, si evidenzia come nel P.A.I. e nel P.S.F.F. non sia stato studiato il reticolo idrografico secondario, sebbene quest'ultimo sia stato decisamente problematico durante i nubifragi che hanno colpito i territori durante l'evento del 18 novembre 2013, noto più comunemente come "Ciclone Cleopatra".

Proprio durante questo fenomeno, si è avuta esatta coscienza e conoscenza delle criticità idrauliche del reticolo secondario nei Comuni di Solarussa e Zerfaliu.

In particolare, nel progetto di mitigazione del rischio idrogeologico, si è tenuto conto della pericolosità idraulica dei corsi d'acqua in riva destra del fiume Tirso quali il rio Saoru, il rio Nura Craba e il rio Tanui.



Fig.1: Aerofotogrammetria Rio Nura Craba - Solarussa

Nel progetto generale sono stati programmati diversi obiettivi, tra cui:

- Esame dell'attività di pianificazione già svolta in merito alla definizione delle mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni;
- Esame ed eventuale integrazione della pianificazione, anche mediante censimento delle opere di difesa idraulica e delle opere interferenti esistenti;
- Studio e valutazione degli interventi non strutturali e delle azioni strutturali per la riduzione della pericolosità, e di conseguenza del rischio, comprese le azioni strutturali che si rende necessario effettuare nelle opere che interferiscono con i corsi d'acqua;

- Definizione dell'ordine di priorità degli interventi per i diversi corsi d'acqua analizzati e soggetti ad allagamento.

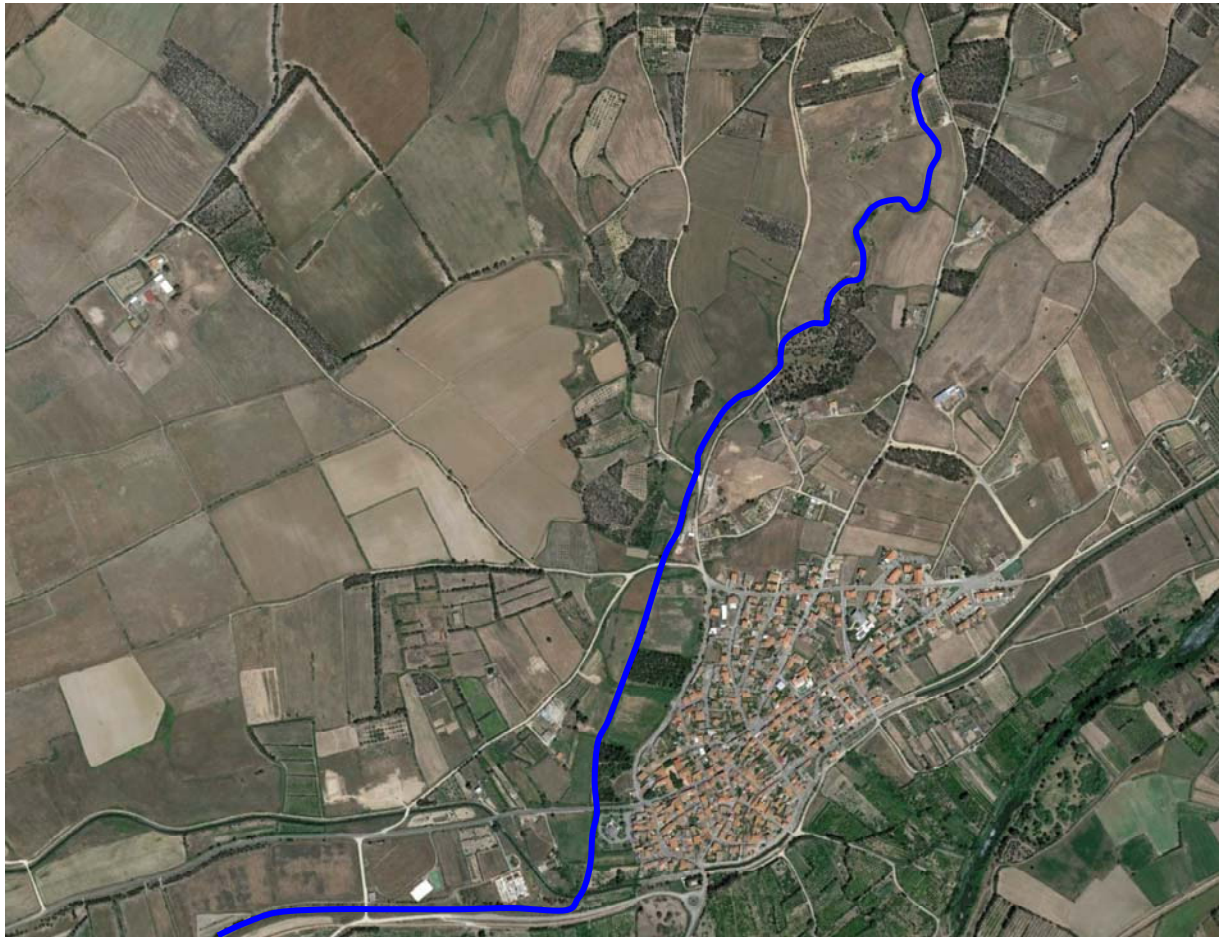


Fig.2: Aerofotogrammetria Rio Saoru - Zerfaliu

La fase progettuale ha avuto modo di esaminare diverse proposte idonee alla riduzione della pericolosità idraulica, o quantomeno alla mitigazione del rischio idraulico.

Sono state studiate varie ipotesi progettuali definendo, così, diversi scenari sui singoli corsi d'acqua. In particolare, tutti gli scenari analizzati prevedono degli interventi essenziali, finalizzati ad un migliore smaltimento delle acque e riduzione degli ingombri all'interno degli alvei.

Questa serie di interventi possono essere così riassunti:

- Manutenzione dei canali, pulizia dalla vegetazione all'interno degli alvei ed eventuale ripristino della savanella centrale rivestita in cls;
- Demolizione dei ponti canali, utilizzati in passato per l'irrigazione ma ormai in disuso;
- Realizzazione di attraversamenti sub-alveo dei ponti tubo presenti lungo i corsi d'acqua.

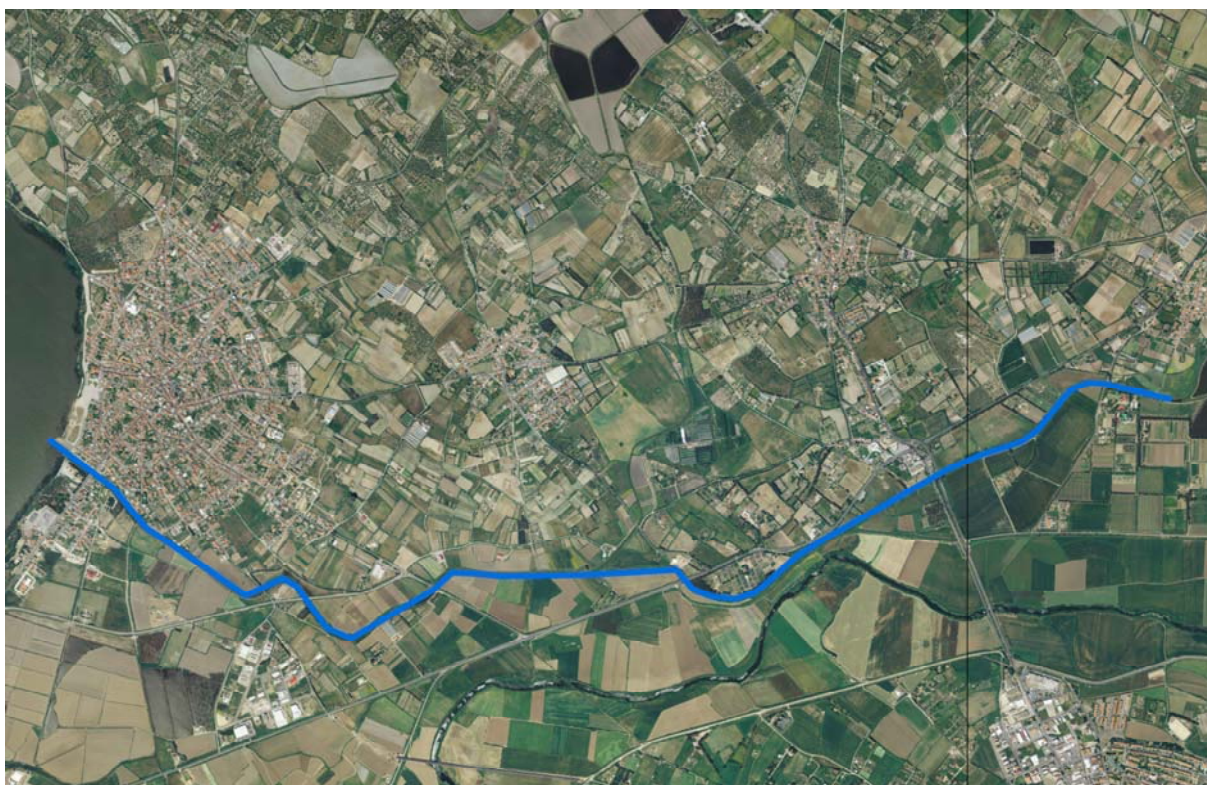


Fig.3: Aerofotogrammetria Rio Tanui - Cabras

Nel complesso, questi semplici interventi garantiscono un migliore deflusso dei corsi d'acqua, a cui però la maggior parte delle volte non corrisponde una sufficiente mitigazione del rischio idraulico capace a deperimetrare le aree esondabili del reticolo idrografico minore.

Soprattutto, quando la presenza di infrastrutture interseca quella che è la direzione di deflusso dei corsi d'acqua, si rilevano delle complessità di difficile risoluzione, ad eccezione delle attività di demolizione e ricostruzione (generalmente non praticabili).

Per questa ragione, nel progetto generale, si è cercato di definire quella che è la soluzione più compatibile in termini di costi e di efficacia dell'intervento riguardo gli effetti della mitigazione del rischio idraulico.

A riguardo, sono stati ricreati diversi scenari di intervento attraverso delle simulazioni idrauliche molto complesse, sviluppate secondo quelle che sono le linee guida del P.A.I., facendo riferimento ai tempi di ritorno del P.A.I. e più in particolare all'onda di piena centenaria ($Tr = 100$ Anni) che delimita la fascia di pericolosità idraulica elevata ($Hi3$).

Per quanto concerne il Rio Nura Craba, tra gli scenari ipotizzati, è stata presa in considerazione la realizzazione di un invaso di laminazione a monte del canale adduttore del Tirso, capace di laminare le piene con battente idrico relativo ai 100 Anni.

La posizione della traversa risulterà sistemata ad una quota di circa 15.30 metri s.l.m. e risulterà distante circa 550 metri dal canale adduttore del Tirso.

In abbinamento alla cassa di espansione è stato inoltre dimensionato un canale diversivo circondariale, in grado di smaltire la portata uscente dalla traversa.

Il tracciato previsto si svilupperà lungo il canale attualmente esistente e una volta incrociato il canale adduttore del Tirso, questo verrà bypassato mediante la realizzazione di un attraversamento, per poi immettersi in un vecchio canale del Consorzio di Bonifica, il quale transita adiacente alla Chiesa di San Gregorio.

Da questo punto, il nuovo canale procederà in direzione sud, fino al congiungimento col rio Nura Craba in prossimità dell'inizio della SP15.

Il nuovo canale avrà una sezione rettangolare nel primo tratto di immissione, per poi assumere una conformazione trapezia fino al Canale Adduttore.

Dal punto di attraversamento con il canale adduttore e fino alla confluenza, avrà uno sviluppo con sezione rettangolare al fine di contenerne l'ingombro.

In funzione della portata che il canale è in grado di smaltire, appena superiore a 15 mc/s, è stata dimensionata la traversa e la bocca tarata.

La prima è prevista con un'altezza pari a 7,17 m, mentre la seconda ha larghezza di 1,5 m e altezza di 1 m. Tali dimensioni dovrebbero garantire anche lo smaltimento dell'eventuale materiale solido, dovuto alla piena.

Attraverso queste ipotesi progettuali viene quindi dimostrata sia la mitigazione del rischio idraulico lungo tutta l'asta del rio Nura Craba, sia il concetto dell'invarianza idraulica dovuta al trasferimento della pericolosità a valle, considerato che la realizzazione dell'invaso di laminazione permette di convogliare volumi d'acqua molto minori sul rio Tanui, mitigando indirettamente gli effetti delle piene anche su quest'ultimo.

Le lavorazioni previste per l'intervento sul Rio Nura Craba possono essere così elencate:

1. Manutenzione del canale esistente, ovvero rimozione della vegetazione che si trova all'interno dell'alveo e ripristino della savanella centrale in cls nei punti in cui risulta essere deteriorata o mancante;
2. Demolizione di tutti i ponti canali che costituivano la vecchia rete irrigua ma che sono ormai in disuso e che costituiscono elemento di ostruzione sulla sezione idraulica;
3. Demolizione dei ponti tubo attualmente presenti lungo il corso d'acqua che producono una notevole riduzione della sezione, soprattutto per via degli ancoraggi, e realizzazione di nuovi attraversamenti in sub-alveo;
4. Stombamento del canale presente all'interno del centro abitato di Solarussa, secondo quanto previsto dalla direttiva dell'A.D.I.S.;

5. Preliminare definizione di un'area di laminazione della piena sulla base dell'orografia naturale del territorio, a monte del canale adduttore del Tirso, senza la realizzazione di argini artificiali;

Nel complesso, l'intervento più sostanziale è certamente rappresentato dall'intervento di stombinamento e dalla realizzazione della Vasca di Laminazione, che dovrà pertanto avere delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche tali da permettere l'invaso dei deflussi provenienti dal Bacino del Rio Nura Craba.



Fig.4: Aerofotogrammetria Rio Nura Craba – Intersezione con Ponte Canale Adduttore Tirso - Solarussa



Fig.5: Aerofotogrammetria Rio Nura Craba – Intersezione con Ponte Canale Adduttore Tirso - Solarussa

Per quanto concerne il Rio Saoru, questo corso d'acqua afferente al reticolo idrografico minore del Comune di Zerfaliu si sviluppa dai rilievi collinari a monte dell'abitato e con sezione trapezia costeggia il centro strico del paese per poi scorrere parallelamente all'argine destro del Fiume Tirso fino a raccordarsi con il Rio Nura Craba in agro di Solarussa.

A differenza del Rio Nura Craba, questo corso d'acqua si presenta regolarizzato con sezione trapezia e savanella centrale rivestita in CLS.

Analogamente al Rio Nura Craba, per il Rio Saoru è stata presa in considerazione la realizzazione di un invaso di laminazione a monte del centro abitato, avente l'obiettivo di ridurre il picco di piena a valle e consentire lo smaltimento della portata di piena durante gli eventi più critici.

La traversa fluviale è stata prevista poco a monte della Strada Provinciale n° 9, secondo delle dimensioni che dovrebbero garantire anche lo smaltimento dell'eventuale materiale solido dovuto alla piena. Tra gli interventi di mitigazione del rischio idraulico è inoltre prevista la ridefinizione di una nuova sezione idraulica del rio Saoru tale da contenere la piena centennale, compresa la manutenzione ordinaria della savanella centrale che attualmente consente lo smaltimento della

portata di magra. Attraverso queste ipotesi progettuali viene quindi dimostrata sia la mitigazione del rischio idraulico lungo tutta l'asta del rio Saoru sia il concetto dell'invarianza idraulica dovuta al trasferimento della pericolosità a valle, considerato che la realizzazione dell'invaso di laminazione permette di convogliare volumi d'acqua molto minori sul rio Tanui, mitigando indirettamente gli effetti delle piene anche su quest'ultimo.

Le lavorazioni previste per l'intervento sul Rio Saoru possono essere così elencate:

1. Manutenzione dei canali, pulizia dalla vegetazione che invade gli alvei e ripristino della savanella centrale rivestita in cls;
2. Demolizione dei ponti canali, utilizzati in passato per l'irrigazione ma ormai in disuso;
3. Realizzazione di attraversamenti sub-alveo dei ponti tubo presenti lungo i corsi d'acqua.
4. Ridefinizione della sezione idraulica del Rio Saoru con suo ampliamento;
5. Preliminare definizione di un'area di laminazione della piena sulla base dell'orografia naturale del territorio, a monte dell'abitato, senza la realizzazione di argini artificiali;



Fig.6: Aerofotogrammetria Rio Saoru – direzione di deflusso con savanella rivestita in CLS



Fig.7: Schema della direzione di deflusso del Rio Saoru in agro di Zerfaliu

Per quanto concerne il Rio Tanui, questo corso d'acqua costituisce l'intersezione tra il Rio Nura Craba di Solarussa e il Rio Saoru di Zerfaliu.

Il corso d'acqua si sviluppa esattamente a valle dell'attraversamento ubicato sulla S.S. 131 "Carlo Felice" in agro di Oristano per poi scorrere in direzione Ovest – Est fino a raggiungere lo Stagno di Cabras.

Questo corso d'acqua si presenta regolarizzato con sezione trapezia e savanella centrale rivestita in CLS per il deflusso della portata di magra.

Lo stato attuale del rio Tanui risulta essere profondamente influenzato da quanto previsto dalle Linee Guida del PSFF relativamente ai corsi d'acqua che sfociano in mare.

Più precisamente è stato assunto che per tutti quei canali che sboccano in mare deve essere prevista una certa quota di *Run-Up* prodotta dall'onda di marea.

A riguardo, per la costa occidentale della Sardegna, è stata prevista una quota di sbocco in funzione della marea e dell'altezza d'onda, che nel caso specifico risulta pari a 1,80 m s.l.m.

Pertanto, qualora l'onda di piena avesse un tirante idrico pari alla quota di Run-Up, non risulta possibile dimostrare il deflusso a mare.

Questa condizione, ovviamente si riflette sul contesto circostante dando luogo a fenomeni di allagamenti diffusi in corrispondenza della foce del corso d'acqua, che trovandosi un "Muro d'acqua" non riesce a scaricare.

Per tale ragione, è stato valutato uno scenario progettuale solo da un punto di vista qualitativo, che prevede la realizzazione di un secondo canale diversivo che permetta di dimezzare la portata effluente lungo il Canale a marea Bennaxi, tale da ridurre il tirante idrico, ovvero la quota dell'argine atto a contenere la piena.

Il secondo canale dovrebbe avere origine in prossimità della rotonda sulla SP94, e sfociare sullo Stagno di Cabras presso il Centro Polivalente del Comune di Cabras.

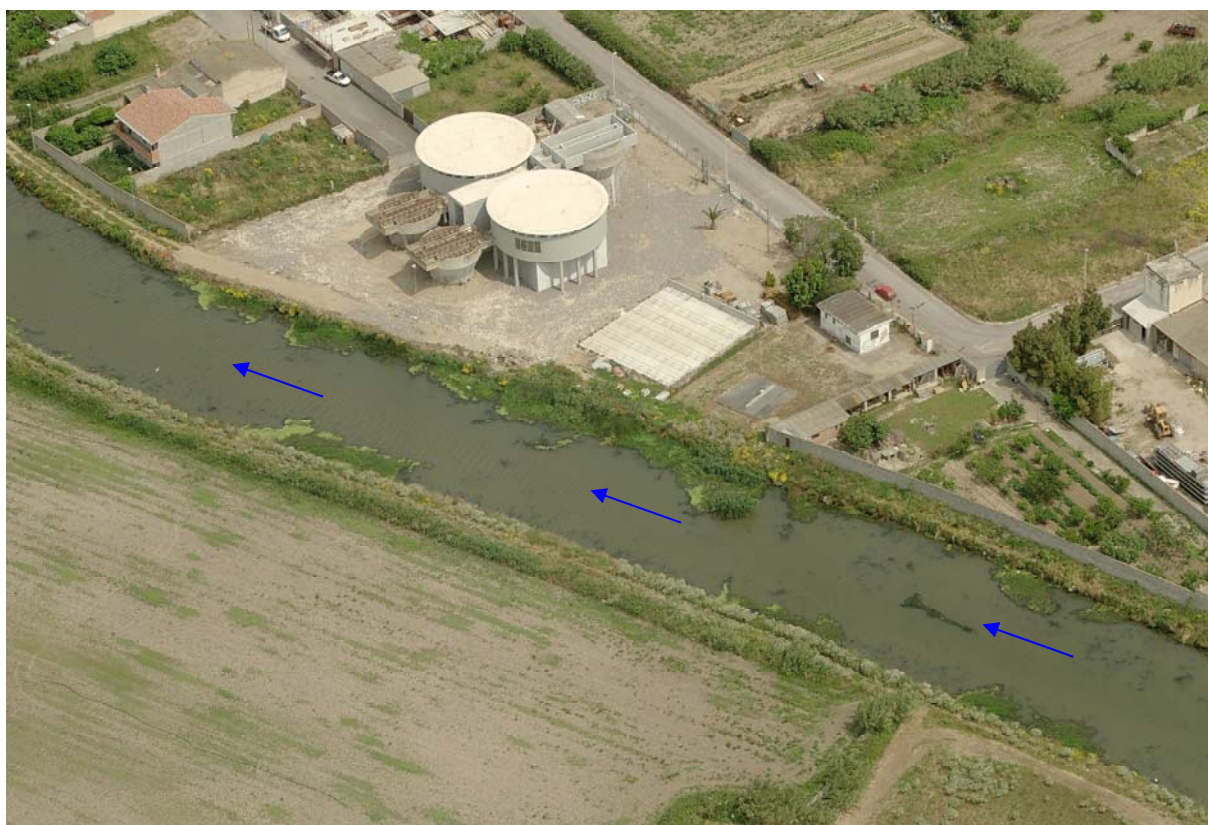


Fig.8: Schema della direzione di deflusso del Rio Tanui in agro di Cabras

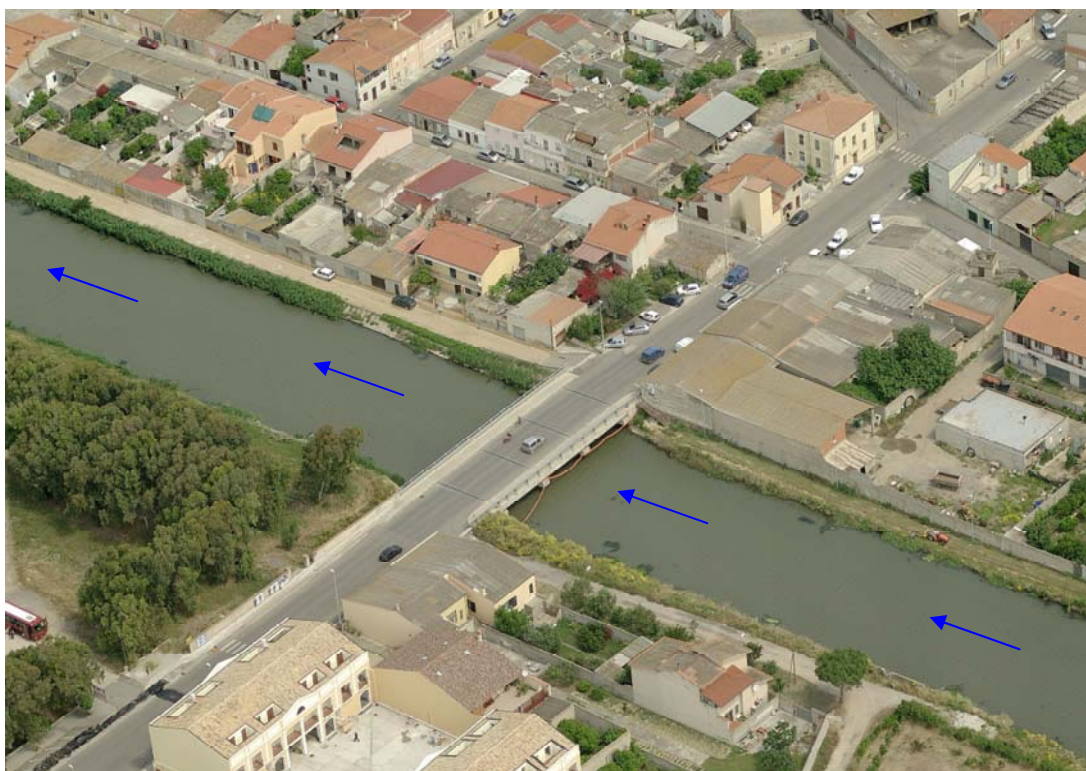


Fig.9: Schema della direzione di deflusso del Rio Tanui in agro di Cabras (Ponte sulla S.P. 6)

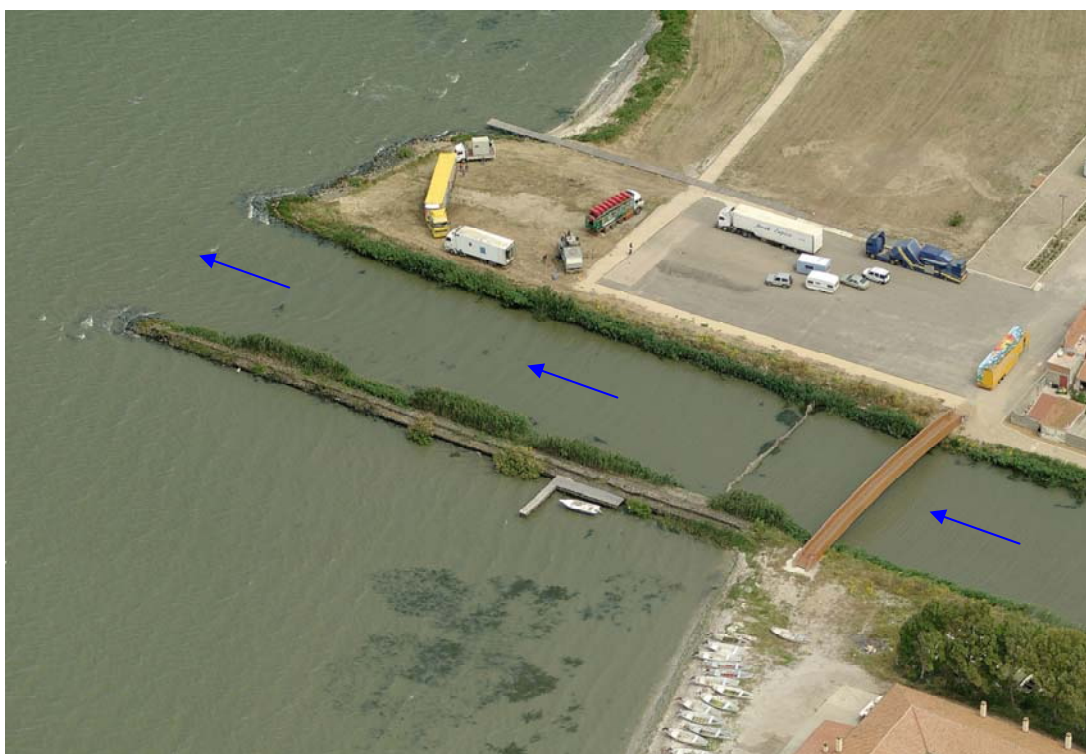


Fig.10: Sfocio del Rio Tanui nello Stagno di Cabras – Canale a Marea Bennaxi

3. Riferimenti normativi

Relativamente a quanto disposto dall'art. 23 comma 1 del D.Lgs 50/2016, il progetto di un'opera pubblica è inteso ad assicurare:

1. Il soddisfacimento dei fabbisogni della collettività;
2. La qualità architettonica e tecnico funzionale e di relazione nel contesto dell'opera;
3. La conformità alle norme ambientali, urbanistiche e di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza;
4. Un limitato consumo del suolo;
5. Il rispetto dei vincoli idro-geologici, sismici e forestali nonché degli altri vincoli esistenti;
6. Il risparmio e l'efficientamento energetico, nonché la valutazione del ciclo di vita e della manutenibilità delle opere;
7. La compatibilità con le preesistenze archeologiche;
8. La razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture;
9. La compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'opera;
10. accessibilità e adattabilità secondo quanto previsto dalle disposizioni vigenti in materia di barriere architettoniche.

L'art. 23 comma 5 stabilisce inoltre che il progetto di fattibilità tecnica ed economica individua, tra più soluzioni, quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire.

Il progetto di fattibilità comprende tutte le indagini e gli studi necessari per la definizione degli aspetti di cui al comma 1, nonché schemi grafici per l'individuazione delle caratteristiche dimensionali, volumetriche, tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare e le relative stime economiche, ivi compresa la scelta in merito alla possibile suddivisione in lotti funzionali. Il progetto di fattibilità deve consentire, ove necessario, l'avvio della procedura espropriativa.

L'art. 23 comma 6 stabilisce inoltre che il progetto di fattibilità è redatto sulla base dell'avvenuto svolgimento di indagini geologiche e geognostiche, di verifiche preventive dell'interesse archeologico, di studi preliminari sull'impatto ambientale e evidenzia, con apposito adeguato elaborato cartografico, le aree impegnate, le relative eventuali fasce di rispetto e le occorrenti misure di salvaguardia; indica, inoltre, le caratteristiche prestazionali, le specifiche funzionali, le esigenze di compensazioni e di mitigazione dell'impatto ambientale, nonché i limiti di spesa dell'infrastruttura da

realizzare ad un livello tale da consentire, già in sede di approvazione del progetto medesimo, salvo circostanze imprevedibili, l'individuazione della localizzazione o del tracciato dell'infrastruttura nonché delle opere compensative o di mitigazione dell'impatto ambientale e sociale necessarie.

A riguardo, la relazione geologica comprende, sulla base di specifiche indagini geologiche, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché il conseguente livello di pericolosità geologica.

La relazione geotecnica invece definisce, alla luce di specifiche indagini, scelte in funzione del tipo di opera e delle modalità costruttive, il modello geotecnico del volume del terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenzerà il comportamento del manufatto stesso. Illustra inoltre i procedimenti impiegati per le verifiche geotecniche, per tutti gli stati limite previsti dalla normativa tecnica vigente, che si riferiscono al rapporto del manufatto con il terreno, e i relativi della risposta sismica locale, la relazione geotecnica deve comprendere l'illustrazione delle indagini effettuate a tal fine, dei procedimenti adottati e dei risultati ottenuti.

Nel complesso, l'analisi geologico-tecnica è articolata secondo i seguenti punti:

- Ubicazione dell'area in esame
- Inquadramento Geologico
- Inquadramento Geomorfologico
- Inquadramento Geopedologico
- Inquadramento Idrogeologico superficiale
- Inquadramento Idrogeologico sotterraneo
- Modello geologico tecnico del sottosuolo
- Caratterizzazione geotecnica dei terreni

4. Ubicazione dell'area in esame

Le aree interessate dall'intervento ricadono in diversi territori della Provincia di Oristano e precisamente comprendono i territori di Zerfaliu, Solarussa, Siamaggiore, Oristano e Cabras.

Per quanto concerne le opere significativamente più importanti, queste risultano ubicate in corrispondenza dei Comuni di Solarussa (per quanto attiene le opere di mitigazione del Rio Nura Craba) e di Zerfaliu (per quanto concerne le opere di sistemazione idraulica del Rio Saoru).

Le restanti opere, relative al corso d'acqua del Rio Tanui, sono sistemate in corrispondenza dei territori di Siamaggiore, Oristano e Cabras.

Nell'eseguire i lavori relativi all'ubicazione, alla caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica, si è fatto riferimento alla seguente cartografia:

- Foglio n. 528 "Oristano Nord", dell'I.G.M.I. (scala 1:50.000);
- Foglio n. 529 "Samugheo", dell'I.G.M.I. (scala 1:50.000);
- Foglio n. 528, sez. I "Oristano Nord", dell'I.G.M.I. (scala 1:25.000);
- Foglio n. 528, sez. IV "San Salvatore", dell'I.G.M.I. (scala 1:25.000);
- Foglio n. 529, sez. IV "Solarussa", dell'I.G.M.I. (scala 1:25.000);
- Foglio n. 528, sez. 030 "Nurachi", CTR (scala 1:10.000);
- Foglio n. 528, sez. 040 "Zeddiani", CTR (scala 1:10.000);
- Foglio n. 528, sez. 070 "Cabras", CTR (scala 1:10.000);
- Foglio n. 528, sez. 080 "Oristano", CTR (scala 1:10.000);
- Foglio n. 529, sez. 010 "Solarussa", CTR (scala 1:10.000);
- Foglio n. 529, sez. 050 "Simaxis", CTR (scala 1:10.000);
- Cartografia catastale comunale (1:2.000);
- Ortofoto Digitali Georeferenziate (1:10.000);
- Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) Comune di Oristano;
- Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) Comune di Solarussa;
- Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) Comune di Zerfaliu;
- Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) Comune di Siamaggiore;
- Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) Comune di Cabras;
- Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R.);
- Piano Regionale Attività estrattive (P.R.A.E.);
- Piano Forestale della Sardegna (P.F.R.S.);
- Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.);
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.);
- Carta Uso del Suolo Regione Sardegna (2008);
- Parco Geominerario Storico ed Ambientale Regione Sardegna;
- Carte Perimetrazioni Aree S.I.C.;
- Carte Perimetrazioni Aree Z.P.S.;
- Carta Geologica della Sardegna;
- D.T.M. 10 m Regione Sardegna;
- D.T.M. 1 m Regione Sardegna;
- Elaborati Progettuali

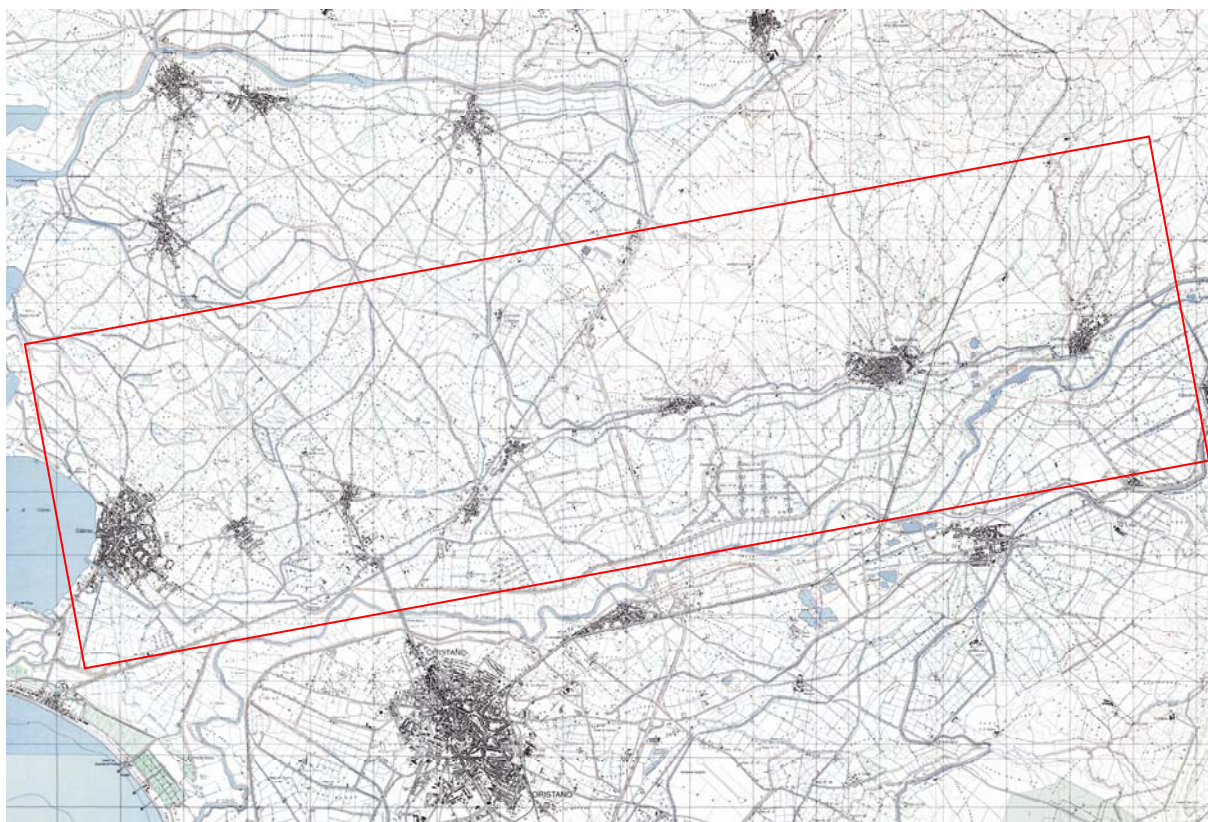


Fig.11: Inquadramento Topografico IGM 25000 Area d'intervento

5. Inquadramento Geologico

L'attuale conformazione geologica e geomorfologica dell'area d'indagine si riallaccia alle sequenze deposizionali alluvionali sia antiche sia recenti del Fiume Tirso.

Le sequenze alluvionali possono suddividersi in due tipi: Depositi alluvionali Pleistocenici denominati "Alluvioni Antiche" e Depositi alluvionali Olocenici o "Alluvioni Recenti".

Per quanto concerne la definizione delle alluvioni antiche, queste sono state recentemente rinominate come "Litofacies del Subsistema di Portoscuso" – Sistema di Portovesme e comunque rappresentano le stesse sequenze delle già nota "Alluvioni antiche", costituite da ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, prevalentemente silico – clastiche, con subordinate sabbie, del Pleistocene Sup. (Quaternario Antico).

Le alluvioni "antiche", che si trovano diffusamente nel territorio comunale di Solarussa e specificatamente nell'area d'intervento, sono sistemate in corrispondenza della conoide alluvionale del Fiume Tirso e dai suoi affluenti.

Per quanto concerne l'aspetto stratigrafico, esse giacciono (in discordanza stratigrafica) sulle vulcaniti plio-quadernarie a partire dalla quota di circa 60 m s.l.m.m., nella parte settentrionale dell'abitato.

L'ossatura del substrato alluvionale è di natura silico-clastica, in particolare la tessitura è costituita da ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice argillosa con intercalati livelli francamente sabbiosi e sabbioso - argillosi; gli elementi litici (frammenti di roccia inclusi nei sedimenti), di dimensioni da centimetriche a decimetriche, sono prevalentemente di composizione quarzoso feldspatica e derivano dallo smantellamento delle rocce granitoidi e in minor misura di quelle metamorfiche paleozoiche. Sono anche presenti elementi litici derivati dalle vulcaniti terziarie.

Il deposito alluvionale antico si presenta molto ben addensato, localmente debolmente cementato; la matrice sabbioso argillosa arrossata indica intensa alterazione in ambiente subaereo in condizioni climatiche caldo-umide (Clima sub-tropicale).



Fig. 12: Rappresentazione fotografica della sequenza deposizionale alluvionale antica lungo gli argini terrazzati del Rio Nura Craba a Solarussa

I Depositi Olocenici dell'Area Continentale sono formati quasi totalmente dalle alluvioni “recenti” del Fiume Tirso, caratterizzano tutto il settore a S dell'abitato di Solarussa fino al limite amministrativo definito dallo stesso Fiume Tirso, e sono prevalentemente costituiti da sabbie e limi argillosi, con locali intercalazioni ghiaiose, di colore bruno, sciolti o debolmente addensati.

Generalmente, questi depositi attuali si rinvencono all'interno delle incisioni fluvio-torrentizie sugli orli di terrazzi antichi, dove si osserva l'aumento della frazione sabbiosa e ghiaiosa dovuto agli apporti locali.

I Depositi Olocenici dell'Area Continentale sono attribuibili a 3 Unità, suddivisibili in funzione della tessitura e della morfologia.

Nel complesso, si possono avere depositi alluvionali terrazzati, depositi alluvionali dei corsi d'acqua attuali e depositi alluvionali costituiti da limi ed argille, ubicati in corrispondenza delle aree depresse, relative alle zone stagnali/paludose.



Fig.13: Inquadramento Geologico settore di Solarussa

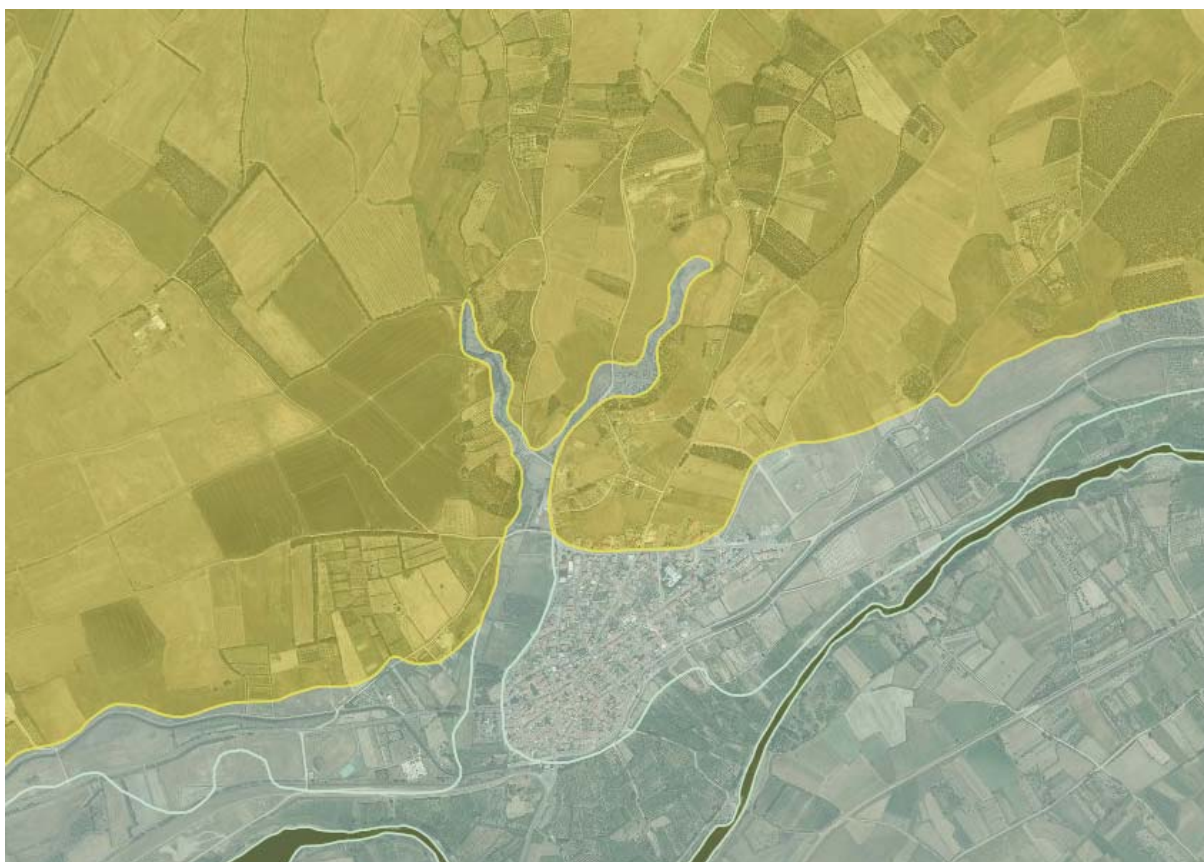


Fig.14: Inquadramento Geologico settore di Zerfaliu

Come si evince dalla documentazione cartografica e come confermato dalle indagini geognostiche eseguite, è emerso che la sequenza stratigrafica interessata dalle opere previste in progetto è costituita da una successione ripetitiva di materiale terrigeno di facies continentale, nella fattispecie alluvioni sia recenti, sia attuali, formate da sabbie e ghiaie prevalenti, con interclusi ciottoli centimetrici, talora decimetrici in matrice limoso – argillosa, e grado di cementazione da medio a molto elevato nei termini più conglomeratici.

Esistono due eccezioni, evidenziate durante il corso delle indagini e relative alla zona di Solarussa e Zerfaliu. In particolare, a Solarussa nella zona posta a Sud del vecchio Oleificio, sono state rilevate sequenze deposizionali plurimetrie di argille limose sature (circa 6.00 metri di spessore) al di sotto delle quali si rinvenivano le alluvioni antiche del Tirso (cementate).

Per quanto concerne la zona di Zerfaliu, la sequenza deposizionale rilevata lungo il corso del Rio Saoru, è costituita per buona parte anche da rocce vulcaniche effusive (Basalti), che risultano sub-affioranti in corrispondenza del settore settentrionale e centrale dell'area d'intervento.

In particolare, proprio nella zona corrispondente alla traversa prevista nel Rio Saoru, il substrato basaltico risulta essere in affioramento (circa 1,00 m dal p.d.c.), mentre nella zona centrale, posta al

confine con il centro abitato, lo spessore della sequenza alluvionale risulta essere maggiore, con substrato roccioso basaltico individuato ad una profondità di circa 4,00 m dal p.d.c.

6. Inquadramento Geomorfologico

Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici, in corrispondenza dell'area d'intervento non si rilevano evidenze di strutture tettoniche degne di nota, anche se tuttavia, la presenza di elementi morfologici quali la direzione dei compluvi, del ruscellamento e di alcune scarpate fanno pensare a degli episodi di neotettonica che hanno interessato la zona del Campidano di Oristano durante il Plio-Quaternario, influenzando l'allineamento delle direttrici principali dei corsi d'acqua.

Tali movimenti, di tipo distensivo, diedero luogo alla formazione del Mar Tirreno e di conseguenza, in Sardegna costituirono l'impulso per la formazione del Graben del Campidano, a cui si susseguirono tutti quegli episodi di vulcanismo effusivo tipici della tettonica distensiva del Pliocene – Pleistocene che caratterizzarono complessivamente quasi tutta la Sardegna centro-occidentale (in prevalenza rocce basaltiche, trachi-basaltiche e andesiti basaltiche).

In linea generale, i lineamenti morfologici del territorio sono determinati sia dalla natura dei litotipi affioranti sia dalla loro composizione e tessitura. A riguardo è evidente come i processi geomorfologici risentano anche di altri fattori, tra tutti i processi esogeni, quali ad esempio i processi gravitativi, fluvio-torrentizi, climatici in generale, strutturali, antropici.

In quest'ottica, la presenza di sedimenti prevalentemente terrigeni di facies alluvionale, abbinati ad un sistema morfo-dinamico di tipo fluviale, hanno costituito l'imprinting morfologico della zona, di tipo complanare, talora leggermente depresso.

Risultano comunque evidenti alcune eccezioni, soprattutto nella parte settentrionale del Comune di Solarussa e di Zerfaliu, laddove il vulcanismo Plio-Quaternario ha obliterato le successioni Mioceniche trasformandole in zone morfologicamente in quota rispetto al territorio circostante. Soprattutto in questi settori si sviluppano gli spartiacque del reticolo idrografico secondario, rappresentato essenzialmente dal Rio Nura Craba e dal Rio Saoru.

Questi corsi d'acqua, certamente meno noti del Tirso, ma non per questo di minore importanza, scorrono rispettivamente all'interno dell'abitato di Solarussa (Rio Nura Craba) e dell'abitato di Zerfaliu (Rio Saoru), i quali si incontrano in corrispondenza dell'asse viario della S.S. 131 Carlo Felice in agro di Oristano, per costituire il Rio Tanui, che sfocia direttamente nello Stagno di Cabras mediante Canale di Marea. Per quanto concerne le forme e i processi naturali legati alla dinamica fluviale, sono stati riconosciuti diversi orli di terrazzo alluvionale, che talvolta risultano completamente cancellati dalle attività antropiche che si sono succedute negli anni, prime fra tutte le cave di inerti, le quali risultano molto diffuse in questi territori vista l'importanza del giacimento (Conoide alluvionale del Tirso).

Il Rio Nura Craba, così come il Rio Saoru, si presenta con un andamento meandriforme, talora alternato a tratti a debole curvatura o sub-rettilinei. L'alveo di piena è limitato da una ripa di erosione che in certi punti supera 1.50 m. localmente interrotta da superfici a debole acclività, che si raccordano all'alveo di magra.



Fig.15: Ripresa fotografica del Rio Nura Craba – si noti l'andamento meandriforme

Per quanto concerne l'evoluzione della dinamica fluviale, il tracciato dei corsi d'acqua è stato oggetto di profonde modifiche rispetto all'attuale.

Le modifiche urbanistiche che hanno interessato il territorio in un recente passato, non hanno mai considerato influente la presenza di un corso d'acqua come il Rio Nura Craba, con deflusso quasi nullo durante gran parte dell'anno. In questi ultimi anni, ci si è resi conto che i mutamenti climatici stanno portando ad una ridefinizione delle curve di possibilità pluviometrica, che devono necessariamente tener conto di eventi molto brevi come durata ma di grande intensità, i quali danno luogo a tutta una serie di criticità dei sistemi artificiali di deflusso delle acque, che quindi dovranno essere necessariamente rivisitati da interventi di mitigazione del rischio.

Infatti, proprio in corrispondenza del tratto tombinato del Rio Nura Craba, si sono avute le criticità più evidenti, che hanno portato all'allagamento di buona parte del centro abitato di Solarussa.

Il motivo di questa inondazione è certamente collegata all'insufficienza idraulica del canale artificiale, le cui dimensioni attuali non sono idonee per garantire lo smaltimento delle portate di piena con i tempi di ritorno indicati dal P.A.I.

Da qui prende il via il progetto di mitigazione del rischio idrogeologico in riva destra del Fiume Tirso, consistente appunto in una laminazione delle piene a monte abbinate alla realizzazione di un canale diversivo che possa smaltire le portate in eccedenza e quindi "alleggerire" il carico idraulico sia sul Rio Nura Craba all'interno dell'abitato di Solarussa, sia sul Rio Saoru.

L'intervento di laminazione delle piene si rende necessario anche per la riduzione della capacità di trasporto solido che, nelle zone a monte dell'abitato è stato preceduto dalla formazione di numerose incisioni e vallecole dovute al ruscellamento concentrato, le quali hanno rimosso gran parte del materiale precedentemente deposto, formando dei veri e propri solchi di erosione fluviale e conseguenti intasamenti delle sezioni idrauliche a valle.



Fig.16: Ripresa fotografica del Rio Nura Craba – si noti l'incisione fluviale

Relativamente alle condizioni topografiche, l'area d'intervento è stata analizzata da un punto di vista sismico, cos' come disciplinato dal D.M. 14.01.2008 e s.m.i.

In particolare è stata analizzata la categoria di sottosuolo in corrispondenza delle opere d'arte principali, vale a dire la traversa lungo il Rio Nura Craba e la traversa lungo il Rio Saoru.

Per quanto concerne le condizioni topografiche, entrambe le aree ricadono in categoria T1, ovvero "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$ "

Per quanto attiene la definizione delle categorie di sottosuolo, ai sensi del D.M. 14/01/2008, l'area d'intervento relativa alle traverse di Solarussa e Zerfaliu corrisponde ad una categoria di sottosuolo prevalente di tipo "B" ovvero: *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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*"

In considerazione del fatto che il Comune di Solarussa e Zerfaliu risultano censiti dal P.A.I. per fenomenologie di dissesto idrogeologico, è stata eseguita una dettagliata analisi geomorfologica e sovrapposizione cartografica con G.I.S. al fine di stabilire se l'area d'intervento risulta o meno a rischio geologico ai sensi delle norme di attuazione del P.A.I. Nel complesso, come si evince dalla documentazione di cui all'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. per il Comune di Solarussa, l'area d'intervento risulta in fascia di pericolosità idraulica da moderata (Hi1) a molto elevata (Hi4). Le nuove fasce di pericolosità idraulica, individuate nello studio di maggior dettaglio eseguito dal Comune di Solarussa, integrano e non sostituiscono le pericolosità idrauliche già vigenti, relative al P.A.I. e al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).

Per quanto rilevato, si ritiene essenziale produrre oltre al presente studio anche lo Studio di compatibilità idraulica così come disciplinato dall'art. 24 delle Norme di Attuazione del P.A.I.

Per quanto concerne la tipologia di opera, trattandosi di un intervento di mitigazione del rischio idrogeologico, la stessa è pertanto ammissibile ai sensi dell'art. 27 comma 1 lettera a), b) e c), i quali stabiliscono che fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 24, in materia di interventi strutturali e non strutturali di sistemazione idraulica e riqualificazione degli ambienti fluviali - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI -nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

- a) le opere e gli interventi idraulici per migliorare la difesa dalle alluvioni e la sicurezza delle aree interessate da dissesto idraulico;
- b) gli interventi per mantenere e recuperare le condizioni di equilibrio dinamico degli alvei dei corsi d'acqua;

- c) le attività di manutenzione idraulica compatibile, compresi i tagli di piante esclusivamente per garantire il regolare deflusso delle acque e gli interventi eseguiti ai sensi del decreto del Presidente della Repubblica 14.4.1993 e della legislazione di settore della Regione Sardegna;

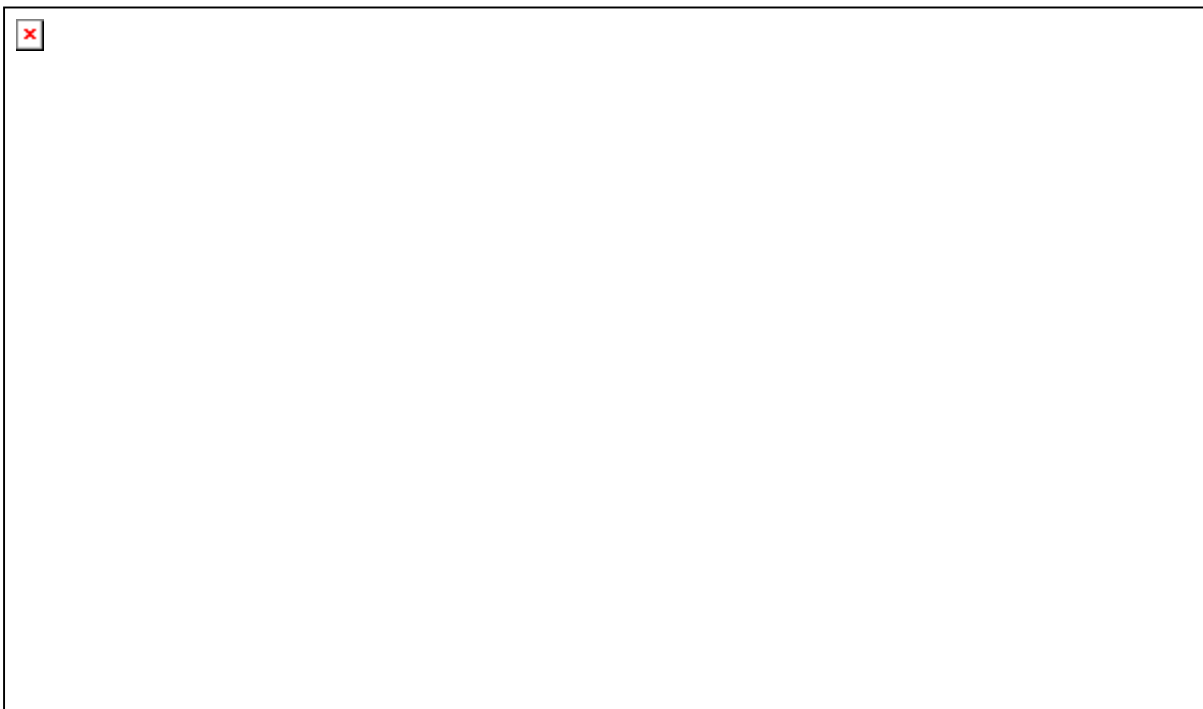


Fig.17: Rappresentazione grafica della pericolosità Idraulica Vigente in corrispondenza dell'area d'intervento (Studio PAI Art. 8 comma 2 Comune di Solarussa)

L'approvazione dello studio di cui all'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. fa riferimento alla Delibera di Consiglio Comunale n°10 del 07/09/2015, attualmente in corso di approvazione da parte del Comitato Istituzionale dell'Agenzia del Distretto Idrografico della Sardegna. Per quanto concerne le nuove fasce di pericolosità si rileva che essendo subentrate le nuove norme di salvaguardia a seguito dell'approvazione del nuovo studio P.A.I. a livello comunale, nel caso di sovrapposizione con fasce di pericolosità di grado diverso, vale comunque la pericolosità più restrittiva, anche se non definitivamente approvata dall'A.D.I.S.

In effetti, da un'analisi degli strumenti di pianificazione territoriale, oltre allo Studio di cui all'art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I., è comunque vigente la perimetrazione del P.A.I. e la perimetrazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n° 2 del 15.03.2016, la quale ribadisce in pratica quanto istituito dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n°2 del 17.12.2015, integrato dalle criticità idrauliche rilevate dai comuni.



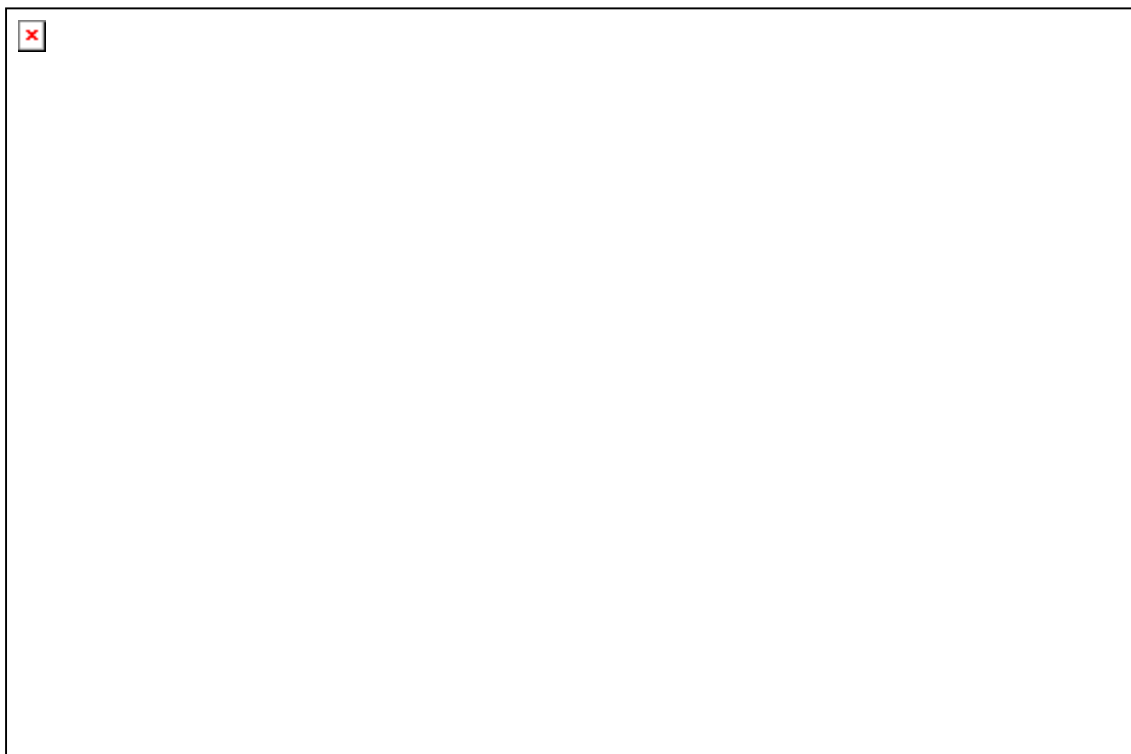


Fig.20: Rappresentazione grafica delle Fasce di pericolosità idraulica di cui al P.A.I. – Tavola B2Tc006

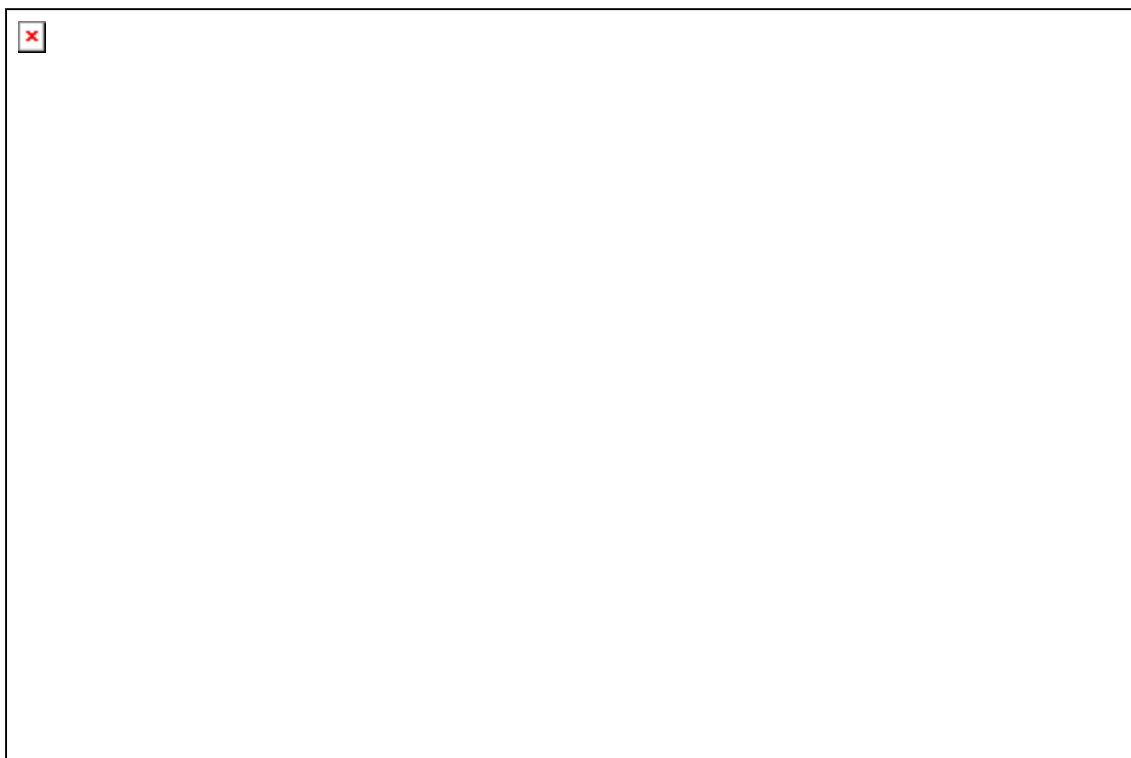


Fig.21: Rappresentazione grafica delle Fasce di pericolosità idraulica di cui al P.A.I. – Tavola B2Tc006

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

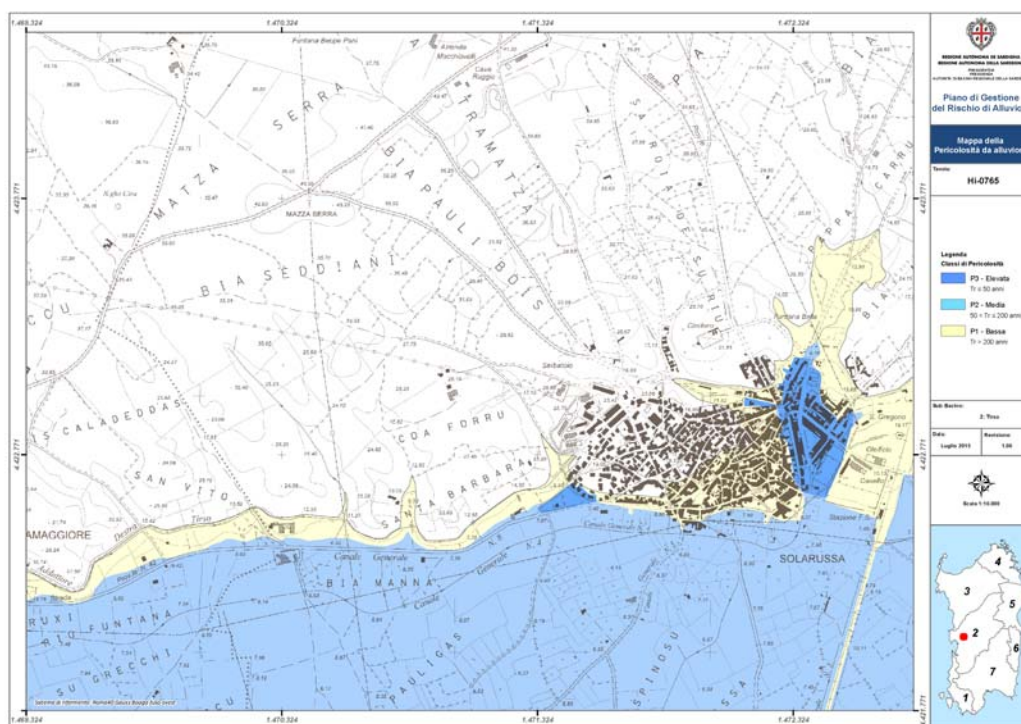


Fig.22: Rappresentazione grafica della Tavola del PGRA- Pericolosità da alluvione – Comune di Solarussa – Tavola Hi 0765

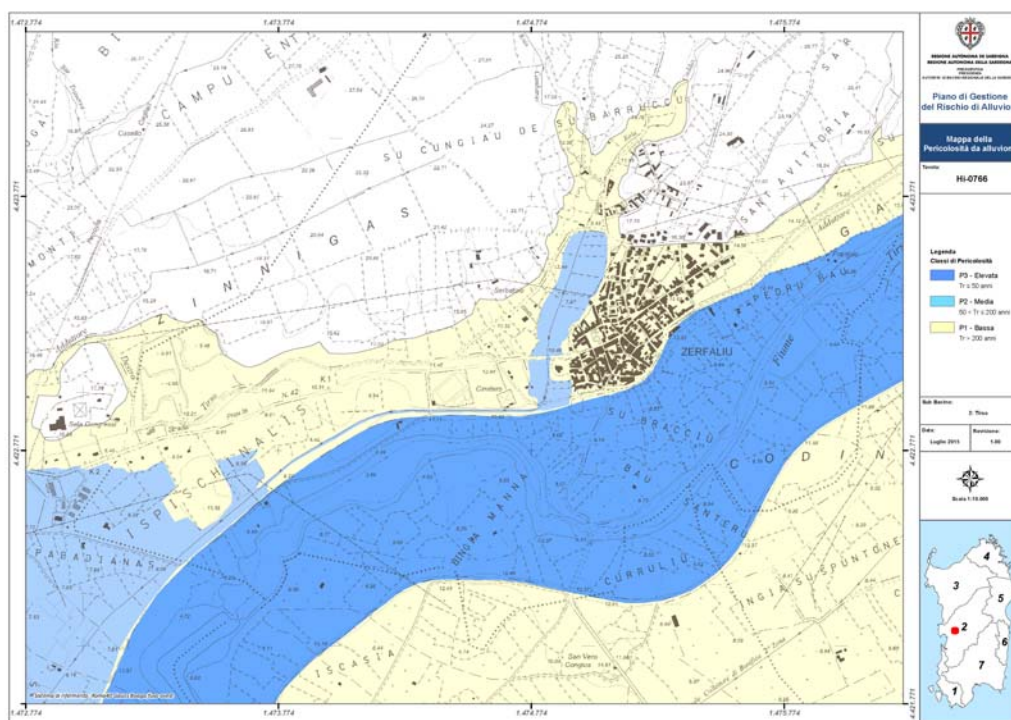


Fig.23: Rappresentazione grafica della Tavola del PGRA- Pericolosità da alluvione – Comune di Solarussa – Tavola Hi 0766

7. Inquadramento Geopedologico

L'area rilevata si presenta naturale, con livelli pedogenizzati da molto importanti (laddove il suolo risulta avere spessore superiori al metro) a scadenti (in quelle aree in cui la presenza del substrato roccioso affiorante ne determina lo spessore).

Generalmente, gli spessori più rilevanti si trovano in quelle zone dove l'accumulo sedimentario si è reso possibile.

Per quanto attiene l'analisi geopedologica possiamo distinguere due settori: il primo, settentrionale dove si evincono paesaggi di rocce effusive (Basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene Superiore e relativi depositi di versante e colluviali.

Il secondo settore, vallivo relativo alla piana alluvionale del Fiume Tirso, ove si evincono in prevalenza suoli su alluvioni e arenarie eoliche cementate del pleistocene, e subordinatamente suoli su alluvioni, conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene.

In generale, per l'area d'intervento lo spessore del suolo è poco rilevante per la presenza delle sequenze alluvionali pleistoceniche cementate, ricche in litici silicei che conferiscono delle caratteristiche sterili ai livelli pedogenizzati eventualmente presenti.

L'analisi geopedologica ha appurato che i suoli presenti nel sito oggetto di intervento si impostano su aree da sub-pianeggianti a pianeggianti, con prevalente utilizzazione agricola.

I livelli pedogenizzati rilevabili in corrispondenza delle alluvioni pleistoceniche ed oloceniche sono caratterizzati da profili di tipo A-Bt-C, A-Btg-Cg e subordinatamente A-C, profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso-argillosi in superficie, da franco sabbioso-argillosi ad argillosi in profondità, da permeabili a poco permeabili, da sub-acidi ad acidi, da saturi a desaturati.

Si rilevano altresì livelli pedogenizzati caratterizzati da profili A-C, e subordinatamente A-Bw-C e subordinatamente A-C, profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili, neutri e saturi. Nel complesso, per le due varietà di suoli rilevati, si evince eccesso di scheletro e drenaggio superficiale molto lento.

Per quanto concerne i suoli su posizioni in corrispondenza delle vulcaniti basaltiche, si possono rilevare profili con roccia sub-affiorante e subordinatamente profili A-R e subordinatamente A-Bw-R, poco profondi, franco argillosi, permeabili, neutri e saturi.

Per quanto attiene questi livelli pedogenizzati si evince rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, a tratti idromorfia dovuta al substrato basaltico che costituisce da sbarramento impermeabile.

Ai sensi della U.S.D.A. Soil Taxonomy 1988, per quanto concerne la pedogenesi sulle alluvioni pleistoceniche ed oloceniche, si possono distinguere i seguenti suoli predominanti: Typic, Aquic e Ultic Palexeralfs (Alfisuoli). Per quanto concerne la pedogenesi sulle vulcaniti basaltiche, si possono distinguere i suoli predominanti in: Lithic Xerorthents e Rock Outcrop.

8. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea

L'idrografia superficiale caratterizzante tutta l'area di studio è direttamente connessa con le caratteristiche idrogeologiche del substrato presente in tutta l'area d'intervento.

In quest'ambito, le principali unità idrogeologiche presenti nell'area sono rappresentate dalle sequenze vulcaniche effusive basaltiche che costituiscono gli spartiacque della zona e le sequenze deposizionali pleistoceniche ed oloceniche che costituiscono il materasso fluviale nel quale i corsi d'acqua della zona sviluppano il loro percorso, generalmente di tipo meandriforme e subordinatamente di tipo rettilineo.

Per quanto concerne l'idrografia superficiale presente nel territorio di Solarussa, si possono rilevare due bacini idrografici ben distinti, ossia quello del Fiume Tirso e quello del Riu di Mare Foghe che fa parte dei "Bacini Idrografici minori fra quelli del Fiume Tirso e del Fiume Temo.

In riferimento a quanto disposto dal "Piano Di Tutela Delle Acque" (art. 44 D.Lgs 152/99 e s.m.i., art. 2 L.R. 14/2000, Direttiva 2000/60/CE), nell'ambito del Bacino Unico Regionale (L. 183/89), questi due bacini appartengono rispettivamente alla Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) Tirso e alla Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) Mare Foghe.

Fatta eccezione per il Fiume Tirso, il resto del territorio, indipendentemente dal bacino di appartenenza, presenta un reticolo idrografico poco sviluppato, di tipo subdendritico, formato da aste di limitato sviluppo lineare, a basso grado di gerarchizzazione e con direzioni di scorrimento NW-SE e NE-SW correlate alle principali lineazioni neotettoniche; si tratta sempre di corsi d'acqua a regime stagionale e carattere torrentizio.

Alle Unità Idrografiche Omogenee, appartengono le seguenti unità idrogeologiche:

- 1) Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie;
- 2) Unità delle vulcaniti Plio-Quaternarie

L'unità idrogeologica delle alluvioni Plio-Quaternarie è caratterizzata da terreni con permeabilità per porosità ed è in generale, questa risulta essere medio-bassa per la presenza di matrice argillosa e per il grado elevato di addensamento del materiale, tuttavia, localmente può essere media o alta in livelli grossolani con ridotta o assente frazione argillosa.

L'Unità idrogeologica delle Vulcaniti Plio-Quaternarie comprende rocce vulcaniche effusive basaltiche, caratterizzate da permeabilità per fessurazione, la quale in generale risulta essere medio-bassa e bassa, tuttavia, localmente, nelle facies maggiormente fratturate e con scarsi riempimenti detritici, può essere media o alta sempre per fessurazione e subordinatamente per porosità.

Di frequente, nei livelli profondi, la presenza d'acqua produce idromorfia con formazione di materiali argillosi estremamente plastici di colore verde-grigiastro.

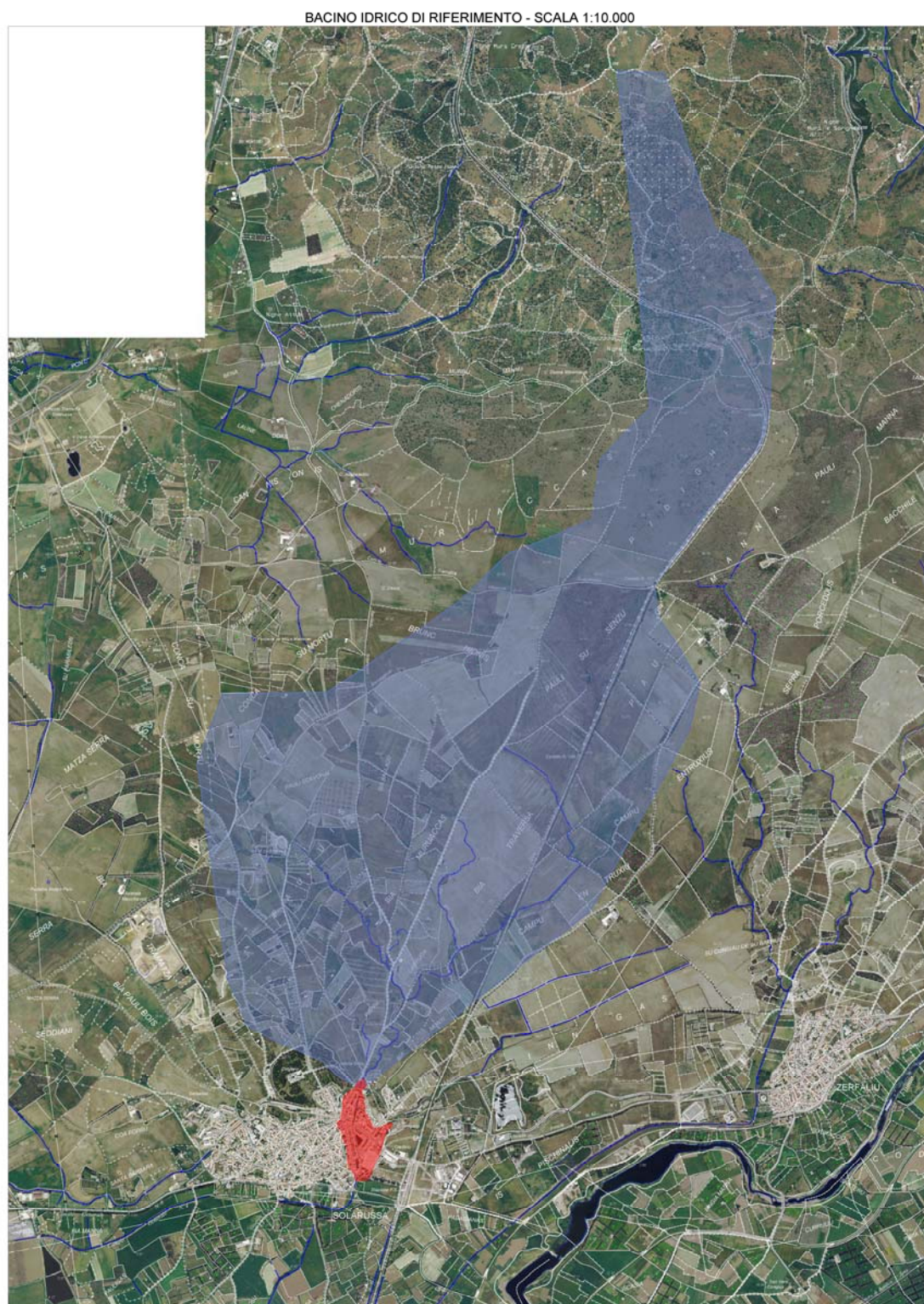


Fig.24: Rappresentazione grafica Bacino Idrografico Rio Nura Craba

Il corso d'acqua principale presente nell'area d'intervento è indubbiamente rappresentato dal Fiume Tirso, che ha origine nell'altopiano granitico di Buddusò per poi sfociare a mare nel Golfo di Oristano.

Il Fiume Tirso Attraversa sia il territorio di Zerfaliu sia di Solarussa secondo una direzione di deflusso E-SW con alveo naturale delimitato da un sistema arginale che delimita l'area golenale, la quale, in certi tratti, ha un'estensione complessiva di circa 600 metri.

L'argine destro, costituisce un'importante opera di difesa idraulica longitudinale che preserva da inondazioni, almeno per gli eventi di media criticità, i centri abitati di Solarussa e di Zerfaliu.

La diga Sa Cantoniera "Eleonora d'Arborea", realizzata a monte nel territorio comunale di Busachi permette inoltre, con i suoi elevati volumi disponibili per la laminazione delle piene, un deflusso controllato delle acque anche in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi.

Per quanto concerne il territorio Comunale di Solarussa, un altro corso d'acqua estremamente importante, che ha caratterizzato da un punto di vista idraulico tutto il centro abitato è rappresentato dal Rio Nura Craba.

Questo corso d'acqua si sviluppa a Nord dell'abitato di Solarussa come "Rio Bia Traversa " e "Rio Pauris" che scorrono in direzione Nord-Sud, convergendo nella periferia Nord del perimetro urbano.

Dal punto di giunzione, questi corsi d'acqua prendono la denominazione di Rio Nura Craba, chiamato generalmente "Canale Generale n. 4", il quale scorre parallelamente alla strada comunale Bauladu – Solarussa.

Il Rio Nura Craba viene attraversato dal canale adduttore del Tirso mediante un sistema a "Ponte Canale" sistemato nella cinta esterna dell'abitato di Solarussa (Via Grazia Deledda).

Da questo punto, il canale risulta tombato all'interno del tessuto urbano di Solarussa per tutto il suo tragitto (Circa 1.2 Km); Oltre questo tratto, il corso d'acqua prosegue a cielo aperto con sezione idraulica regolarizzata a sezione trapezia e savanella centrale rivestita in cls.

Questo tipo di sistemazione risulta particolarmente importante in quanto assume la funzione di dreno dei terreni oggetto di bonifica.

Per quanto concerne il territorio comunale di Zerfaliu, il corso d'acqua più importante oltre al Fiume Tirso, è certamente rappresentato dal Rio Saoru.

Questo corso d'acqua si sviluppa a Nord dell'abitato di Zerfaliu come "Rio Bia Traversa " e "Rio Pauris" che scorrono in direzione Nord-Sud, convergendo nella periferia Nord del perimetro urbano.

Dal punto di giunzione, questi corsi d'acqua prendono la denominazione di Rio Roia Caddas , il quale scorre in un alveo debolmente inciso, all'interno di alcune zone depresse un tempo utilizzate come cave di inerti..

Il Rio Saoru si incrocia con un altro corso d'acqua denominato Rio Roia Cambaras, nel settore immediatamente a Nord del centro abitato, per poi scorrere verso valle con la denominazione di Rio Saoru, fino al territorio Comunale di Solarussa e Siamanna.

In corrispondenza dell'attraversamento fluviale sulla S.S. 131, questi corsi d'acqua si uniscono dando luogo al Rio Tanui che sfocia mediante canale di marea nello Stagno di Cabras.

L'intervento di sistemazione idraulica è previsto anche in corrispondenza del Rio Saoru poiché proprio durante l'evento calamitoso del Novembre 2013 (Ciclone Cleopatra), si è potuto constatare la notevole rilevanza in termini di deflusso e di potenziali esondazioni di questo corso d'acqua, che manifesta i suoi effetti più importanti soprattutto nella Zona Sud-Ovest dell'abitato di Solarussa, dando luogo a delle fasce di pericolosità idraulica molto evidenti, rilevate nello Studio di cui all'Art. 8 comma 2 delle N.A. del P.A.I. del Comune di Solarussa

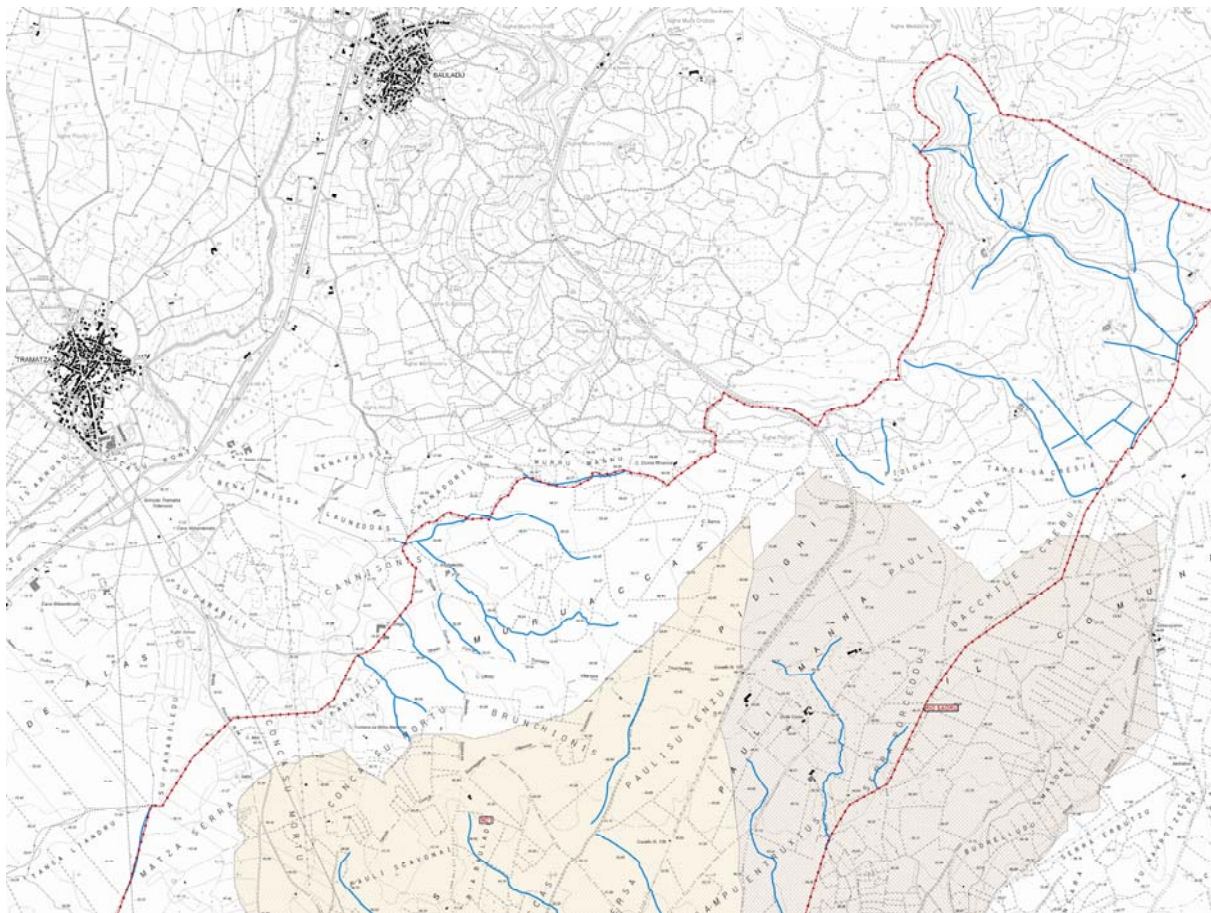


Fig.25: Rappresentazione grafica dei Bacini Idrografici del Rio Nura Craba – Rio Saoru – Settore Nord

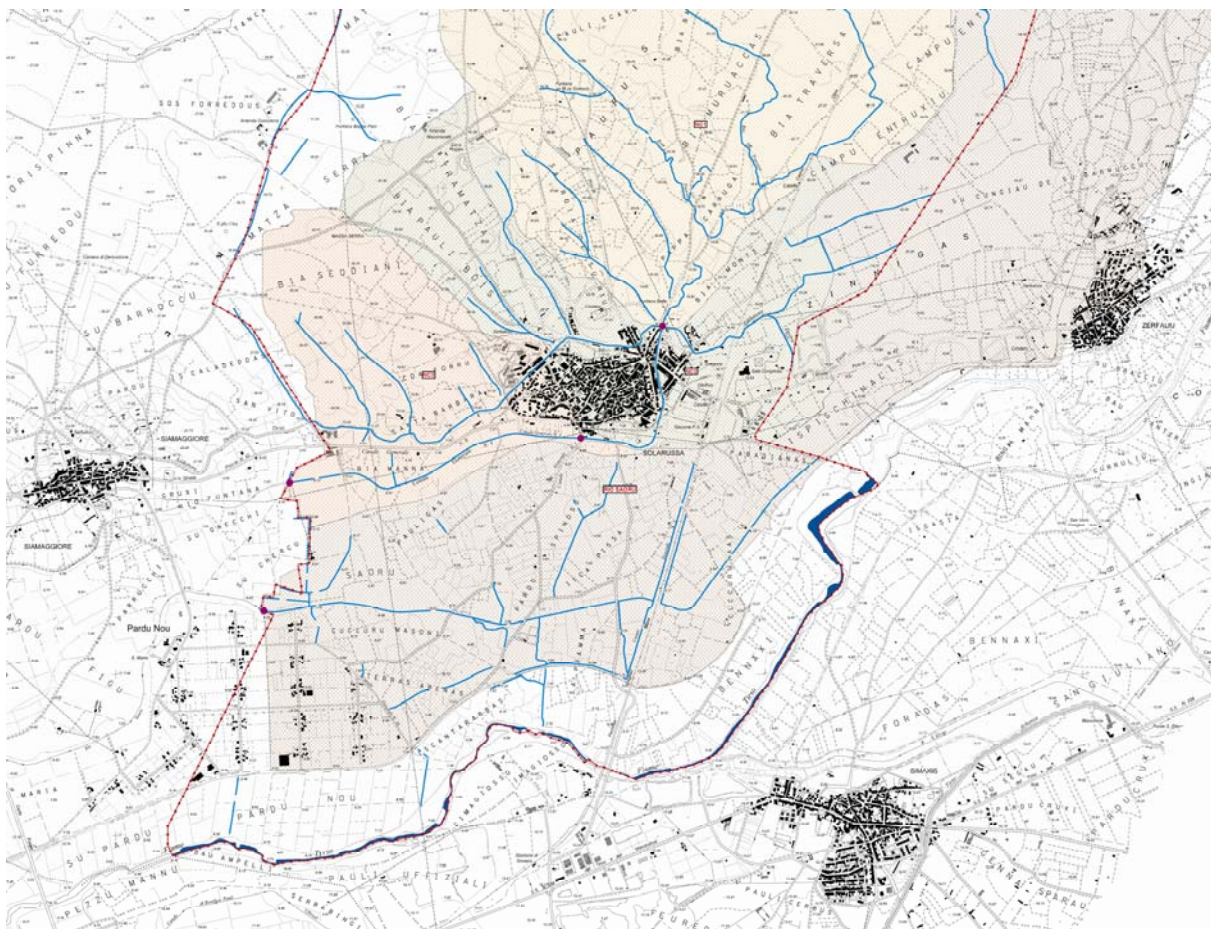


Fig.26: Rappresentazione grafica dei Bacini Idrografici del Rio Nura Craba – Rio Saoru – Settore Sud

Per quanto concerne le caratteristiche idrologiche afferenti al bacino idrografico del Rio Nura Craba, avremo che:

- Superficie bacino: 12.10 Km²
- Altezza media del Bacino: 26.89 m.s.l.m.
- Quota sezione di chiusura: 5.14 m.s.l.m.
- Lunghezza asta principale: 3.11 Km
- Pendenza media asta fluviale: 0.0016 m/m
- Portata Tr = 50 Anni: 63.37 mc/s
- Portata Tr = 100 Anni: 72.10 mc/s
- Portata Tr = 200 Anni: 80.79 mc/s
- Portata Tr = 500 Anni: 92.22 mc/s

Per quanto concerne le caratteristiche idrologiche afferenti al bacino idrografico del Rio Saoru, avremo che:

- Superficie bacino: 13.61 Km²
- Altezza media del Bacino: 28.32 m.s.l.m.
- Quota sezione di chiusura: 6.75 m.s.l.m.
- Lunghezza asta principale: 10.58 Km
- Pendenza media asta fluviale: 0.0019 m/m
- Portata Tr = 50 Anni: 64.35 mc/s
- Portata Tr = 100 Anni: 73.19 mc/s
- Portata Tr = 200 Anni: 81.98 mc/s
- Portata Tr = 500 Anni: 93.54 mc/s

9. Revisione Analisi idrologica e Idraulica

Per quanto concerne lo studio idrologico e idraulico, è stata eseguita una revisione di tutti i dati fin qui determinati, con lo sviluppo di un modello di calcolo decisamente più appropriato alla reale situazione idrologica e idraulica che interessa il Rio Nura Craba, il Rio Saoru ed il Rio Bennaxi.

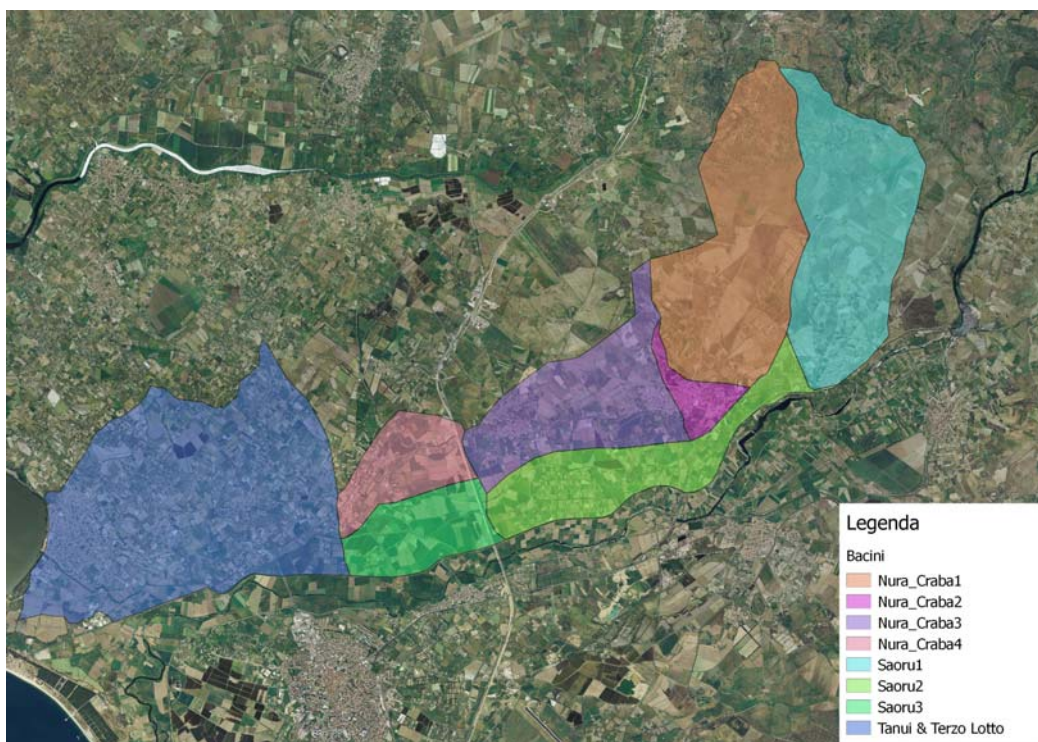


Fig.27: Rappresentazione grafica dei Bacini Idrografici del Rio Nura Craba - Rio Saoru – Rio Tanui

Per quanto attiene l'analisi idrologica, le caratteristiche geomorfologiche dei Bacini Idrografici risultano le seguenti:

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE BACINI IDROGRAFICI

	<i>Ab [Kmq]</i>	<i>La [m]</i>	<i>im [%]</i>	<i>z [m]</i>	<i>tc [h]</i>
Nura Craba 1	12.687	7.871	1.479	57,9	3,5
Nura Craba 2	14.069	8.731	0,994	53,6	4,0
Nura Craba 3	22,17	13.673	0,219	41,9	8,0
Nura Craba 4	25.839	17.083	0,119	37,5	9,0
Saoru 1	11.361	8.608	1.458	60,8	3,0
Saoru 2	17.982	16.531	0,110	42,4	5,5
Saoru 3	21.910	19.623	0,068	36,3	7,0
Totale	69.707	27.376	0,078	31,7	17,0

Da cui si evincono le seguenti portate di progetto, così come rappresentate nello Studio di Compatibilità Idraulica allegata al progetto.

PORTATE DI PIENA CONDIZIONE EX-ANTE

	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500
Nura Craba Ex-Ante	47.16	56.249	65.368	77.344
Saoru Ex-Ante	50.897	60.576	70.275	83.077
Tanui Ex-Ante	105.64	123.891	142.061	165.817

10. Rilievo dello stato attuale e operazioni preliminari di tracciamento

La redazione dello studio geologico e geotecnico è stato preceduto da una un rilievo di dettaglio dello stato attuale, a cui è seguito un incontro propedeutico con i tecnici del Consorzio di Bonifica dell'Oristanese, al fine di stabilire compiutamente il quadro delle esigenze tecniche da soddisfare a supporto della redazione dello studio di fattibilità tecnica ed economica.

Nello specifico, sono state eseguite delle operazioni preliminari consistenti in un sopralluogo preliminare a cui è seguito un rilievo fotografico delle aree d'intervento e successiva programmazione delle indagini geognostiche da eseguirsi, anche in funzione degli spazi disponibili esistenti.

Una volta stabilita l'esatta ubicazione dei punti da indagare, è stata programmata una campagna di indagini per la ricerca di sotto-servizi eventualmente presenti nelle fasce di ampliamento dei canali.

In effetti, come è stato possibile rilevare in fase di sopralluogo, in corrispondenza dell'argine sx sul Rio Nura Craba, è presente un collettore di proprietà del CBO che alimenta gli idranti ubicati all'interno dei terreni per lo sfruttamento dell'acqua irrigua.

Per tale ragione, questa zona inizialmente prescelta per l'esecuzione dei sondaggi geognostici, è stata ritenuta non investigabile per la presenza di questi sotto-servizi.

A riguardo, si è preferito infittire le analisi geologiche e geotecniche in corrispondenza di quei tratti laddove i canali diversivi del Rio Nura Craba e del Rio Saoru verranno realizzati ex-novo.

Le indagini eseguite in corrispondenza delle opere d'arte più importanti come le traverse, saranno corredate da prove di laboratorio per una caratterizzazione geotecnica più precisa dei materiali prelevati dagli scavi.

A riguardo, verranno preferite quelle prove che consentiranno di determinare i parametri caratteristici dei materiali analizzati, quali coesione, angolo di attrito interno, peso di volume e coefficiente di permeabilità.

Trattandosi di un progetto di fattibilità tecnica ed economica, pare opportuno sottolineare che le opere in epigrafe potranno essere realizzate solamente in parte, oppure essere delocalizzate, pertanto, in fase di progettazione definitiva- esecutiva sarà comunque necessario approfondire gli aspetti geomeccanici dei terreni in corrispondenza delle maggiori opere d'arte e comunque laddove le indagini non risulteranno essere svolte, anche se sostanzialmente, la natura geomeccanica dei terreni è sempre di natura granulare.

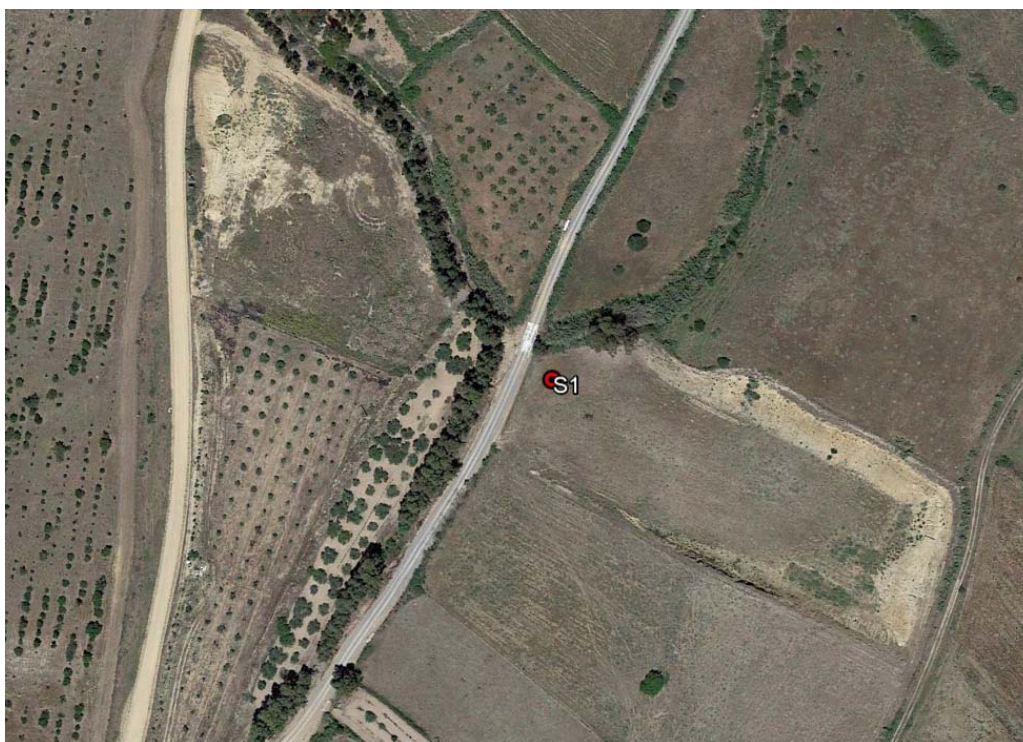


Fig.28: Aerofotogrammetria Sondaggio S1



Fig.29: Ripresa fotografica Sondaggio S1 – Rio Nura Craba Solarussa

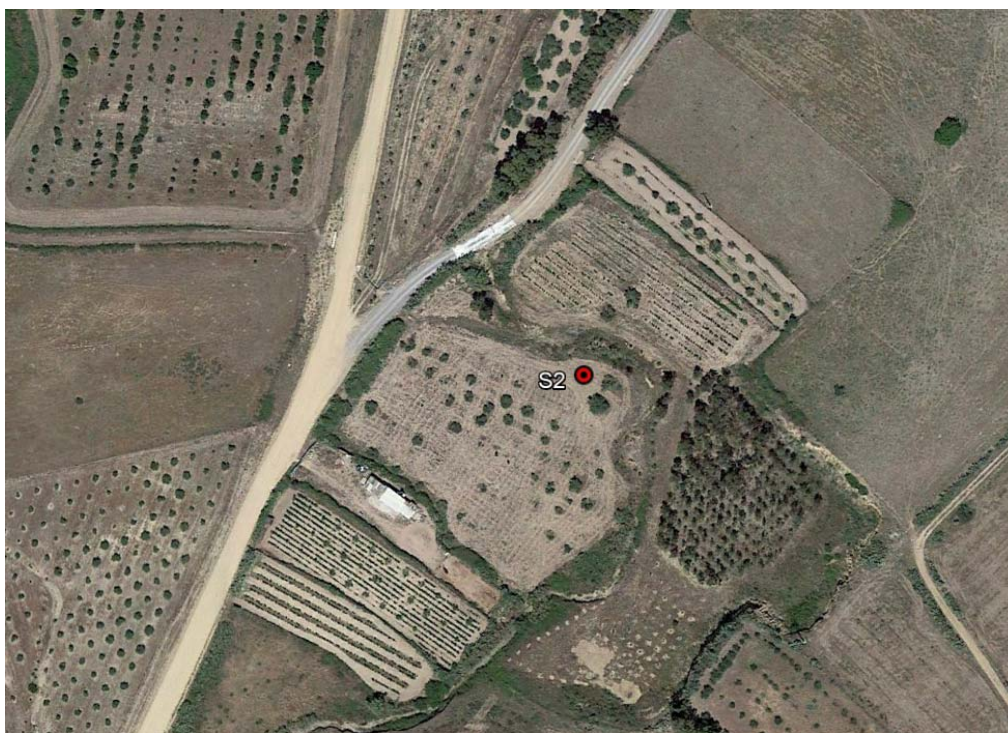


Fig.30: Aerofotogrammetria Sondaggio S2 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.31: Ripresa fotografica Sondaggio S2

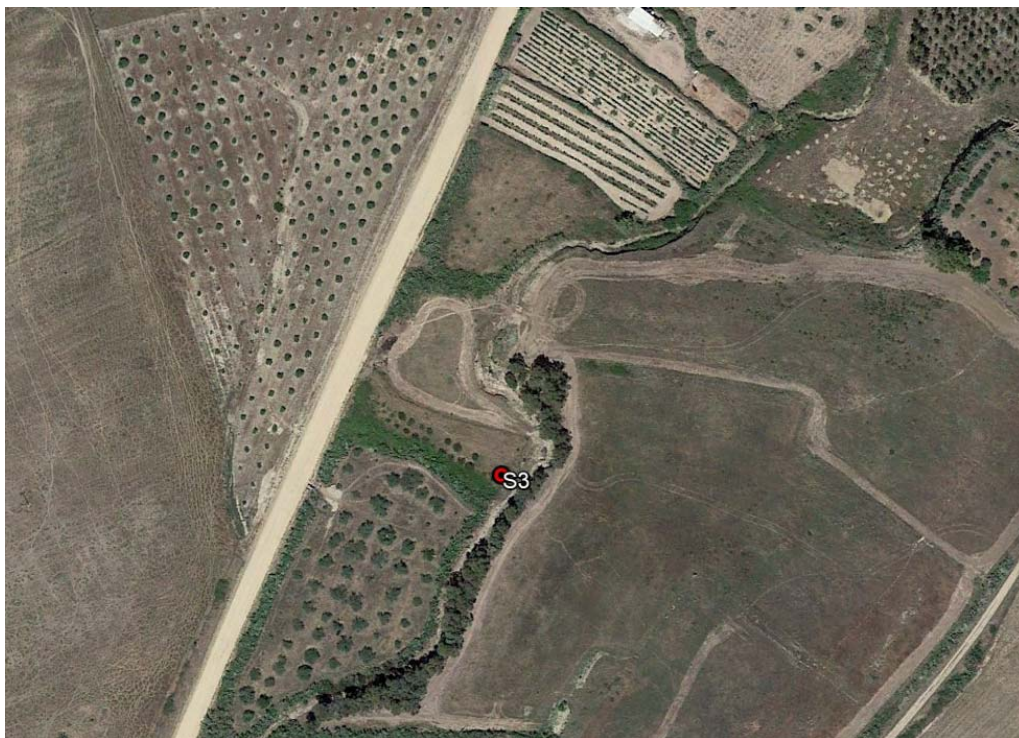


Fig.32: Aerofotogrammetria Sondaggio S3 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.33: Ripresa fotografica Sondaggio S3

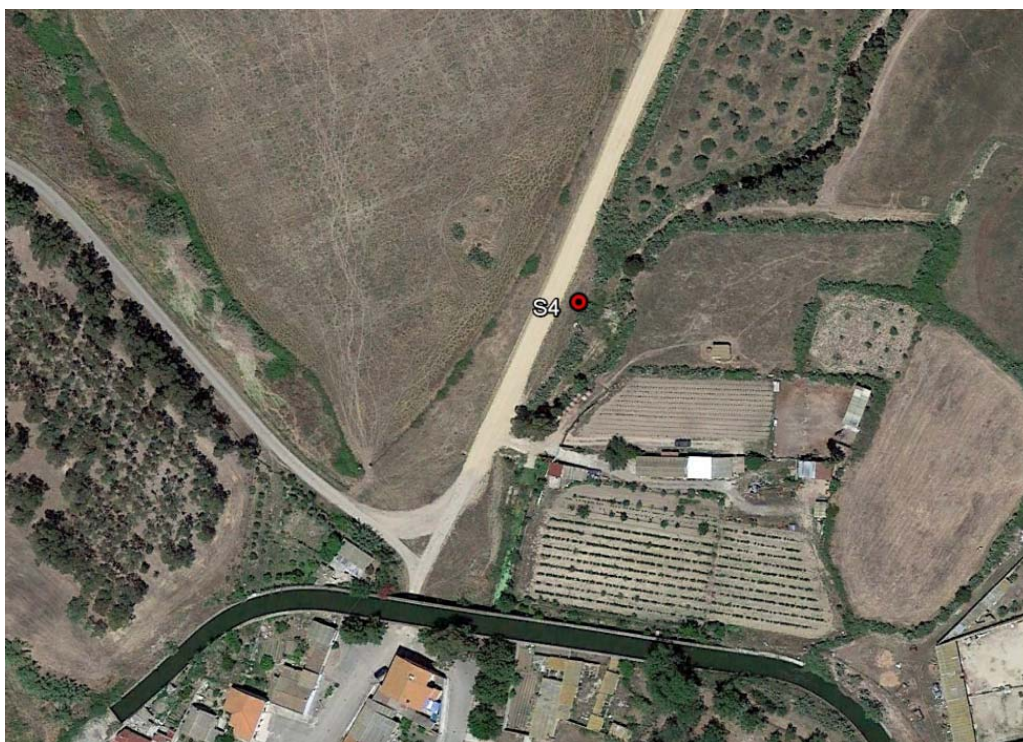


Fig.34: Aerofotogrammetria Sondaggio S4 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.35: Ripresa fotografica Sondaggio S4

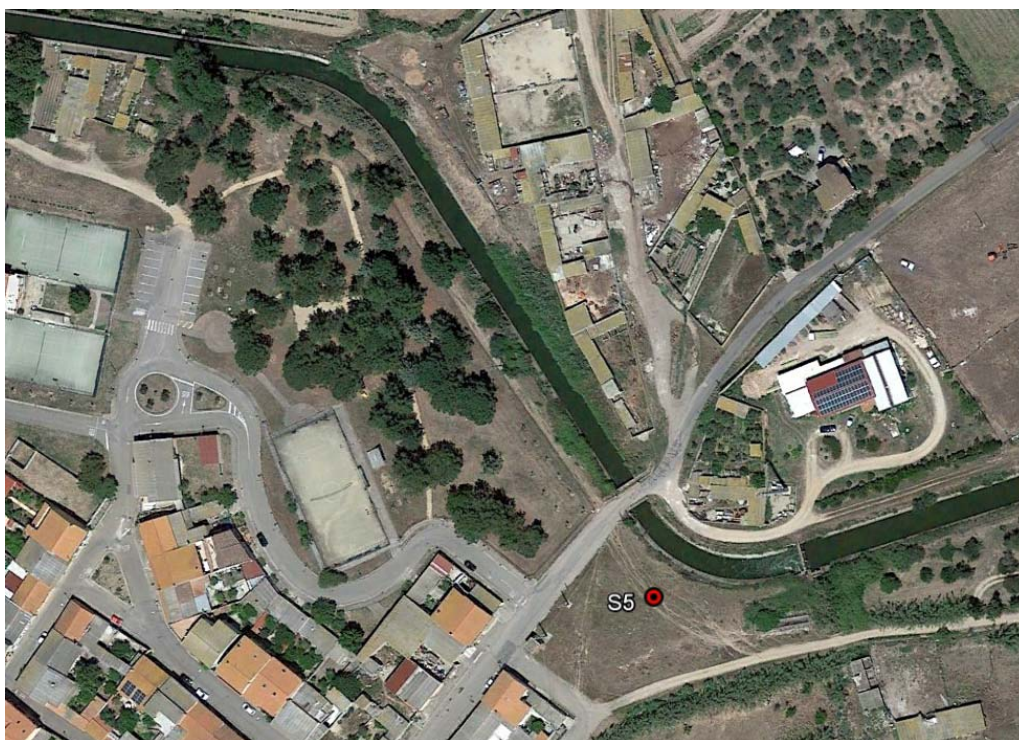


Fig.36: Aerofotogrammetria Sondaggio S5 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.37: Ripresa fotografica Sondaggio S5



Fig.38: Aerofotogrammetria Sondaggio S6 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.39: Ripresa fotografica Sondaggio S6

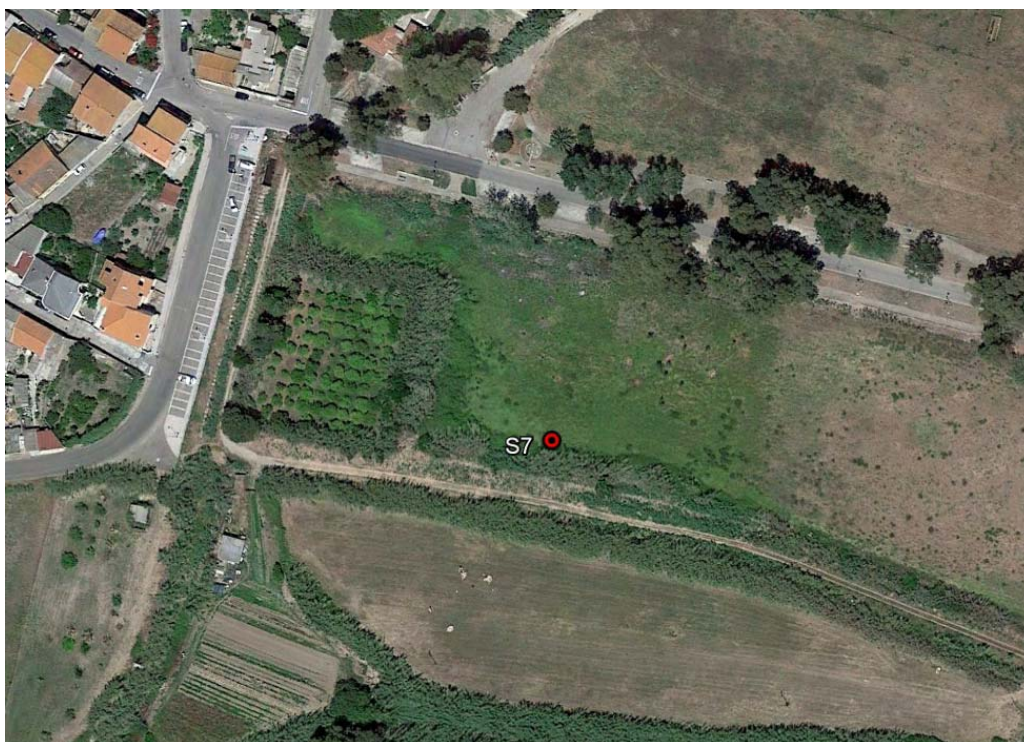


Fig.40: Aerofotogrammetria Sondaggio S7 – Rio Nura Craba Solarussa



Fig.41: Ripresa fotografica Sondaggio S7

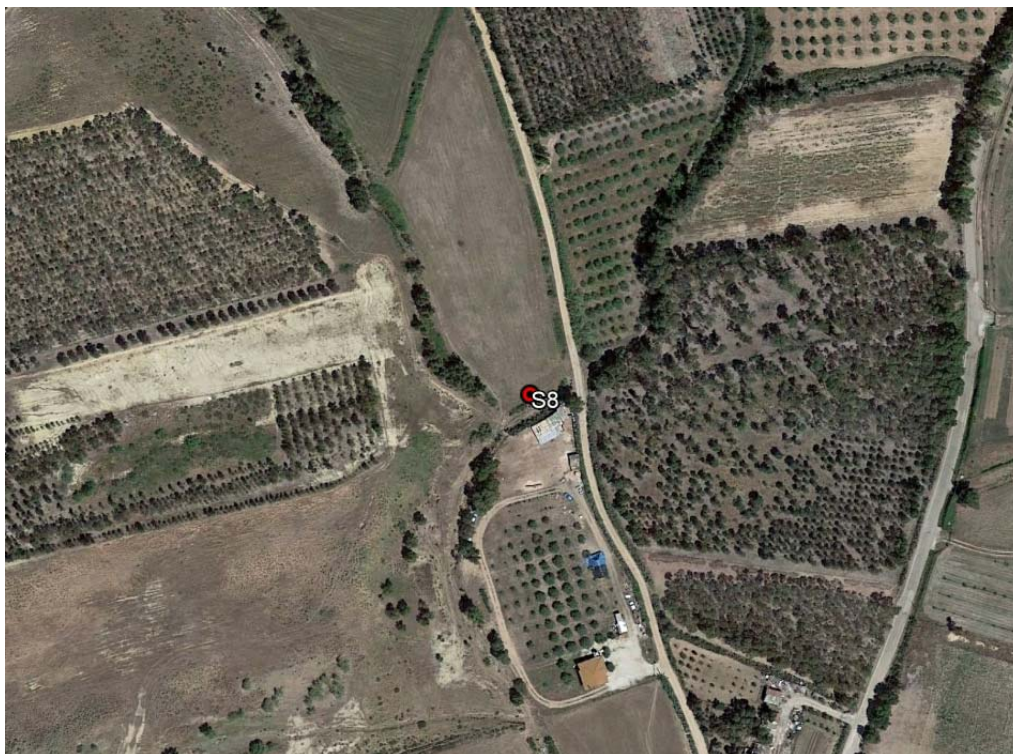


Fig.42: Aerofotogrammetria Sondaggio S8 – Rio Saoru Zefaliu



Fig.43: Ripresa fotografica Sondaggio S8

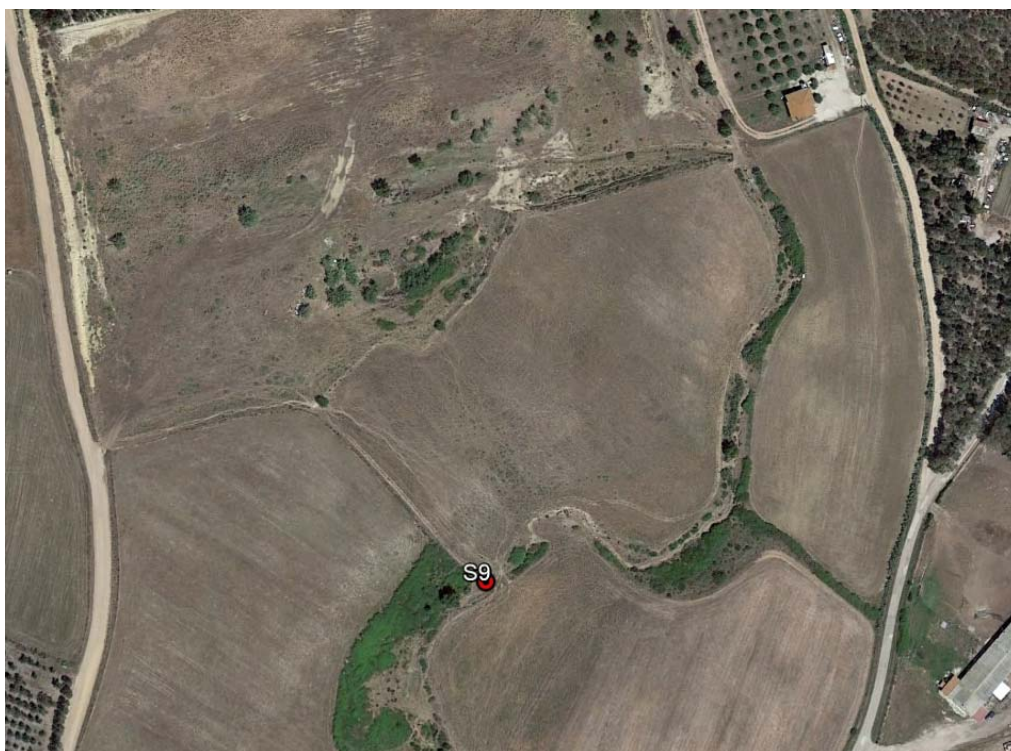


Fig.44: Aerofotogrammetria Sondaggio S9 – Rio Saoru Zefaliu



Fig.45: Ripresa fotografica Sondaggio S9



Fig.46: Aerofotogrammetria Sondaggio S10 – Rio Saoru Zefaliu



Fig.47: Ripresa fotografica Sondaggio S10

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

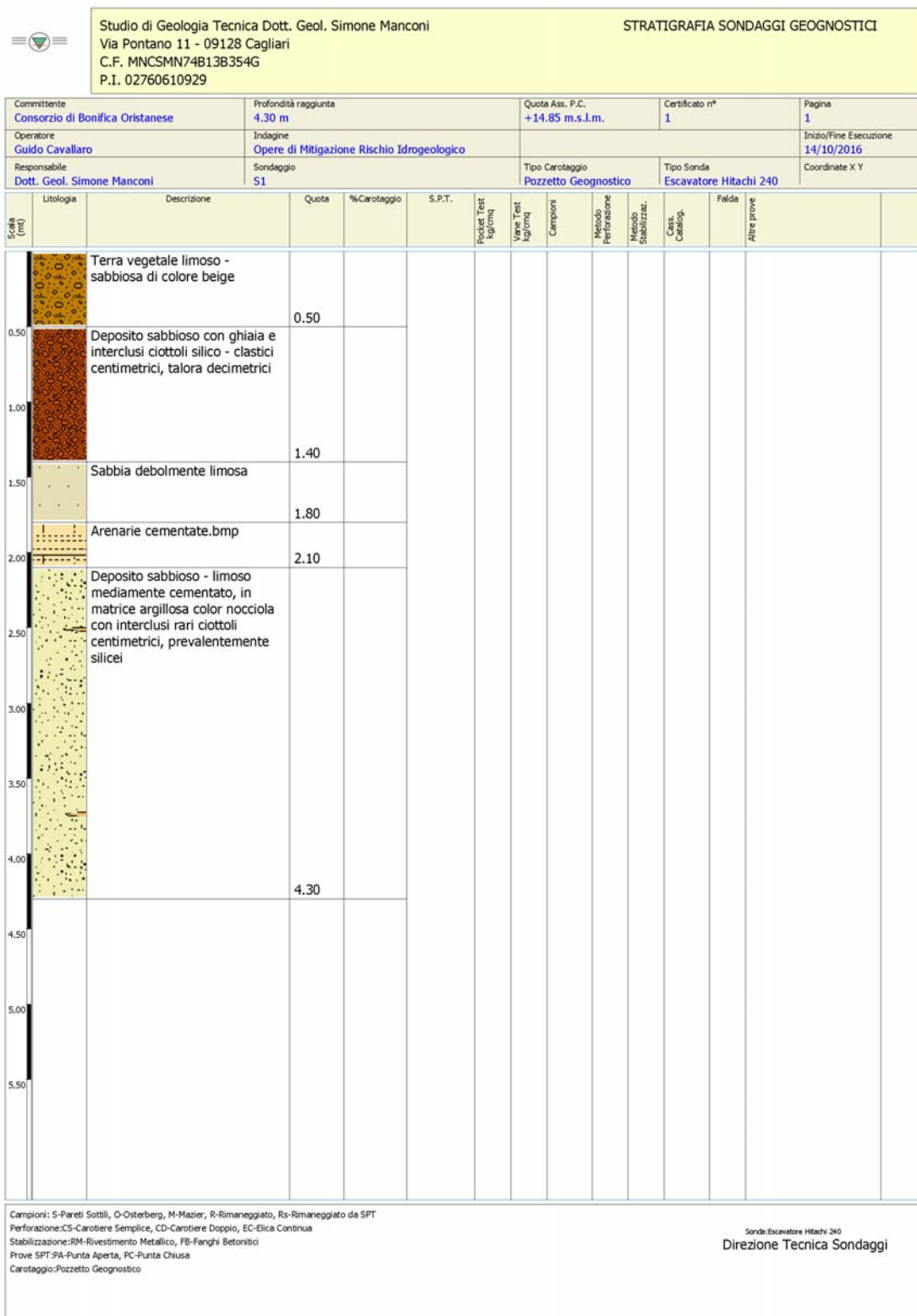


Fig.48: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P1



Fig.49: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P1 (-4.30 m)

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

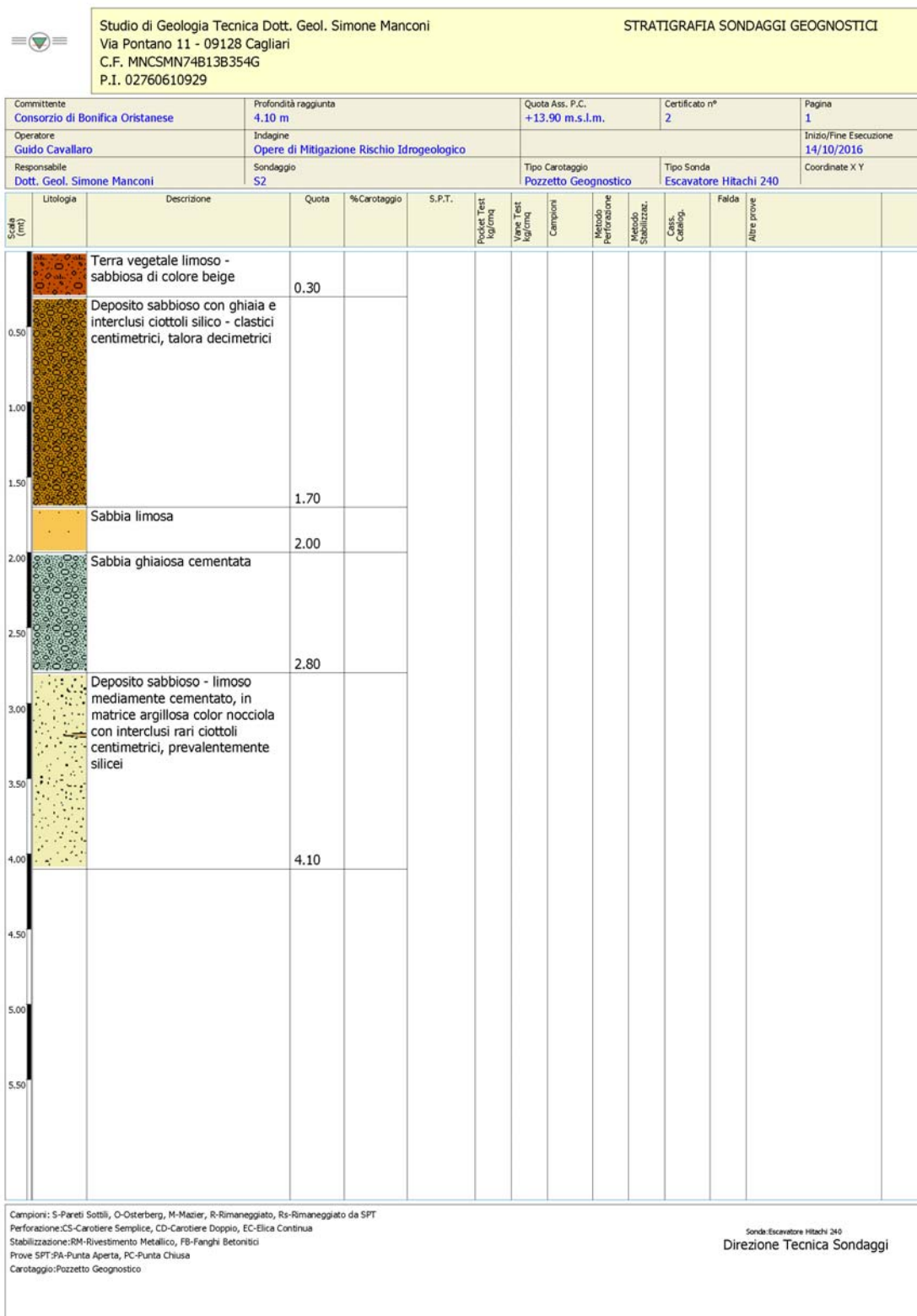


Fig.50: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P2



Fig.51: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P2 (-4.10 m)

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

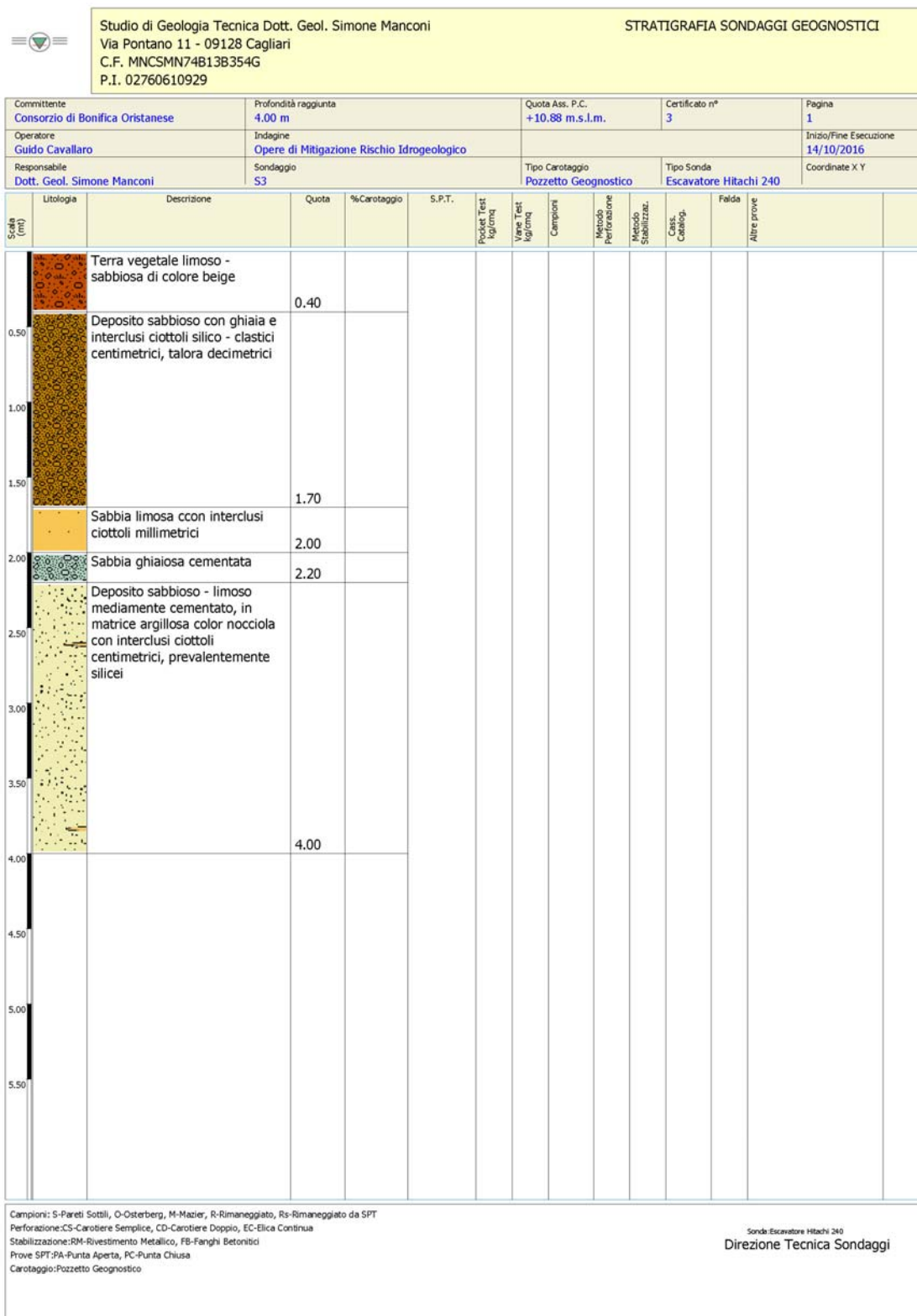


Fig.52: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P3



Fig.53: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P3 (-4.00 m)

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

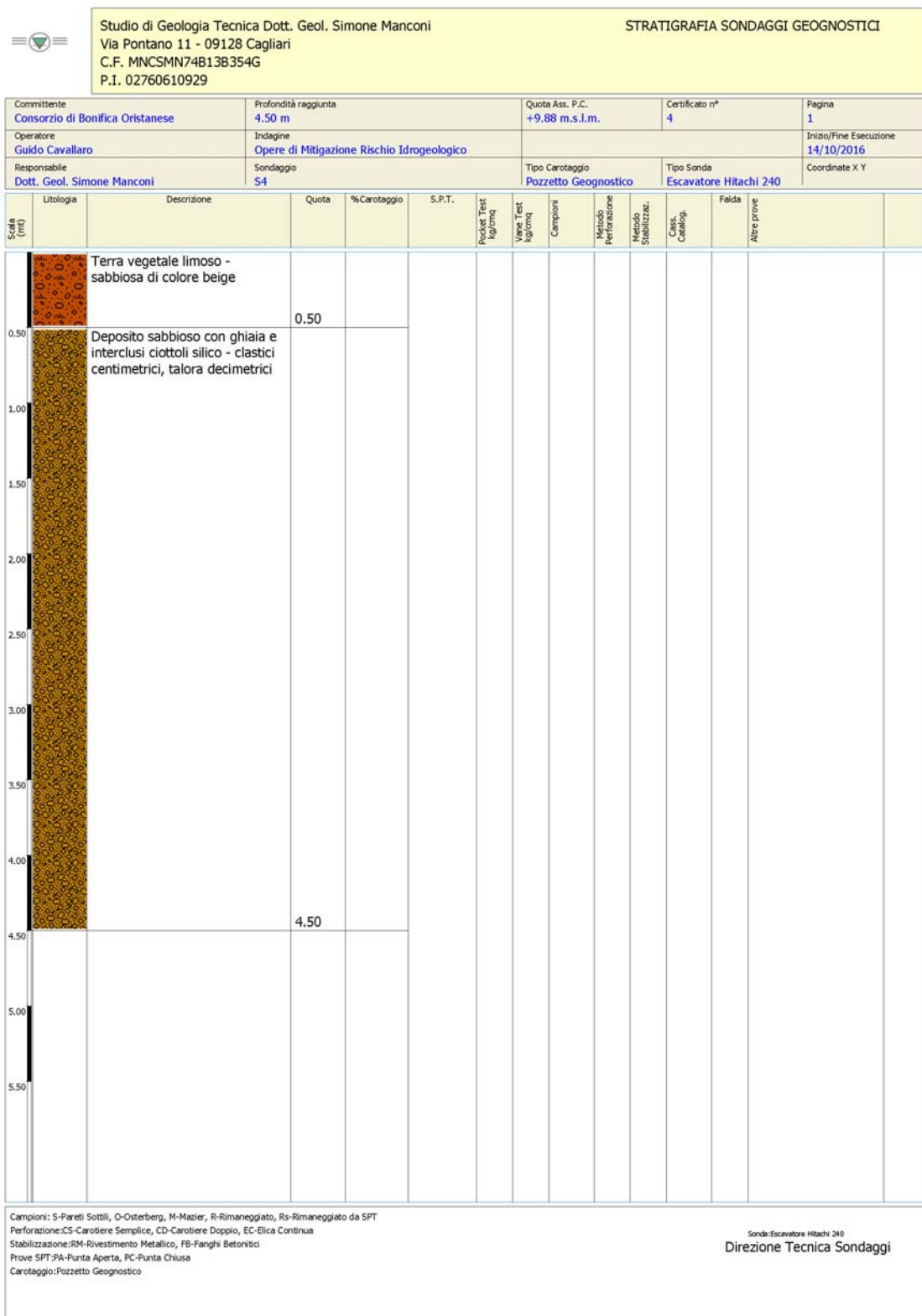


Fig.54: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P4



Fig.55: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P4 (-4.50 m)

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

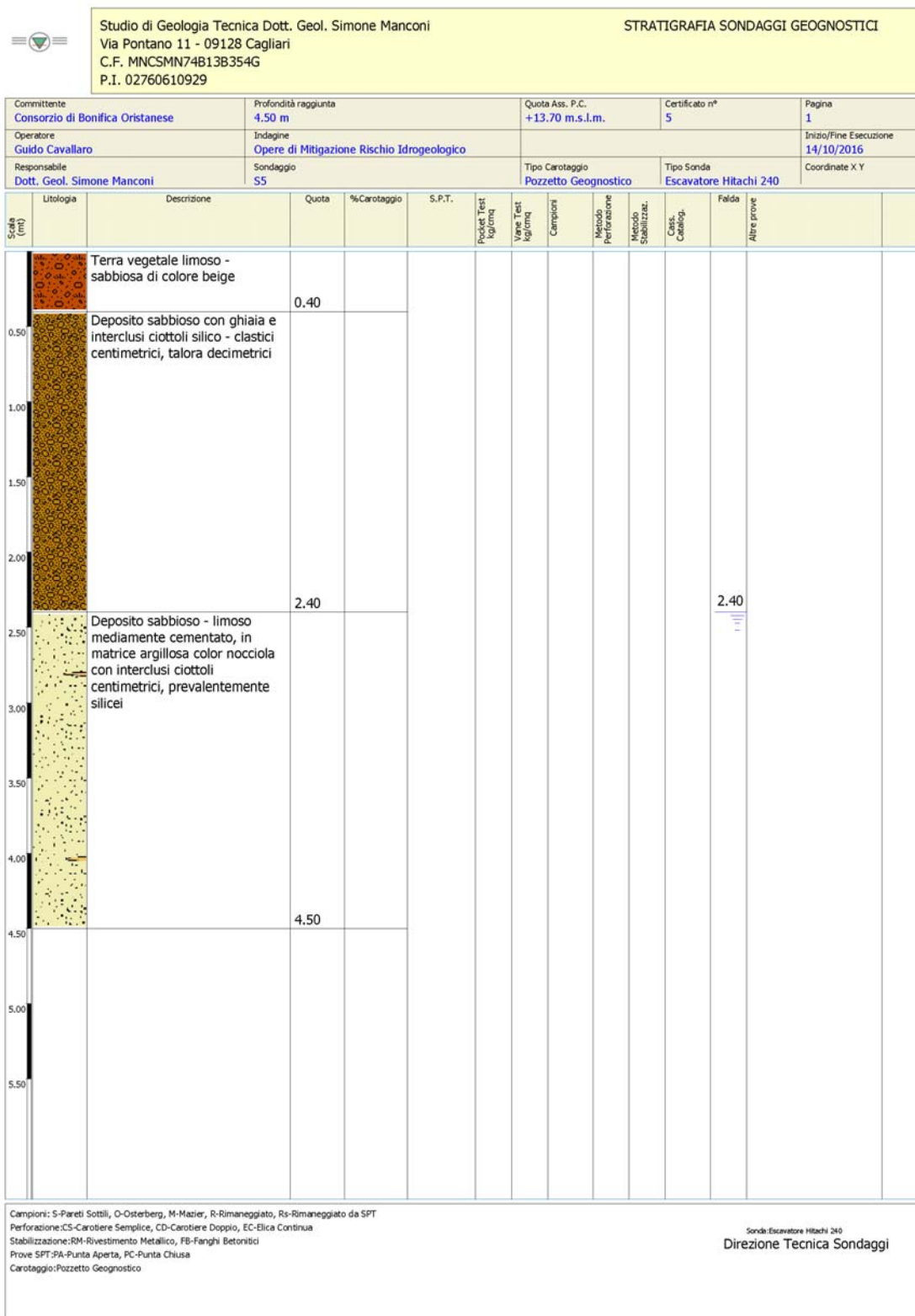


Fig.56: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P5



Fig.57: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P5 (-4.50 m)

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

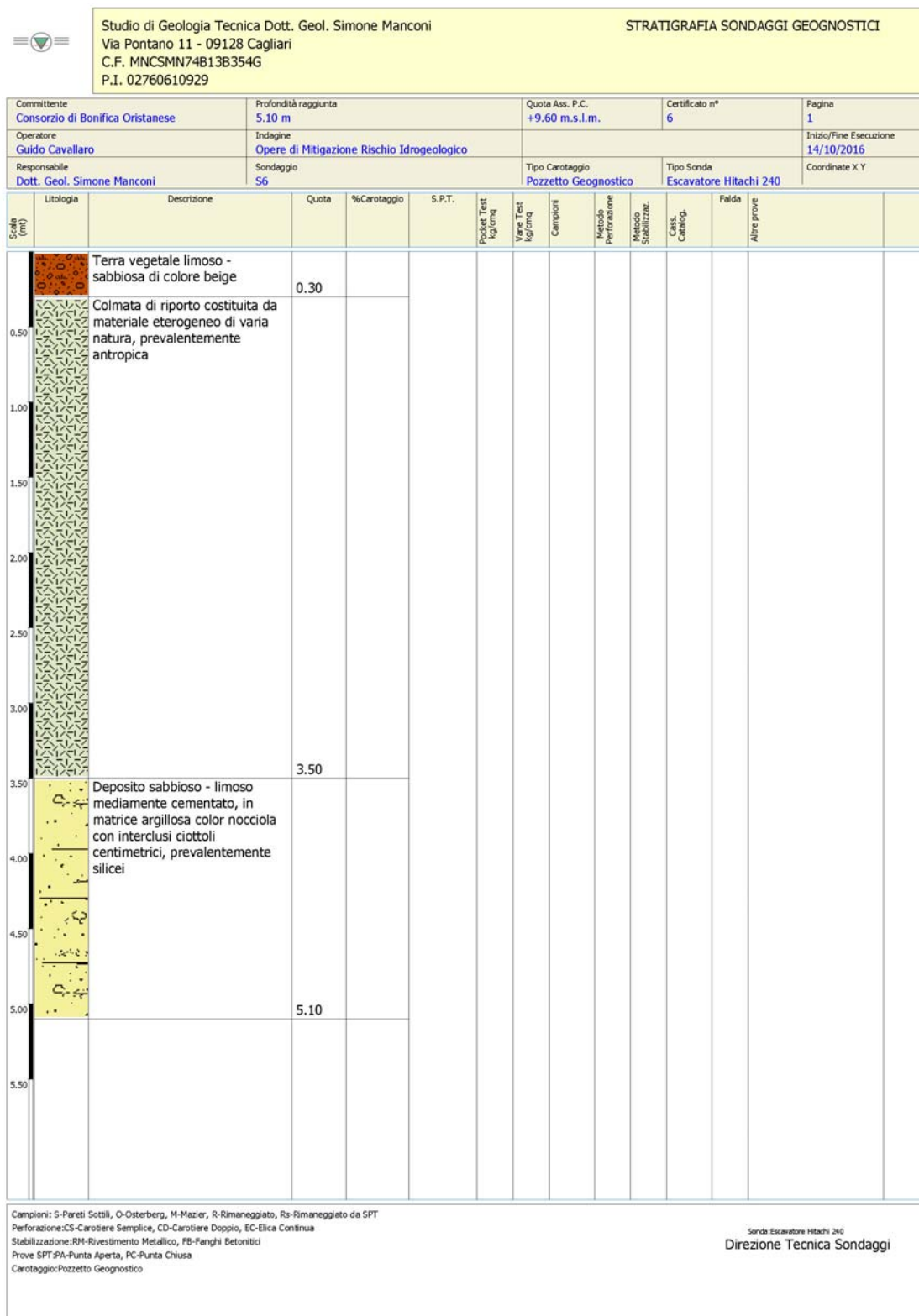


Fig.58: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P6



Fig.59: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P6 (-5.10 m)

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

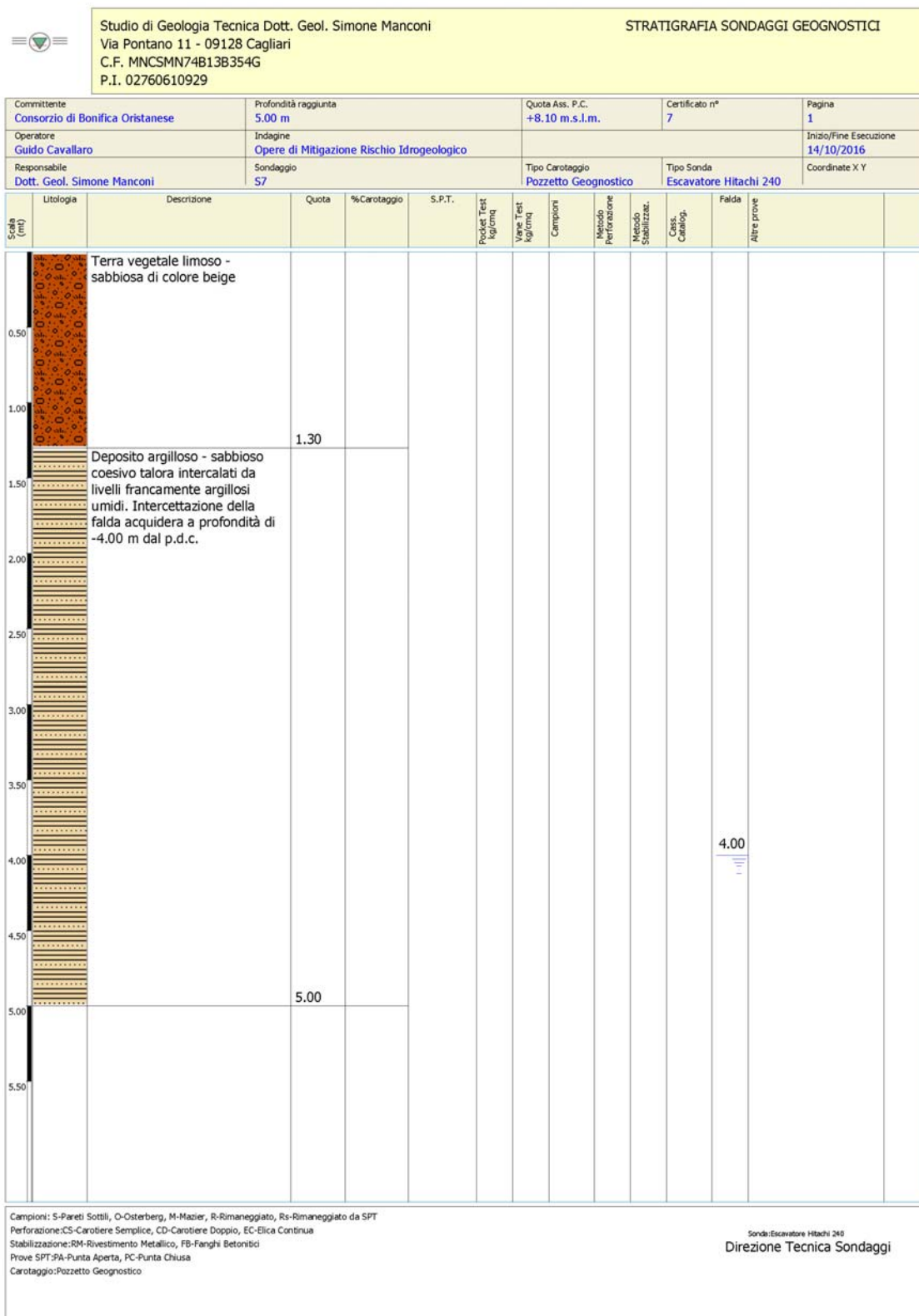


Fig.60: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P7



Fig.61: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P7 (-5.00 m)

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

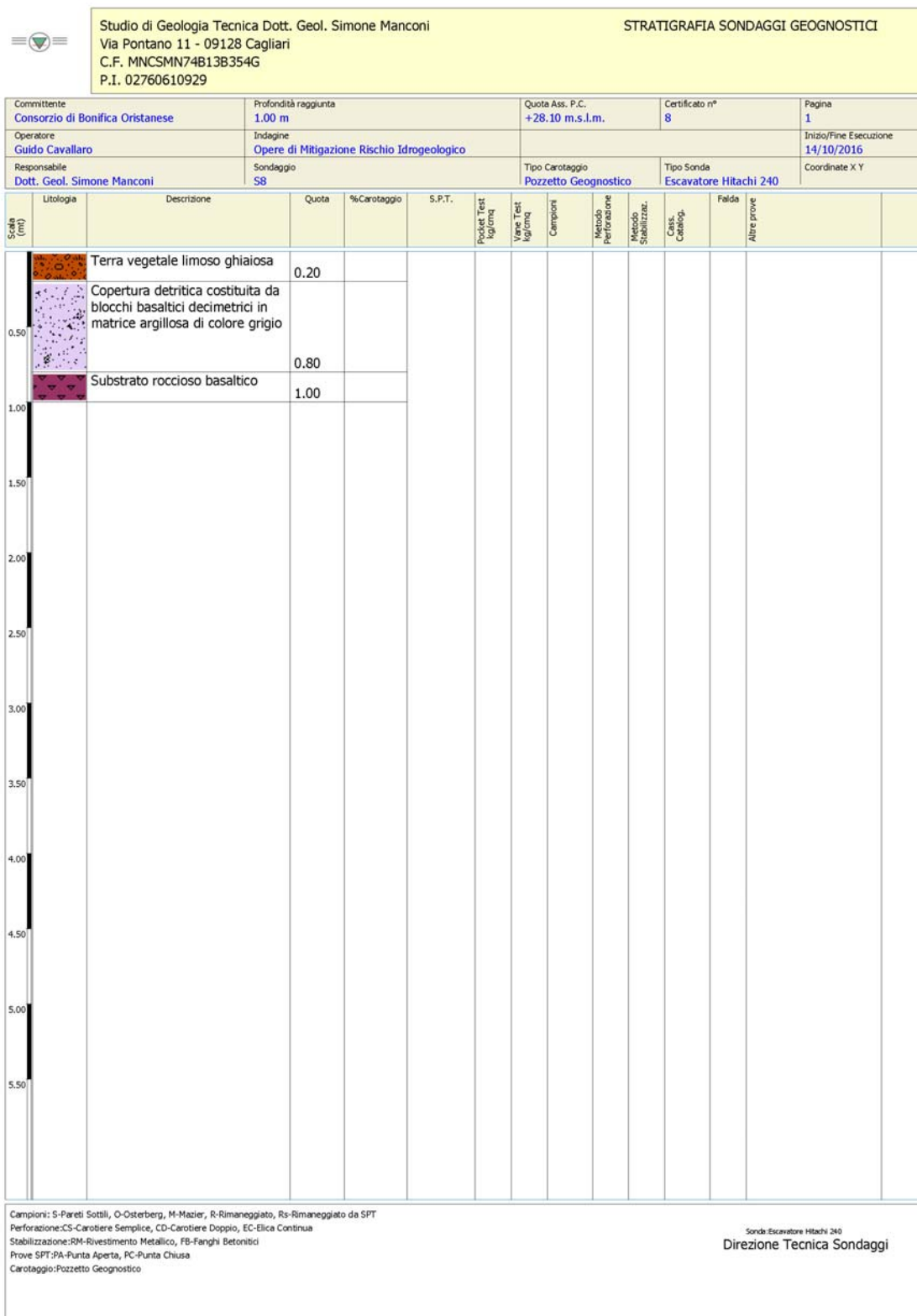


Fig.62: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P8



Fig.63: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P8 (-1.00 m)

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

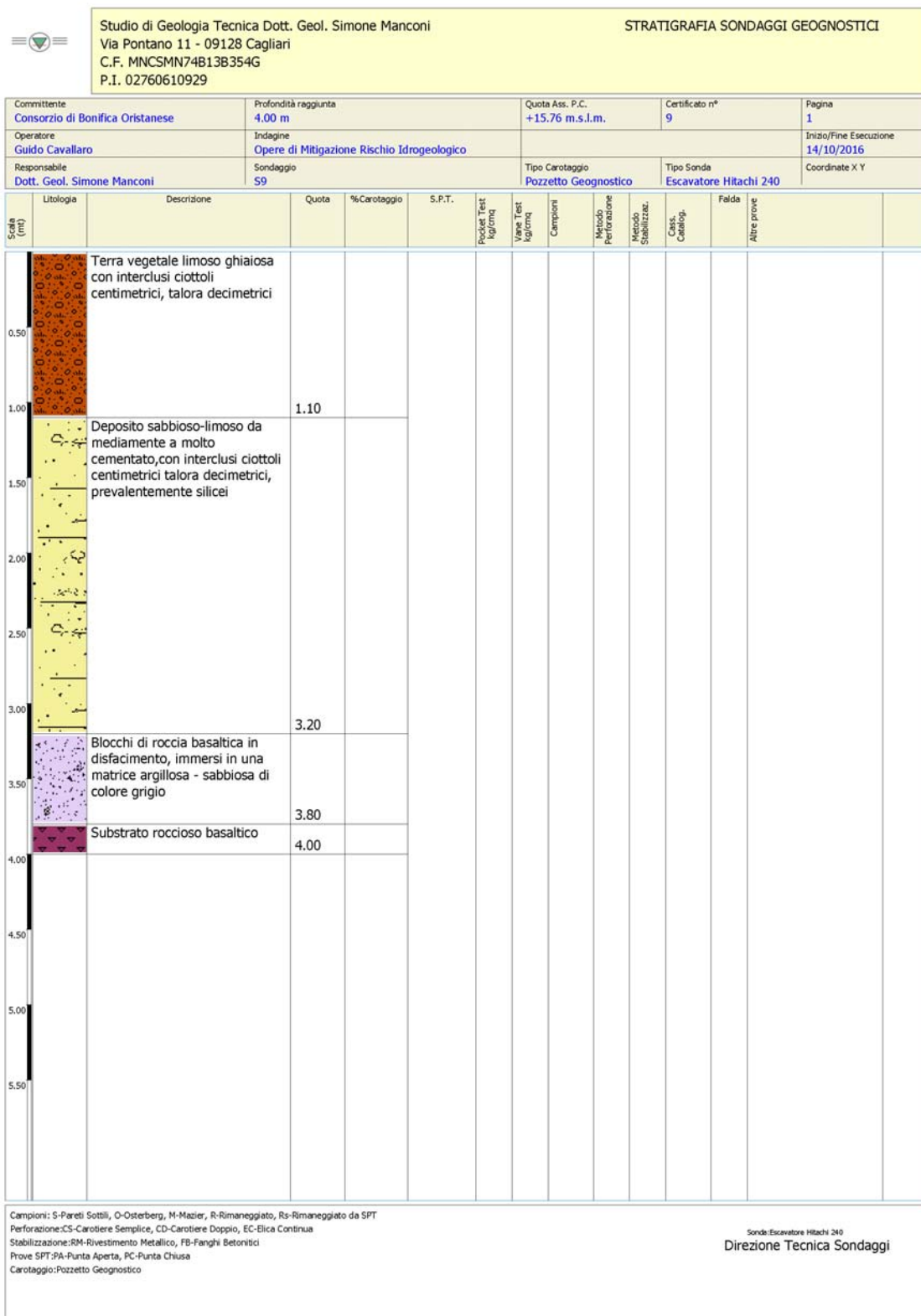


Fig.64: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P9



Fig.65: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P9 (-4.00 m)

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

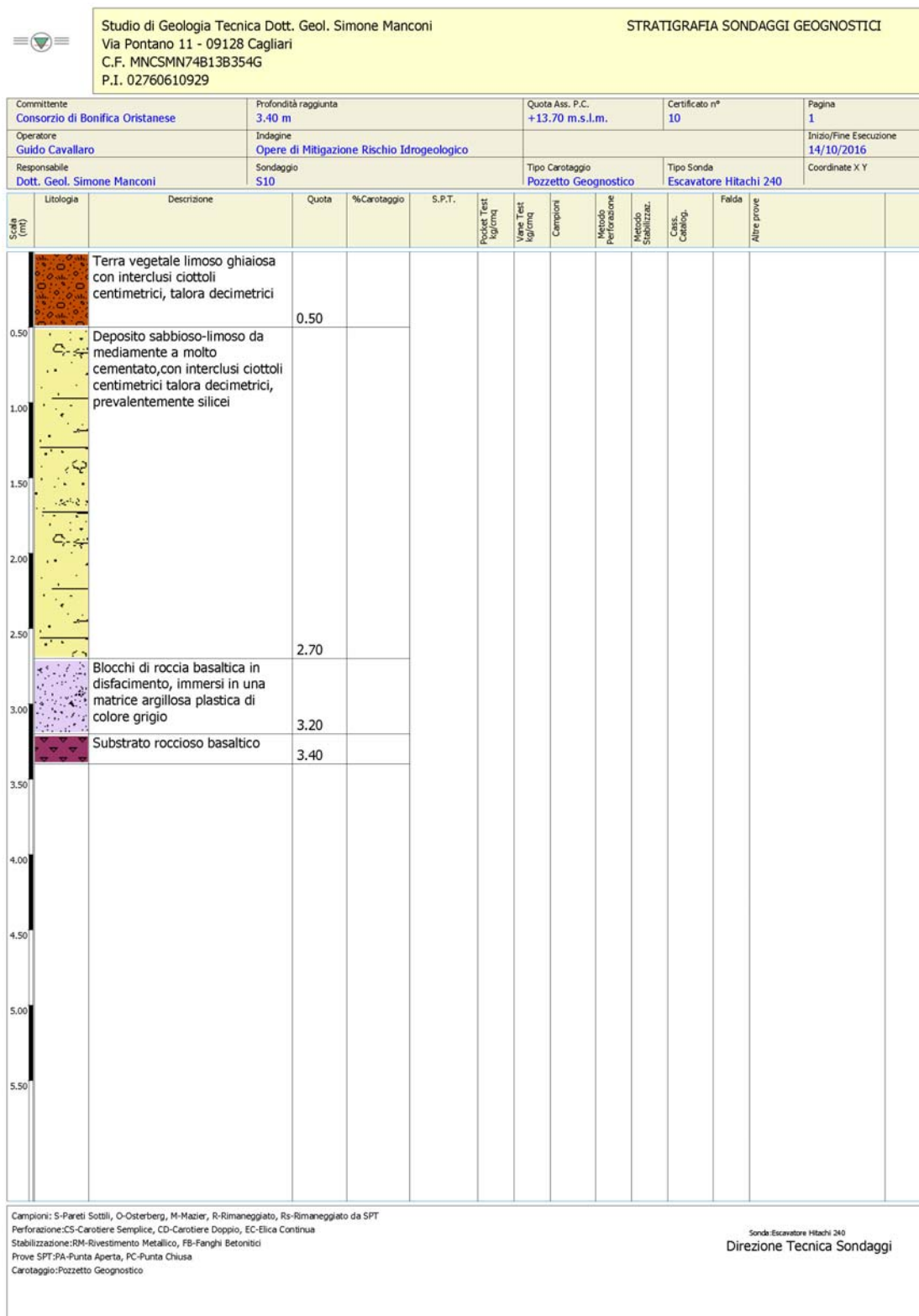


Fig.66: Stratigrafia Sondaggio Geognostico P10



Fig.67: Rappresentazione Sondaggio Geognostico P10 (-3.40 m)

11. Prove Penetrometriche dinamiche SCPT

In corrispondenza del tracciato del nuovo canale scolmatore e nelle zone dove è prevista la realizzazione delle traverse fluviali, è stata eseguita una campagna di indagini dirette, programmate e dirette dallo scrivente. Le indagini dirette si compongono di una prova S.C.P.T. eseguita con un penetrometro dinamico. Le prove penetrometriche dinamiche continue, definite anche S.C.P.T. (*standard cone penetration test*), eseguite in accordo con le indicazioni tecniche contenute nel D.M. LL.PP. 11/03/1988 e nelle norme A.G.I., consentono di definire le condizioni geolitologiche e stratigrafiche dell'area d'indagine e nel contempo accertano la compatibilità delle condizioni fisico – meccaniche dei terreni di fondazione.

Data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione possono essere svolte in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare comprese le rocce tenere, fornendo lo stato di addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati.



Fig.68: Rappresentazione fotografica prova penetrometrica DIN 1

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno attraverso un dispositivo di percussione per tratti consecutivi di 10 cm, misurando il numero di colpi N necessari all'infissione.

L'elaborazione dei dati acquisiti consente di parametrizzare il suolo attraversato con un'immagine in continuo, permettendo un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con le sequenze stratigrafiche rilevate.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e la consistenza in generale del terreno.

Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico utilizzato sono rappresentati dal peso della massa battente (M), dall'altezza libera caduta del maglio o volata (H), dalla punta conica con diametro base cono D e area base A (angolo di apertura α), dall'avanzamento (penetrazione) δ , dalla presenza o meno del rivestimento esterno. In riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici si rileva una prima suddivisione in quattro classi:

CLASSIFICAZIONE ISSMFE DEI PENETROMETRI DINAMICI		MASSA MAGLIO (Kg)	PROFONDITÀ MAX
DPL (<i>Dynamic Probing Light</i>)	leggero	≤ 10	8 m
DPM (<i>Dynamic Probing Medium</i>)	medio	Da 10 a 40	20 – 25 m
DPH (<i>Dynamic Probing Heavy</i>)	pesante	Da 40 a 60	25 m
DPSH (<i>Dynamic Probing Superheavy</i>)	superpesante	≥ 60	> 25 m

La prova penetrometrica è denominata "continua" poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione della punta seguendo le raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977).

Nel caso in esame la strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle prove è rappresentata dal penetrometro modello Deep Drill DM30 (Fig.67), azionato da un gruppo oledinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp e provvisto di una massa battente di 30 Kg classificabile quindi come tipo medio.

Lo strumento nel suo complesso è costituito da una batteria d'aste, ognuna lunga 1 m e del peso di 2,93 Kg/m, una punta conica avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell'estremità inferiore della batteria d'aste interne, del diametro di 35,7 mm, angolo di apertura di 60° e superficie della punta di 10 cm², un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.

La prova consiste nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi N10 necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso

l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

I risultati della prova, restituiti sotto forma di diagrammi in funzione della profondità (in ordinate) e del valore N10 (in ascisse), evidenziano la corrispondenza tra la variazione del valore di N lungo la verticale di prova e la variazione litologica dei terreni testati.

Il valore di N potrà essere utilizzato per calcolare anche l'energia necessaria alla penetrazione dinamica alla punta. Viene comunemente valutata secondo la formula Olandese:

$$R_{pd} = \frac{m^2 \cdot g \cdot H}{a \cdot e \cdot (m + m')} = Q \cdot N$$

dove:

Rpd	=	resistenza dinamica alla punta
m	=	peso del maglio (Kg)
m'	=	peso di: aste + testa di battuta + asta di guida + dispositivo di percussione (Kg)
g	=	accelerazione di gravità (m/s ²)
H	=	altezza di caduta del maglio (m)
a	=	area sezione trasversale alla punta (m ²)
e	=	penetrazione media per colpo
Q	=	(m·H) / a · δ = energia specifica teorica per colpo [δ = avanzamento in m]

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, è necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive. Ciò può essere fatto secondo due criteri differenti:

- I. Correzione sulla base delle differenti modalità esecutive
- II. Correzione sulla base delle litologie incontrate

Nel primo caso i penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all'SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; la conoscenza della quantità di energia necessaria alla penetrazione della punta, al netto del valore totale comprendente l'aliquota dispersa per dissipazione lungo le aste, permette la correlazione con le caratteristiche di resistenza del terreno determinate con la prova penetrometrica continua con la prova SPT. Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N, Q) alla prova SPT (NSPT, QSPT), dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente:

$$R_{pd}' = Q \cdot N = Q_{SPT} \cdot N_{SPT} \Rightarrow N_{SPT} = N(Q / Q_{SPT}) = \beta \cdot t \cdot n$$

dove il rapporto $\beta \cdot t = Q/Q_{SPT}$ viene definito "coefficiente teorico d'energia" della prova in esame, relativamente alla prova SPT ($Q_{SPT} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2 = 0,786 \text{ Mpa}$) per $m = 63,5 \text{ Kg}$, $a = 20,27 \text{ cm}^2$, $\delta = 0,30 \text{ m}$. Il penetrometro utilizzato nella presente indagine risulta avere un coefficiente teorico d'energia rispetto alla SPT di 0,766 ed una energia specifica per colpo di 6 Kg/cm^2 .

Il margine di valori N10 (n° di colpi per un avanzamento di 10 cm) che si ritiene utile perché la prova possa fornire dei risultati validi è compreso tra un minimo 4 ed un massimo di 80.

Talvolta, quando si rilevano materiali molto compatti e coerenti, il numero di colpi può anche essere > 80 , in questi casi è raccomandato eseguire un'ulteriore prova qualora i dati della stratigrafia siano incerti. Non esiste attualmente in letteratura una correlazione fra il numero di colpi misurato con il penetrometro dinamico e la litologia degli strati attraversati. Una correlazione comunque può essere effettuata assimilando la procedura d'infissione delle aste e del rivestimento nella prova SCPT a quella di pali battuti di piccolo diametro. Per tali tipologie di palo esistono in letteratura delle indicazioni dei valori di resistenza laterale all'infissione in funzione delle diverse litologie. Sulla base di questi dati e di un'ampia casistica relativa all'esecuzione di prove SCPT in litologie differenti, vengono proposte le seguenti correlazioni in funzione del rapporto n.colpi della punta / n.colpi del rivestimento:

Rapporto Npunta/Nrivestimento	Litologia
< 0.25	Argilla
$0.25 - 0.40$	Argilla con limo o sabbia
$0.40 - 0.70$	Limo
$0.70 - 2.25$	Sabbia con limo o limosa
$2.25 - 4$	Sabbia o ghiaia con matrice plastica
> 4	Ghiaia o ghiaia con sabbia

Lo studio per l'interpretazione delle indagini penetrometriche è stato effettuato con l'ausilio di un software specifico che ha permesso di calcolare una serie di parametri statistici, utili nella valutazione della dispersione dei colpi necessari all'avanzamento della punta, e geotecnici.

L'esecuzione delle prove penetrometriche coincide con molti dei punti di sondaggio, al fine di determinare con esattezza le specifiche geomeccaniche dei terreni di fondazione.

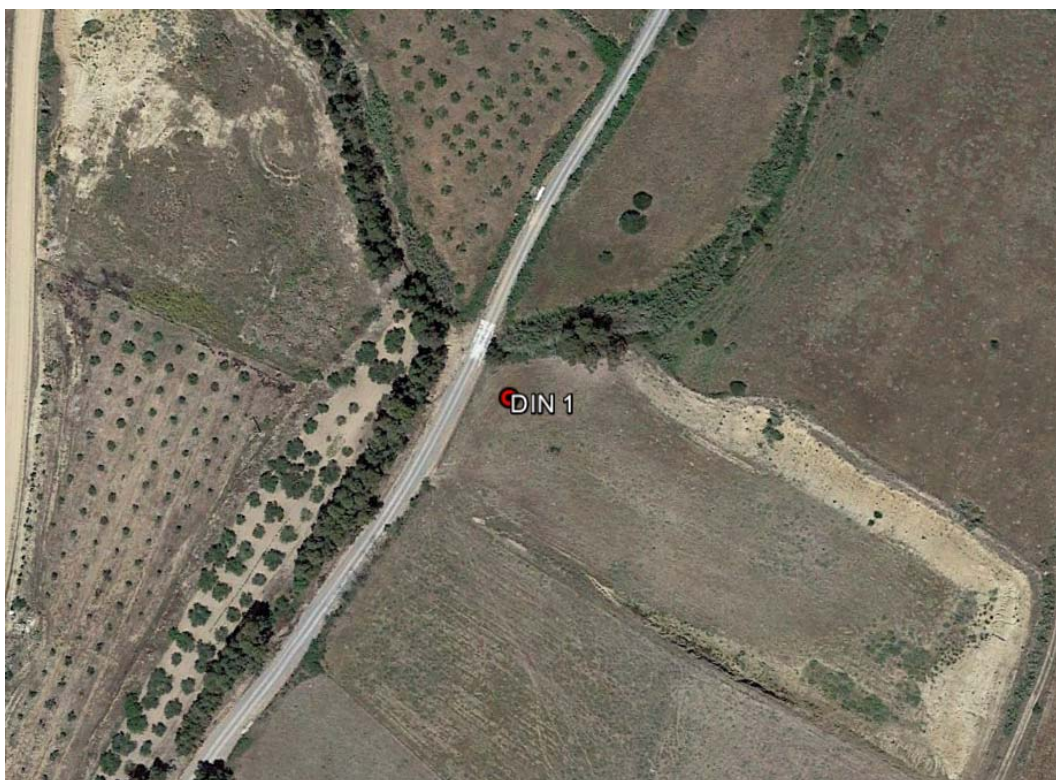


Fig.69: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 1



Fig.70: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 1

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

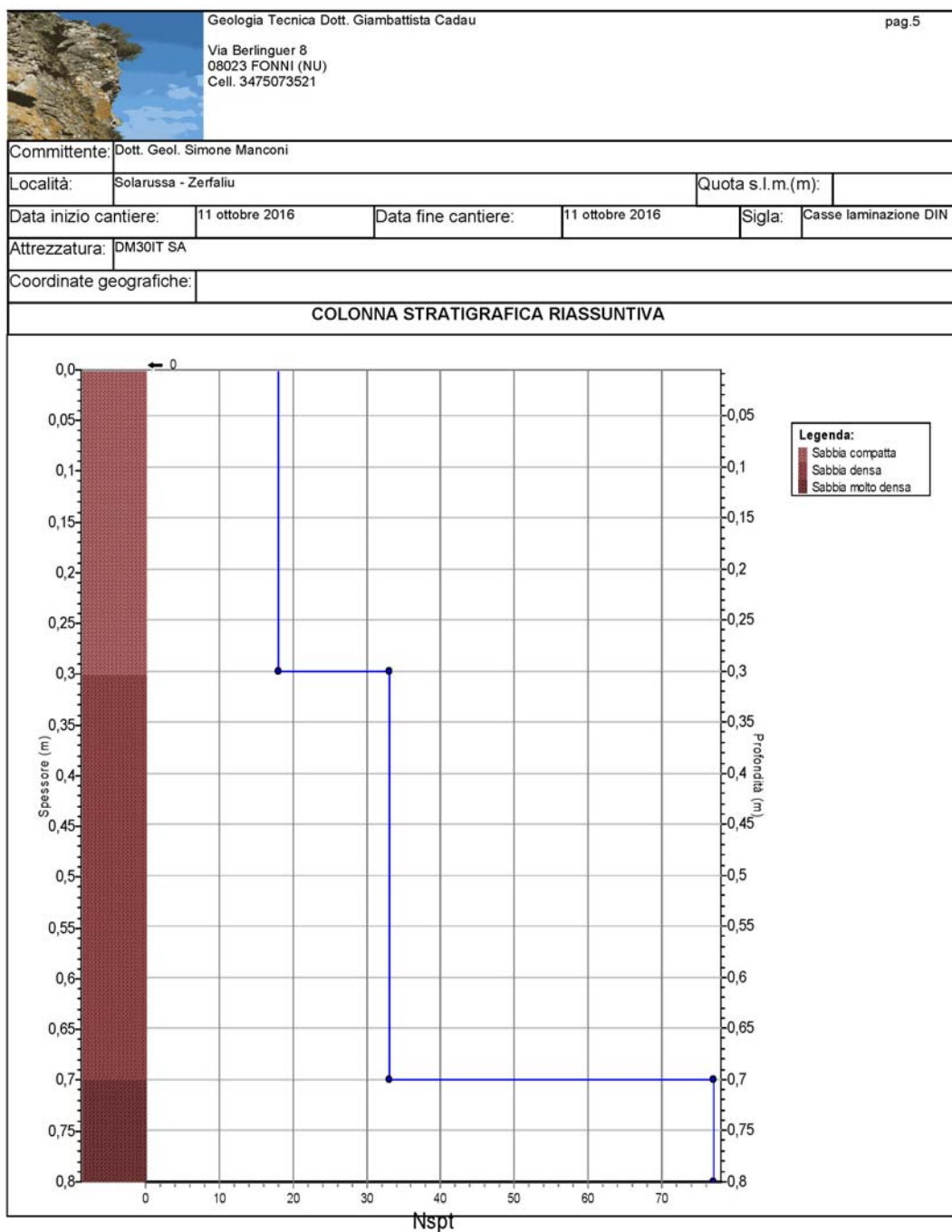


Fig.71: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 1

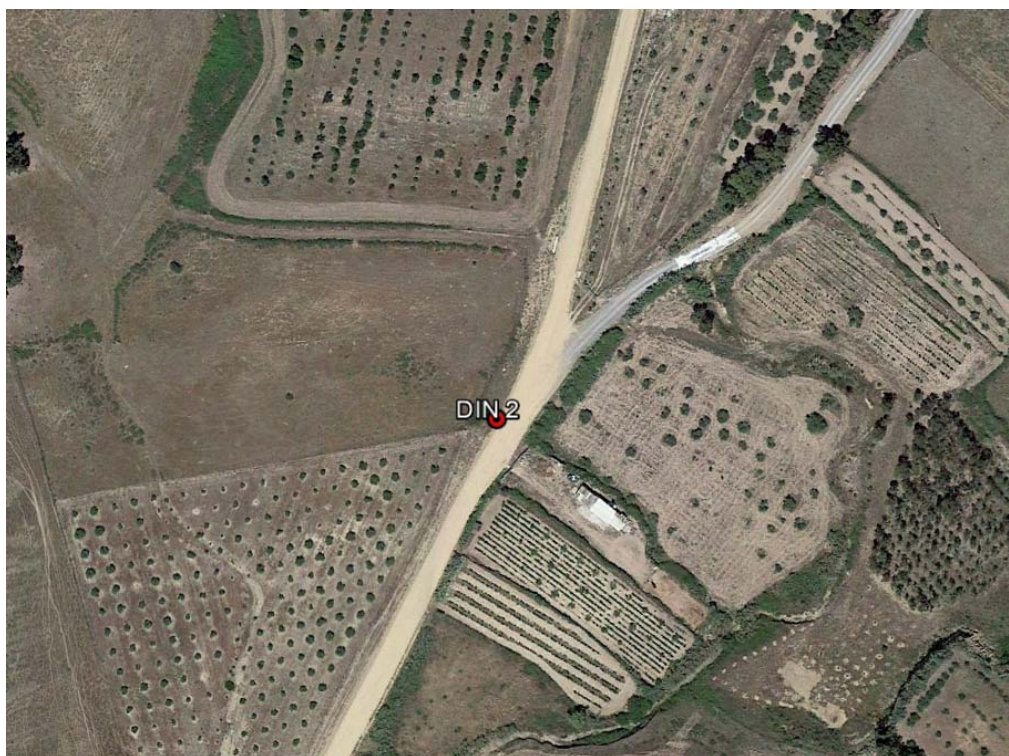


Fig.72: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 2



Fig.73: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 2

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

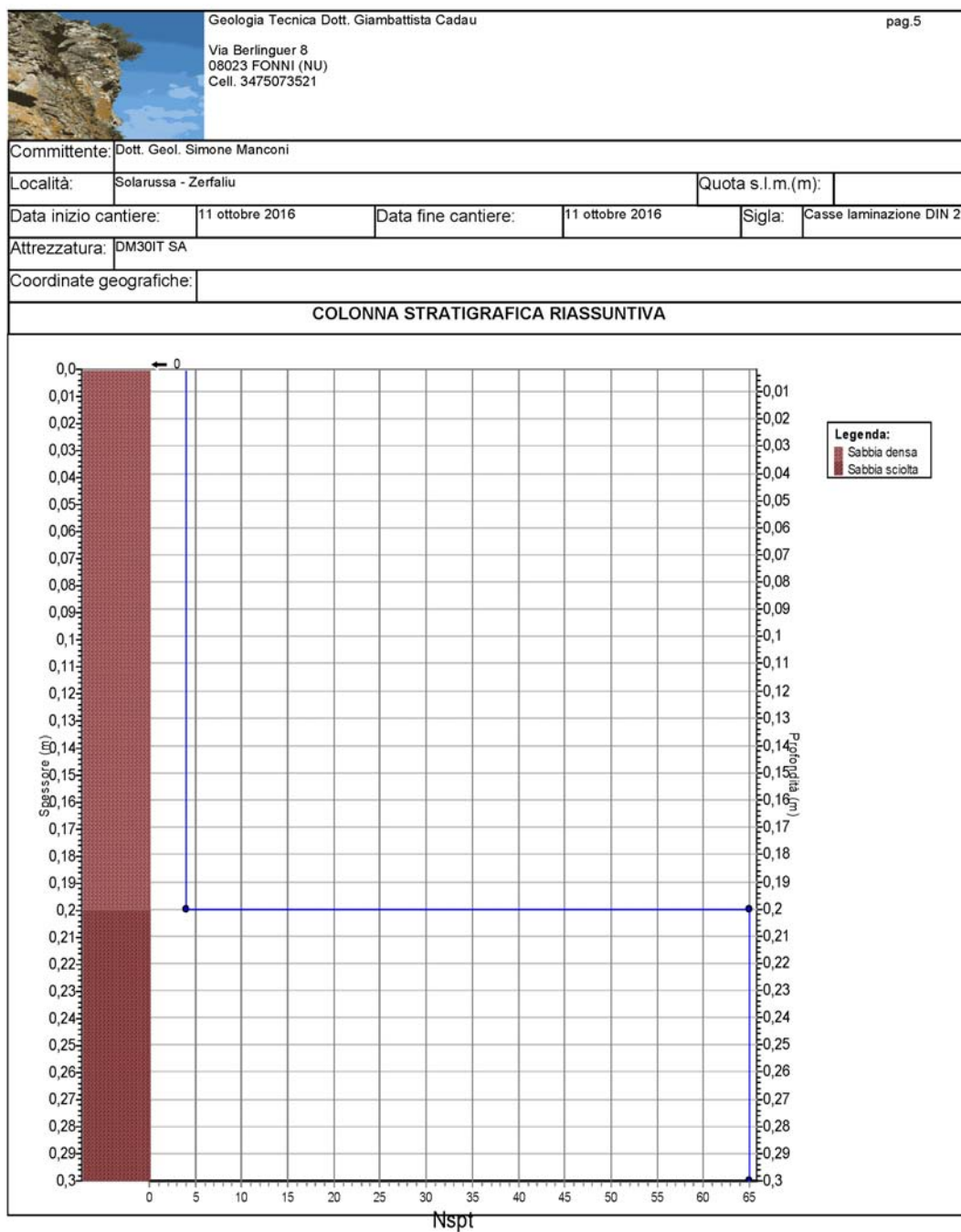


Fig.74: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 2

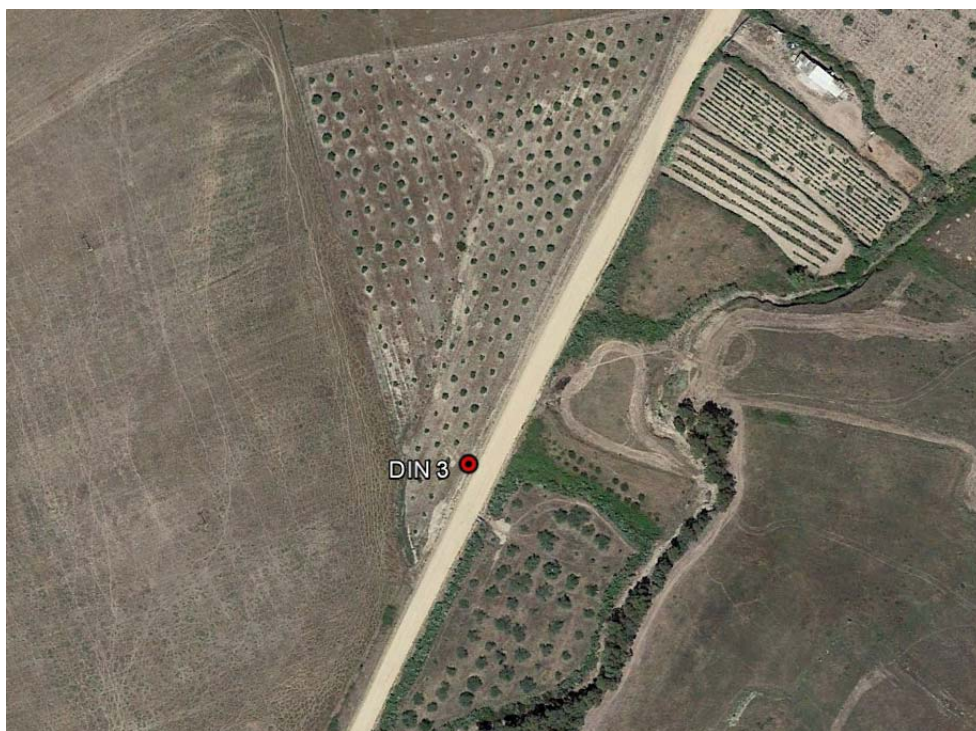


Fig.75: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 3



Fig.76: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 3

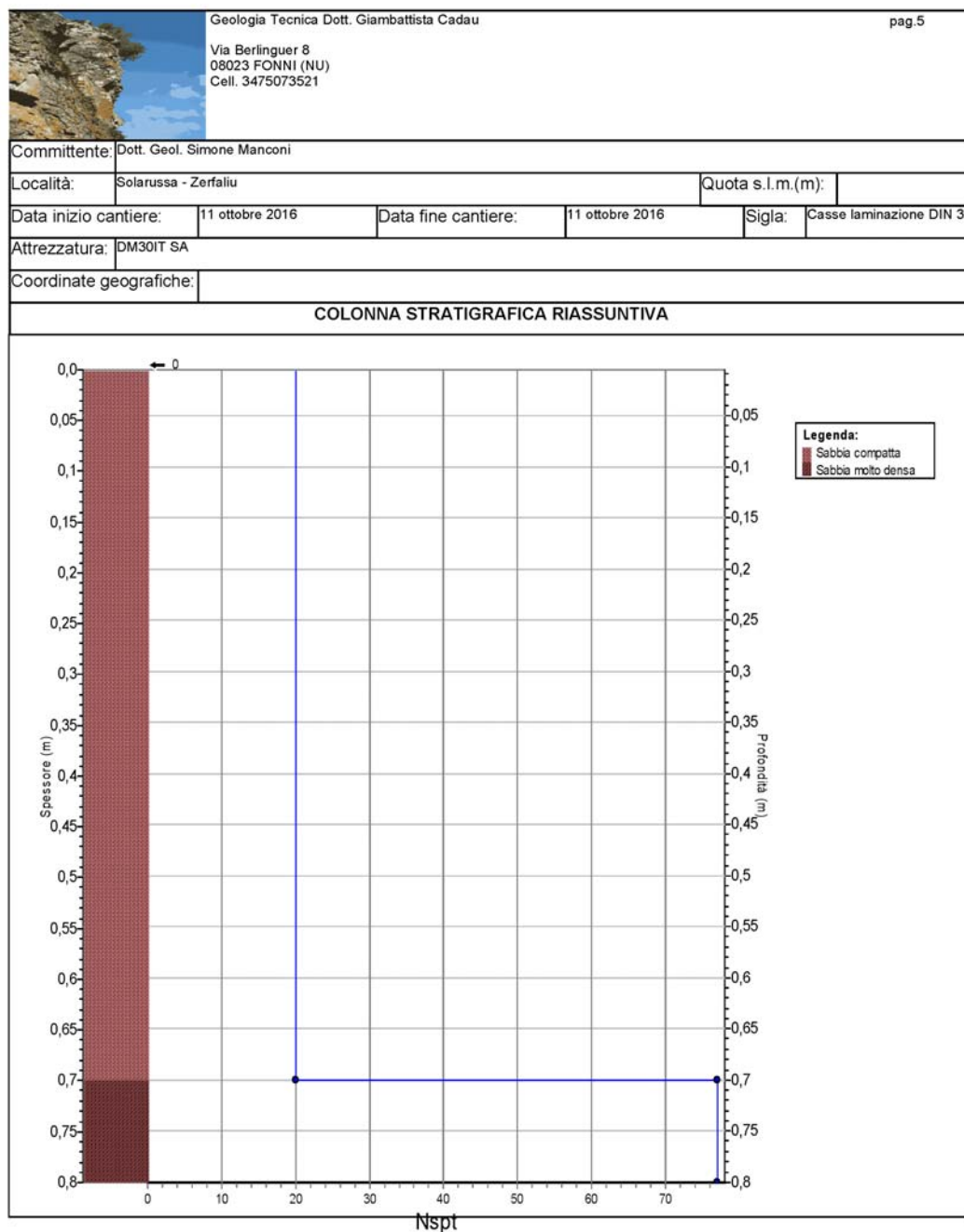


Fig.77: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 3



Fig.78: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 4



Fig.79: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 4

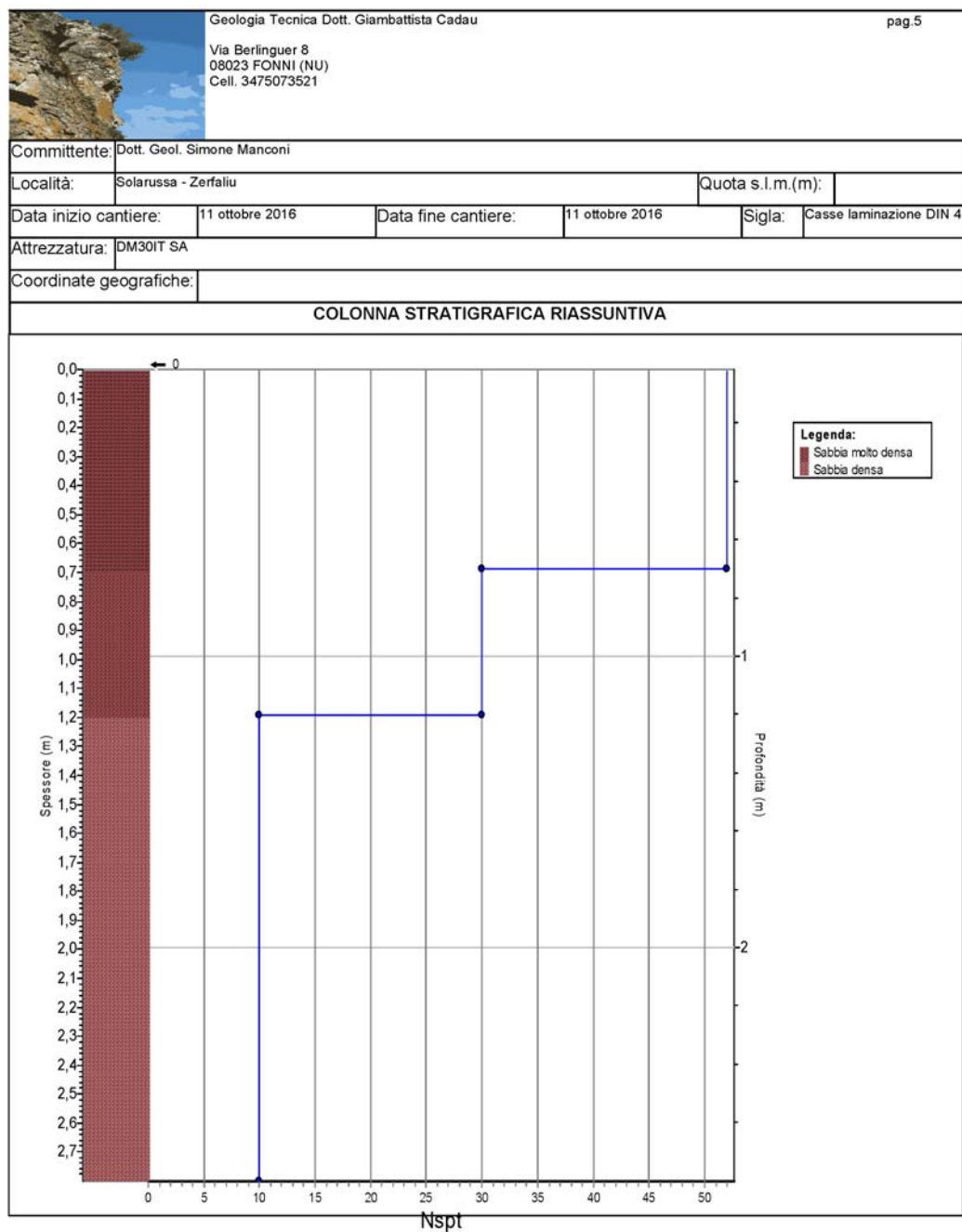


Fig.80: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 4



Fig.81: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 5



Fig.82: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 5

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

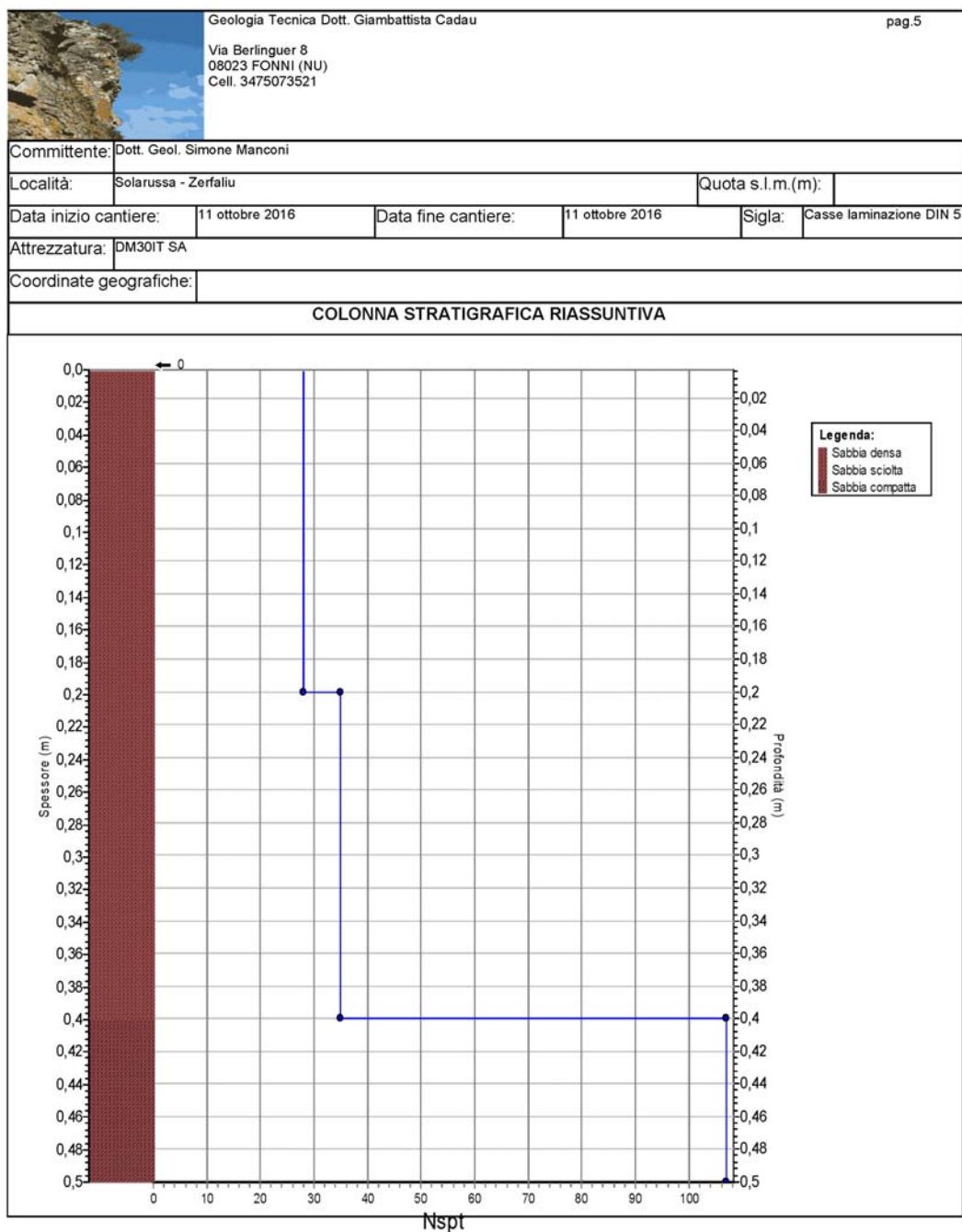


Fig.83: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 5

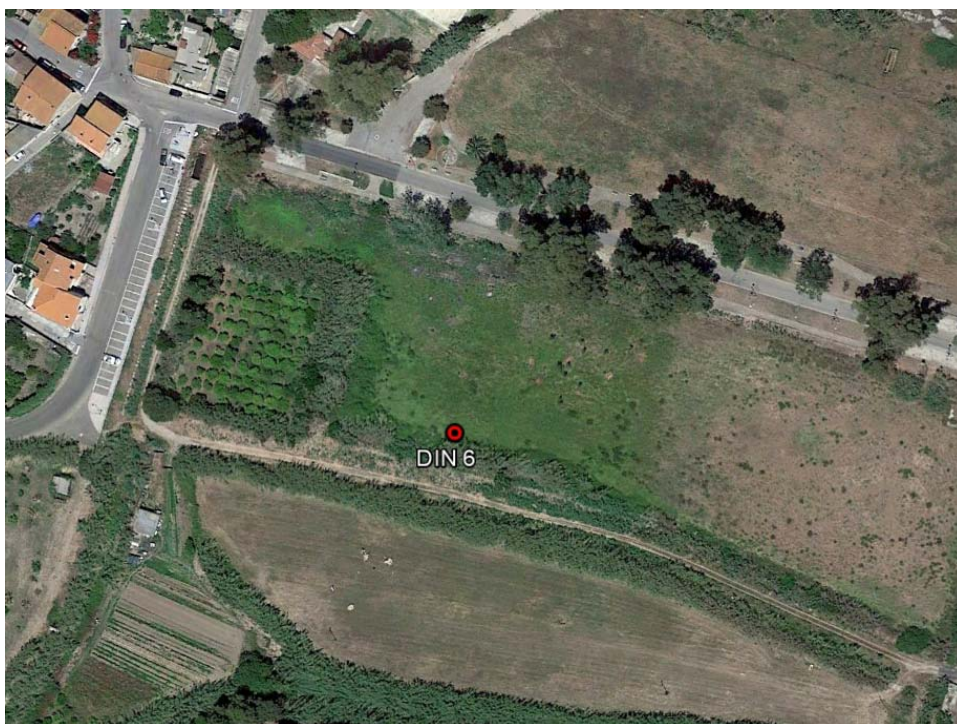


Fig.84: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 6



Fig.85: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 6

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

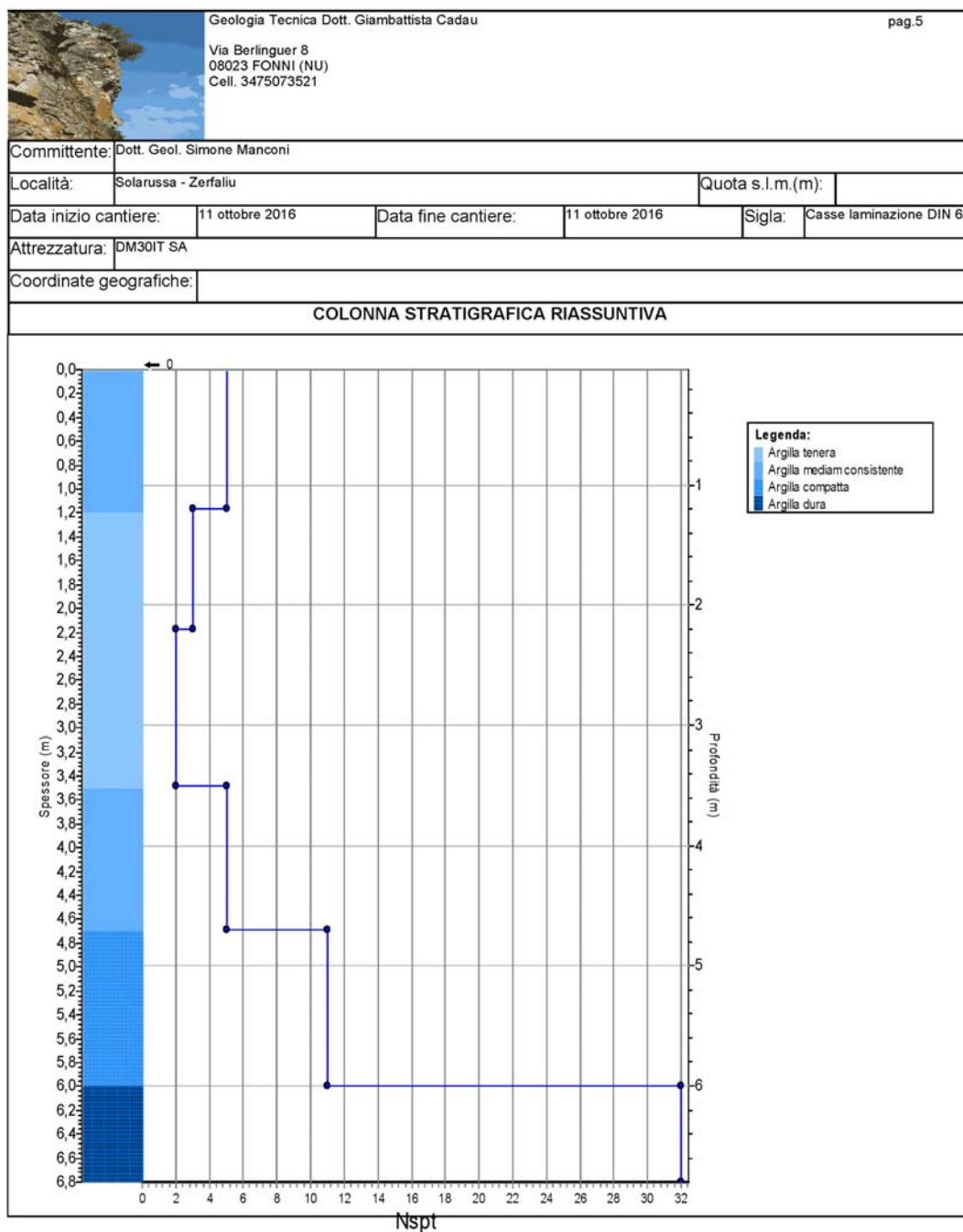


Fig.86: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 6

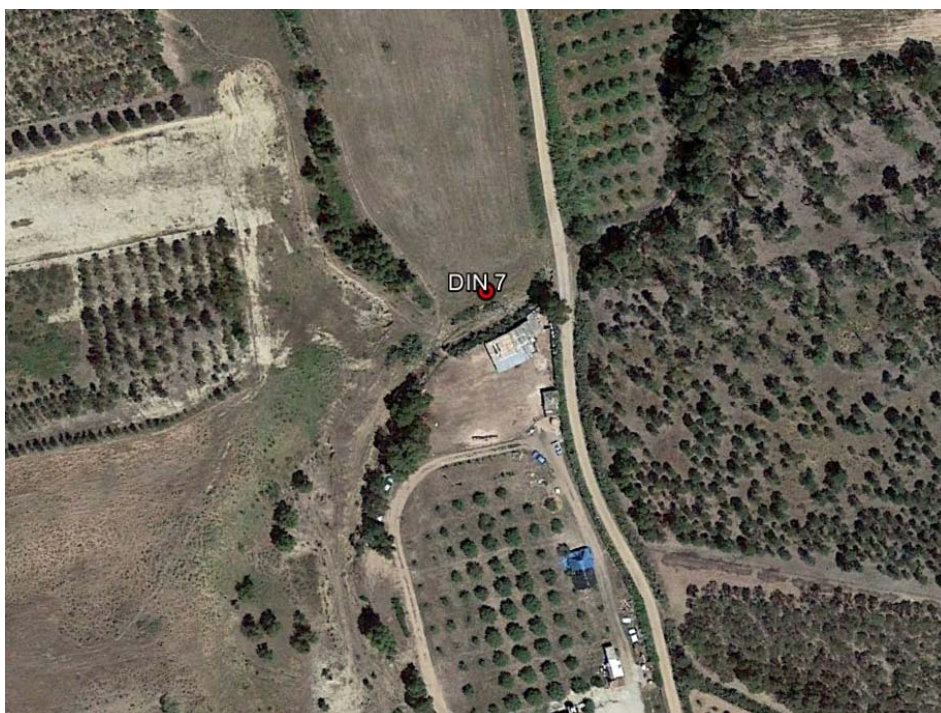


Fig.87: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 7



Fig.88: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 7

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

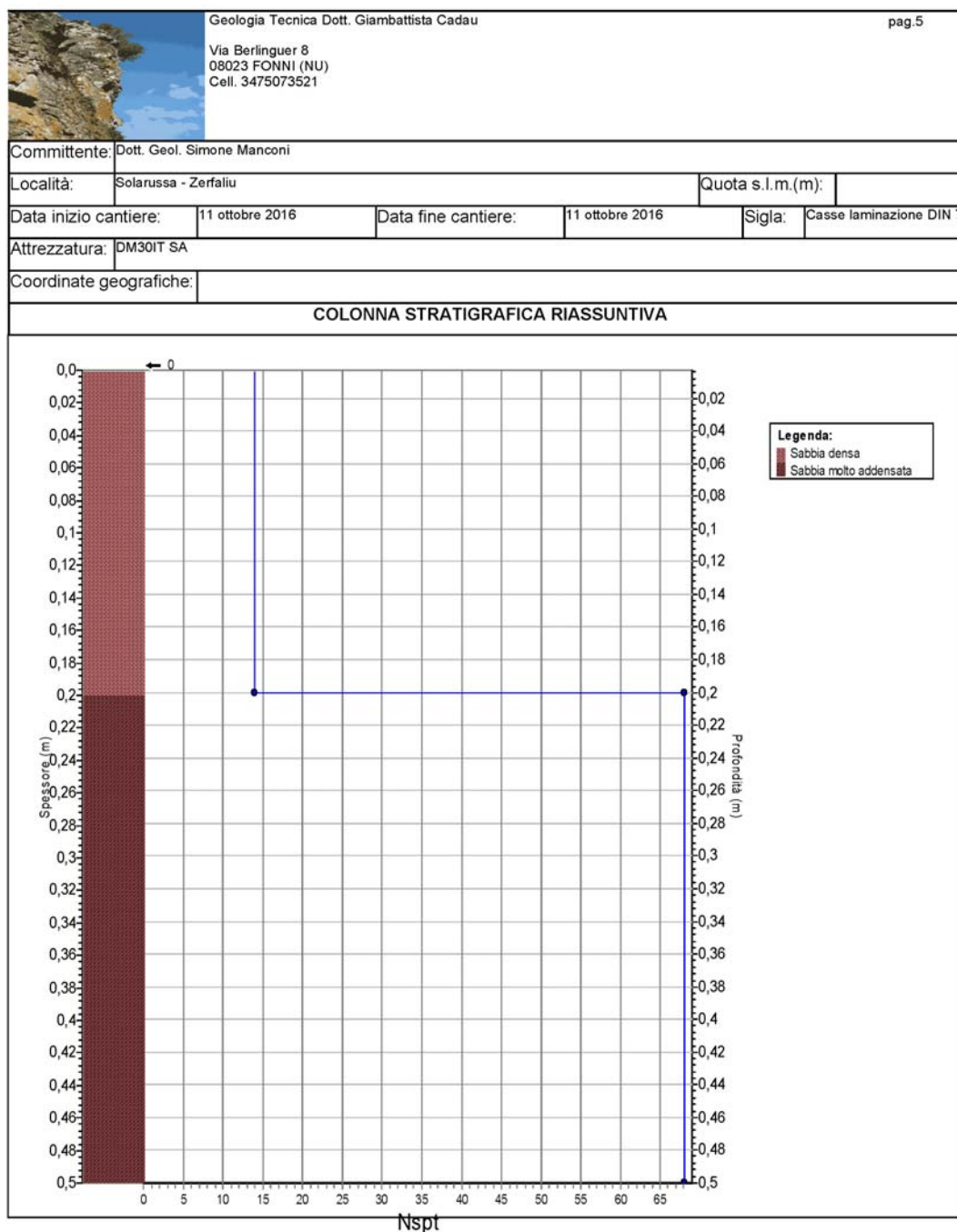


Fig.89: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 7

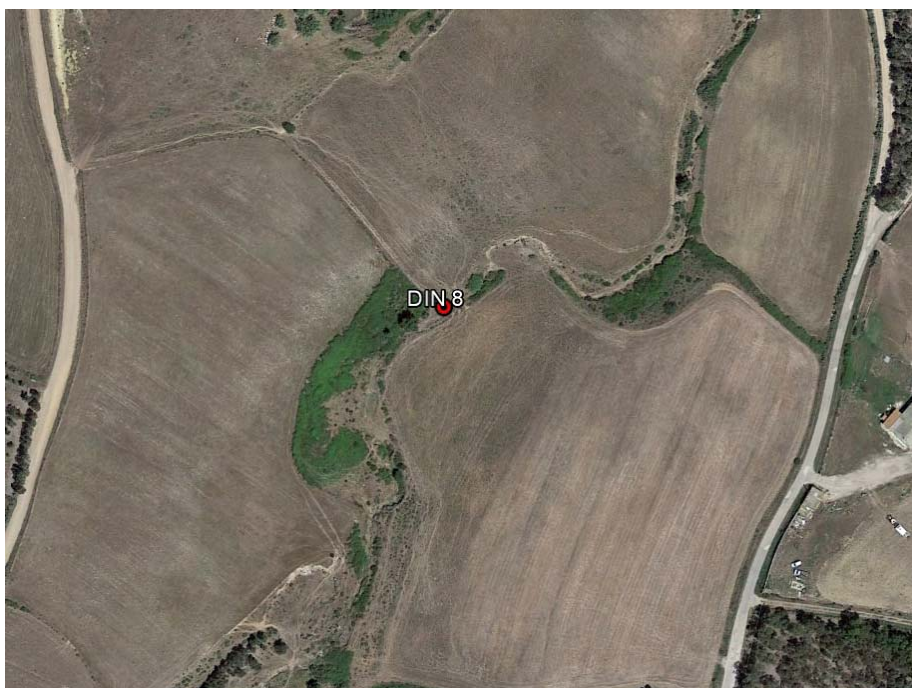


Fig.90: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 8



Fig.91: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 8

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

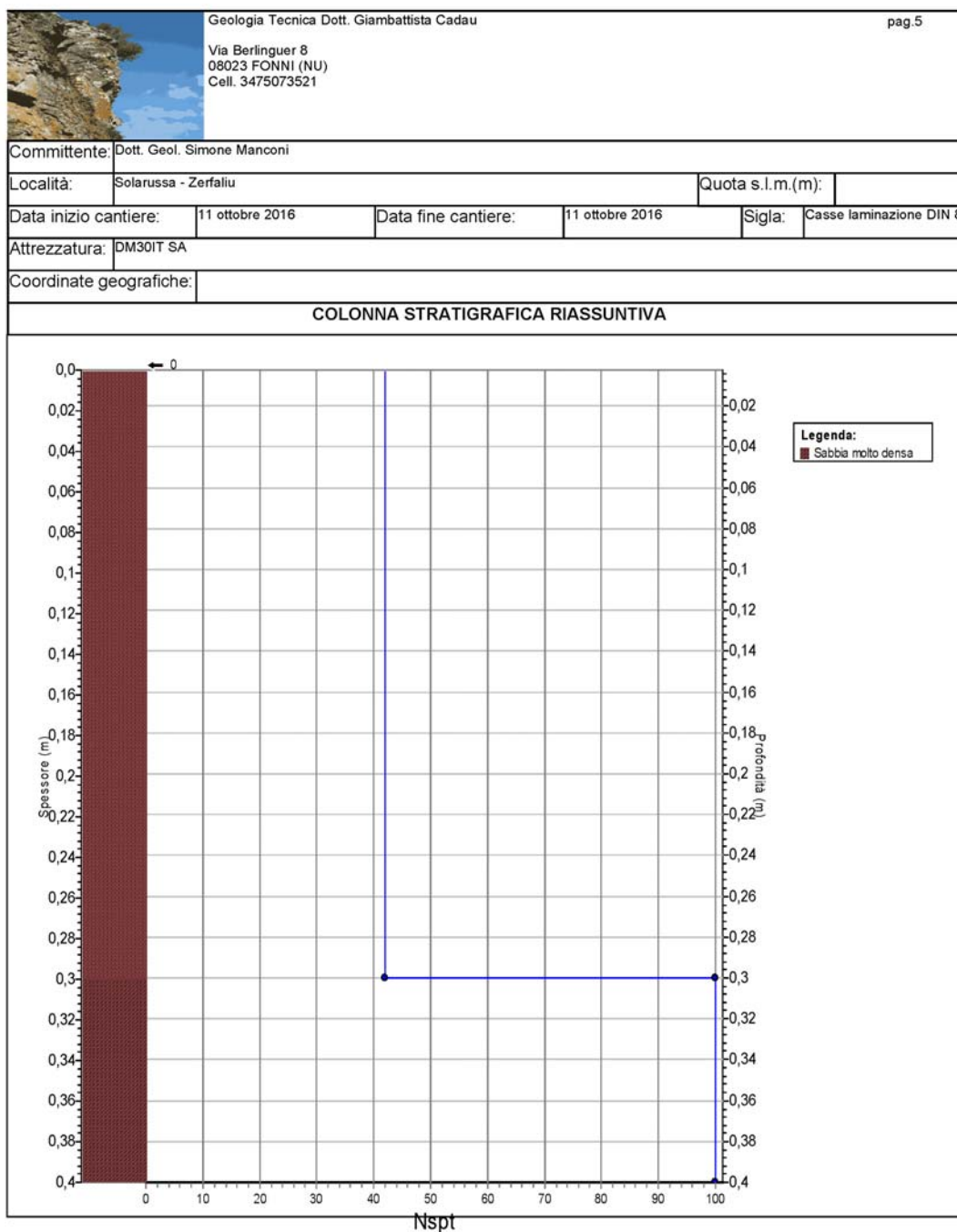


Fig.92: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 8

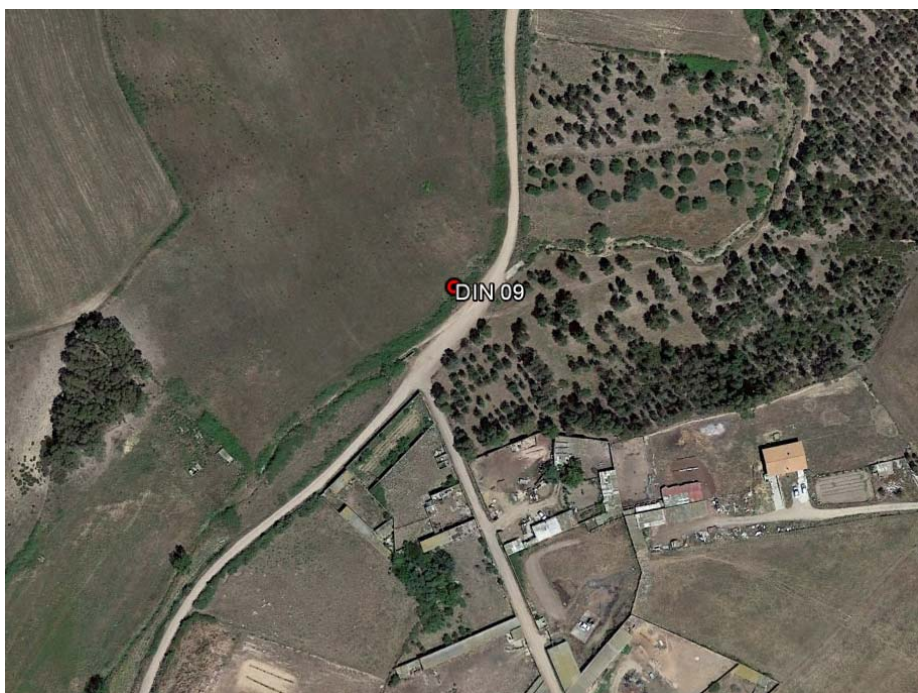


Fig.93: Aerofotogrammetria con ubicazione del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 9



Fig.94: Ripresa fotografica del punto relativo alla prova penetrometrica DIN 9

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

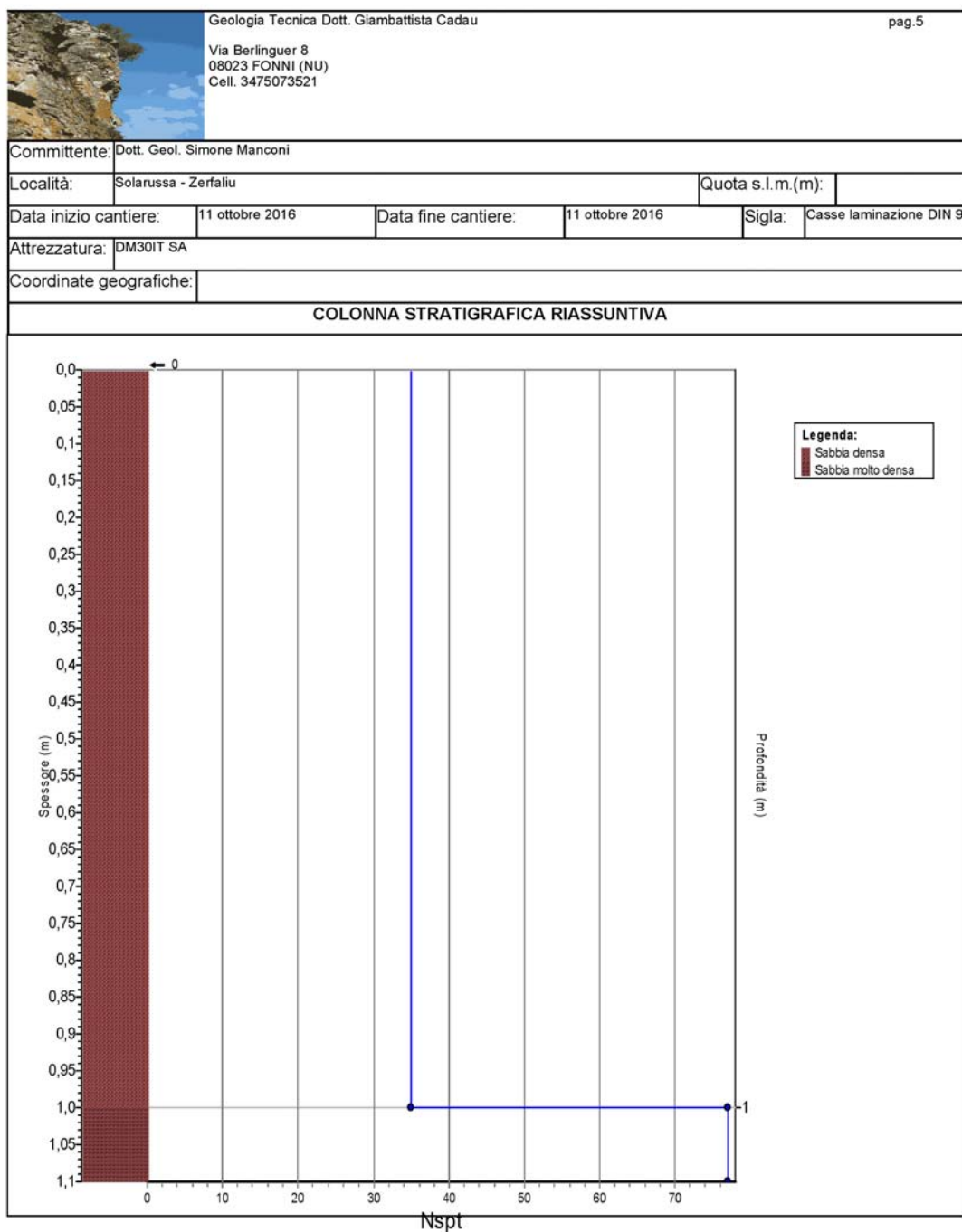


Fig.95: Colonna Stratigrafica prova penetrometrica DIN 9

Come si evince dalla sintesi dei risultati riportati in forma di diagramma avanzamento alla punta – profondità, la sequenza deposizionale rilevata durante le prove penetrometriche dinamiche è riconducibile a formazione sabbioso – ghiaiose da mediamente a molto cementate, laddove il grado di addensamento risulta essere così importante tale da contrastare a rifiuto l'avanzamento dello strumento.

Infatti, alcune delle prove penetrometriche, pur ripetute in diversi punti, si sono interrotte a profondità poco rilevanti (meno di 1 metro dal p.d.c.), il che conferma appunto la presenza di livelli molto cementati già dai primi decimetri di profondità.

Pertanto, è confermato che le sequenze deposizionali rilevate in corrispondenza dell'area d'intervento hanno caratteristiche tali da poter essere considerate molto idonee alla realizzazione di opere di mitigazione, in quanto lo stato di addensamento cui si trovano agevola la stabilità del piano di posa dei manufatti previsti in progetto.



Fig.96: Ripresa fotografica del materiale sabbioso – ghiaioso estratto dai pozzetti

12. Indagine sismica H.V.S.R. - Descrizione

L'indagine sismica è finalizzata alla classificazione sismica del sito ai sensi dell'OPCM 3274, DM 19/09/2005 e delle NTC del 14 gennaio 2008. Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni ed ottenere una stima della velocità delle onde di taglio V_s 30 per la definizione della categoria sismica dei terreni in ottemperanza alle nuove N.T.C. - D.M.14 gennaio 2008 integrato con la circ. 02/02/09 N° 617 C.S. LL.PP.

Alla luce della nuova normativa sismica, la misura delle vibrazioni sismiche ambientali o rumore sismico ha acquisito una notevole importanza.

L'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- 1) Spettri di Fourier
- 2) Rapporti spettrali
- 3) Rapporti spettrali H/V.

Quest'ultimo, che fornisce i risultati più attendibili e noto anche noto come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

L'acquisizione dei dati HVSR, realizzabile attraverso dei geofoni triassiali a bassa frequenza, permette di determinare con accuratezza la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro indispensabile per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_s 30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

- Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.
- Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20

secondi. Si ottiene così un insieme di finestre “long”, che sono sincronizzate fra le tracce.

- Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.
- Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.
- Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.
- Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.
- Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

13. Indagine sismica H.V.S.R. – Analisi dei risultati Comune di Solarussa – Traversa n°1

La registrazione sismica mostra un primo picco di frequenza a circa 4.1 Hz, che indica una prima discontinuità stratigrafica ad una profondità di circa 1.3 m (terreno vegetale).

Un secondo picco, a circa 4.9 Hz, indica invece una discontinuità stratigrafica ad una profondità di circa 1.70 m (materiale sabbioso – ghiaioso compatto).

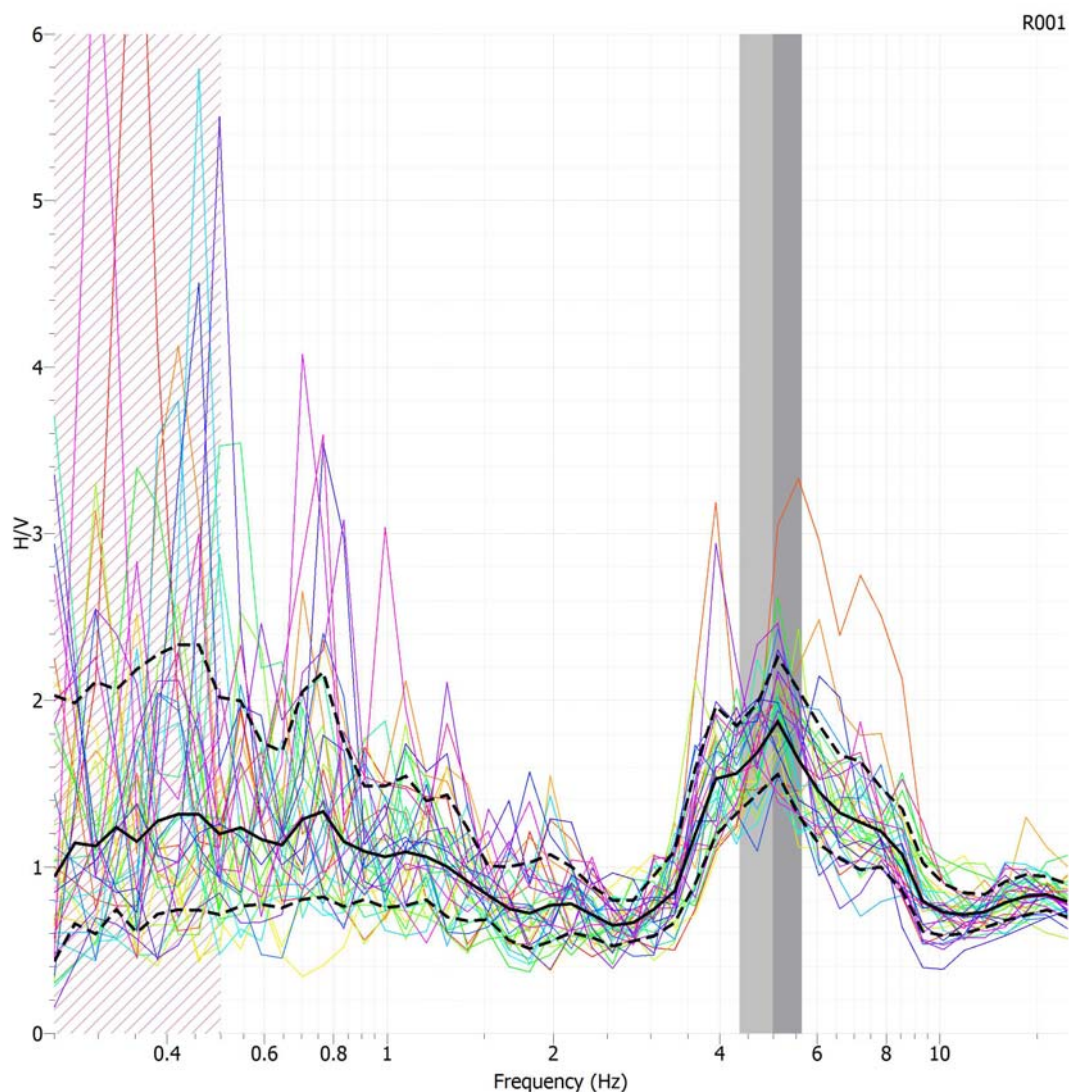


Fig.97: Rapporto H/V e ampiezza spettrale componenti - Traversa Fluviale - Comune di Solarussa

Successivamente, con l'aumento di profondità (2.20 m) si ha un nuovo picco di frequenza appena accennato a circa 5.20 Hz, che corrisponde al nucleo del materiale sabbioso – ghiaioso cementato, senza particolari contrasti di impedenza sismica fino alla profondità di circa 3.40 metri.

Questo debole risalto della risposta sismica indica che i materiali sabbioso - ghiaiosi accumulati hanno in effetti uno stato di addensamento simile rispetto al terreno in posto sottostante.

Il picco di frequenza più importante si rileva a circa 0.4 Hz, corrispondente al basamento basaltico posto ad una profondità di circa 20 m dal piano di campagna.

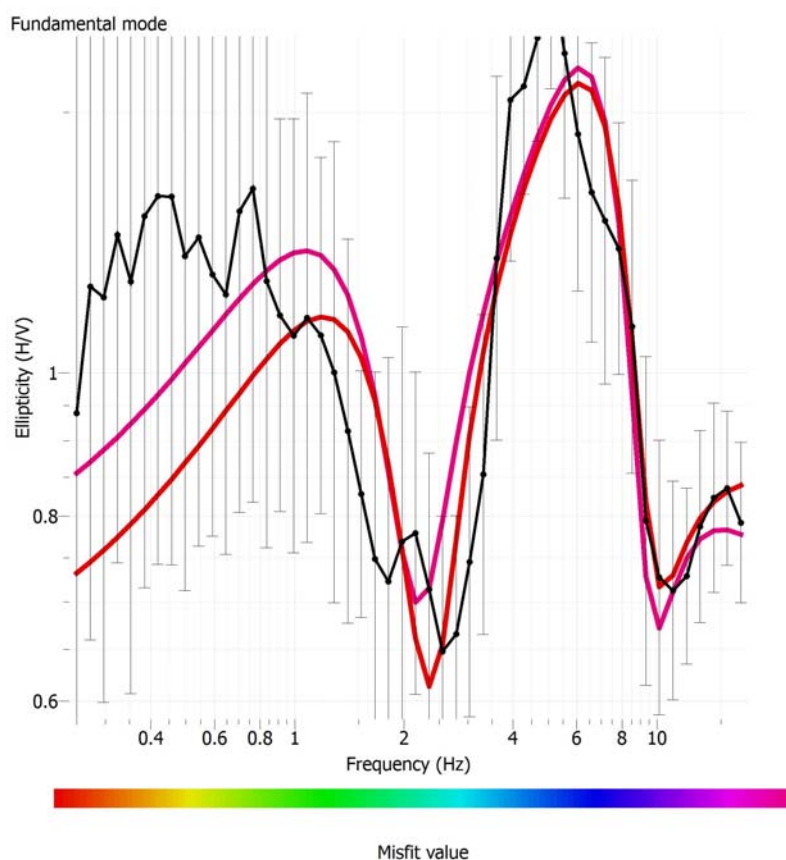


Fig.98: Curva delle frequenze filtrata e interpretata - Traversa Fluviale - Comune di Solarussa

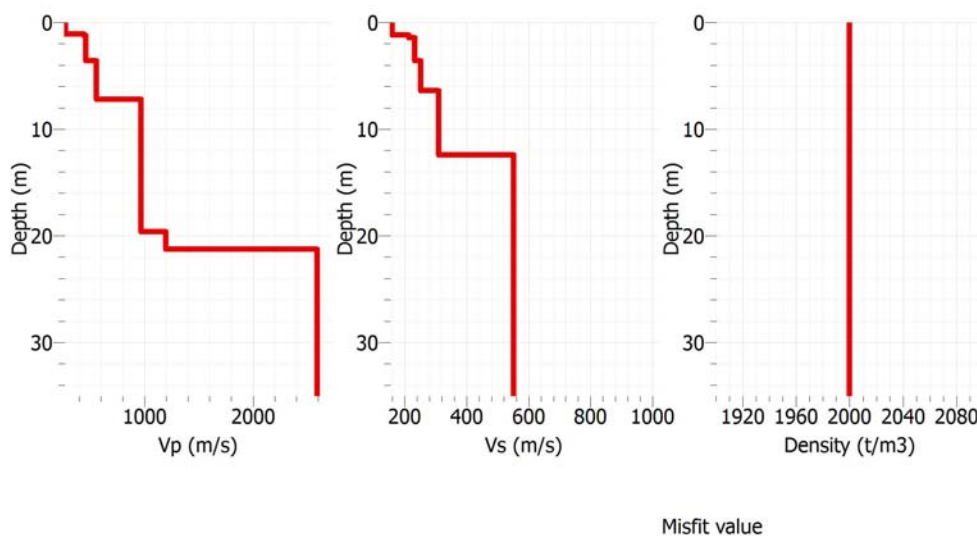


Fig.99: Diagramma delle velocità – profondità - Traversa Fluviale - Comune di Solarussa

Nel complesso, per quanto attiene il sito prescelto per la realizzazione della traversa fluviale, la velocità delle V_{s30} è stato stimato in circa 375 m/s, di cui alla categoria di sottosuolo di tipo “B”:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE - D.M. 14.10.2008	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
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 V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
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 V_{s30} inferiore a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

14. Indagine sismica H.V.S.R. – Analisi dei risultati Comune di Zerfaliu – Traversa n°2

Per quanto concerne la registrazione sismica effettuata nel sito di Zerfaliu, si evince un primo picco di frequenza a circa 0.38 Hz, che indica una prima discontinuità stratigrafica ad una profondità di circa 0.50 m (substrato roccioso basaltico).

Un secondo picco, a circa 0.41 Hz, indica invece una discontinuità stratigrafica ad una profondità di circa 2.20 m (cappellaccio di alterazione basaltico).

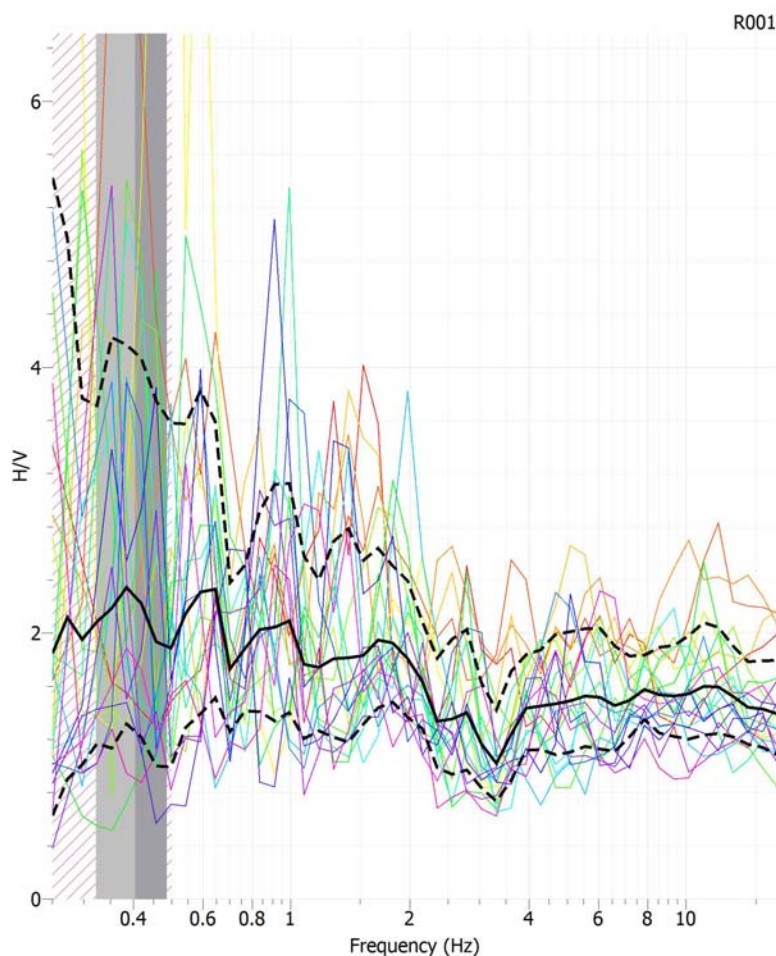


Fig.100: Rapporto H/V e ampiezza spettrale componenti - Traversa Fluviale - Comune di Zerfaliu

Successivamente, con l'aumento di profondità (4.10 m) si ha un nuovo picco di frequenza appena accennato a circa 0.50 Hz, che corrisponde al nucleo del materiale basaltico di consistenza litoide, senza particolari contrasti di impedenza sismica fino alla profondità di circa 6.00 metri.

Questo debole risalto della risposta sismica indica che i materiali sabbioso - ghiaiosi accumulati hanno in effetti uno stato di addensamento simile rispetto al terreno in posto sottostante.

Il picco di frequenza più importante si rileva a circa 0.52 Hz, corrispondente al basamento basaltico posto ad una profondità di circa 10 m dal piano di campagna.

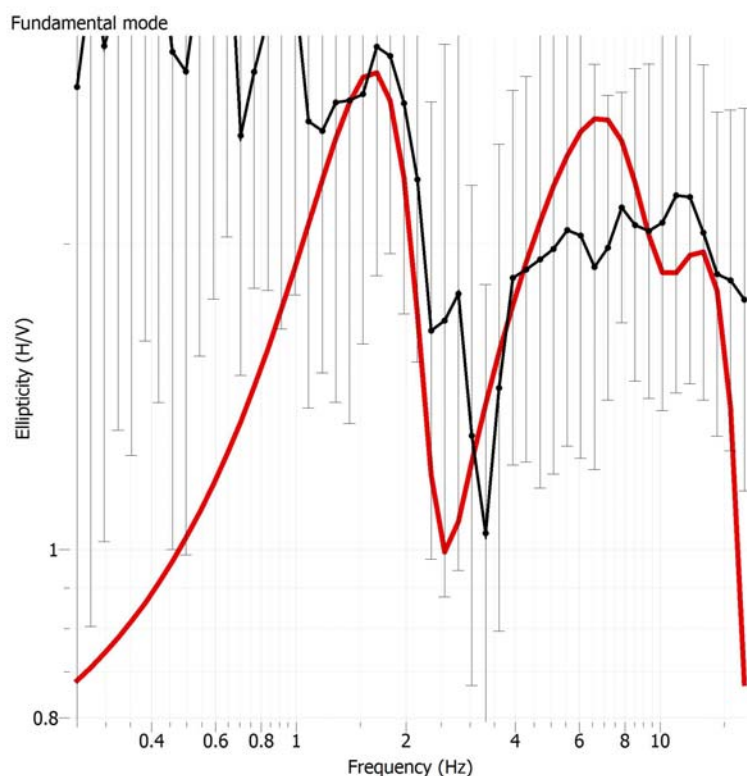


Fig.101: Curva delle frequenze filtrata e interpretata - Traversa Fluviale - Comune di Zerfaliu

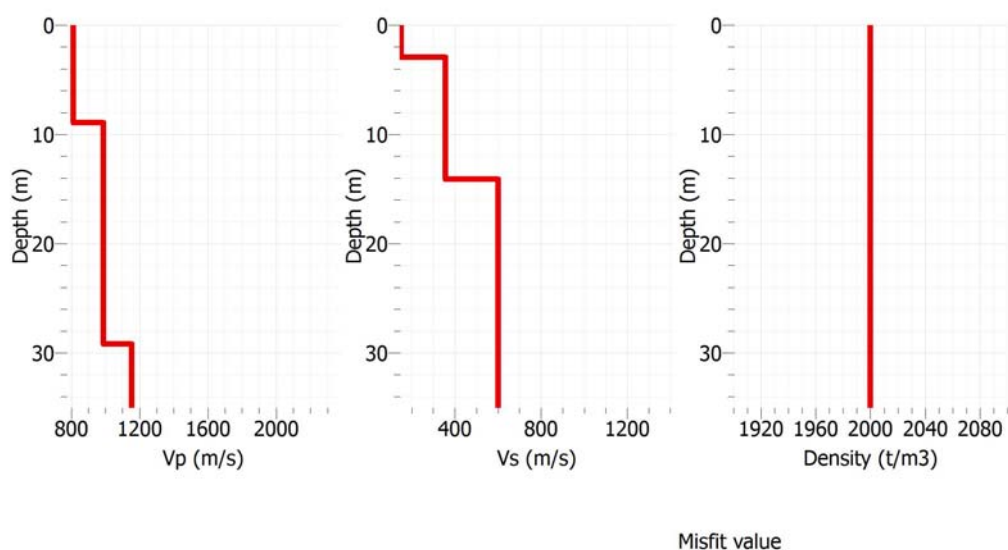


Fig.102: Diagramma delle velocità – profondità - Traversa Fluviale - Comune di Zerfaliu

Nel complesso, per quanto attiene il sito prescelto per la realizzazione della traversa fluviale, la velocità delle V_{s30} è stato stimato in circa 385 m/s, di cui alla categoria di sottosuolo di tipo “B”:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE - D.M. 14.10.2008	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
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 V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
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 V_{s30} inferiore a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

15. Analisi geotecnica del sottosuolo

L'esame dei dati rilevati nel corso dell'indagine ha consentito di specificare un modello geologico e geotecnico del sottosuolo in funzione delle indagini dirette ed indirette svolte.

In particolare, per quanto concerne il modello geologico, appare evidente che, per quanto concerne il Comune di Solarussa, si evince una prevalente componente sedimentaria terrigena, costituita da Sabbie, Ghiaie e ciottoli in matrice limo – argillosa, il cui spessore varia da un minimo di 20 metri (in corrispondenza della traversa sul Rio Nura Craba) fino a superare il 30 metri di profondità in corrispondenza delle aree in Dx idraulica del Tirso.

Per quanto concerne il territorio di Zerfaliu si evince una componente litoide prevalente, con basalti affioranti in corrispondenza dell'area della traversa fluviale sul Rio Saoru e fino a circa 4 metri di profondità nei settori vallivi.

Per la definizione del modello geotecnico è stata presa come riferimento la mole di dati acquisiti in fase di indagine, sia diretta, sia indiretta.

Per quanto concerne le indagini dirette, verranno di seguito illustrati tutti i parametri geotecnici estratti dalle prove penetrometriche dinamiche continue seguiti dalle valutazioni più specialistiche di tipo indiretto, costituite da prove geotecniche di laboratorio.

Per quanto attiene le prove penetrometriche dinamiche continue, verranno riportate le caratteristiche dei seguenti parametri geotecnici:

1. Peso di Volume (Kg/mc)
2. Angolo di Attrito interno (°)
3. Coesione (Kg/cm²)
4. Modulo Elastico (Kg/cm²)
5. Modulo Edometrico (Kg/cm²)
6. Densità relativa (%)

Per quanto concerne le prove di laboratorio, verranno definiti con maggior precisione i seguenti parametri geomeccanici:

1. Peso di Volume (Kg/mc)
2. Angolo di Attrito interno (°)
3. Coesione (Kg/cm²)

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.103: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 1

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.104: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 2

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.105: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 3

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.106: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 4

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.107: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 5



Fig.108: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 6

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.109: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 7

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.110: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 8

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO
STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

[illegible]

Fig.111: Elenco dei principali parametri geotecnici relativi alla prova penetrometrica DIN 9

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessi

Via Parini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

Cell. P. Caula 347/7167780 - I. Dessi 368/7853386

DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 8404/16

Committente: Dott. Geol. Simone Manconi **Data consegna campione:** 21/10/16

Progetto: Progetto di mitigazione del rischio idrogeologico - Canale Nora Craba - Salarussa

Sondaggio/pozzetto: **P2** Campione: **C1 P2** Profondità (m dal p.c.): **2,0**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione del campione : Argilla grigio-verde estremamente consistente

Caratteristiche della prova : Consolidata drenata su provini non ricostruiti prelevati da zolle integre

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

si	no
----	----

Caratteristiche del provino	Provino n°	1	2	3
Contenuto d'acqua iniziale	%		18,7	
Peso di volume umido iniziale	g/cm ³	1,751	1,844	1,777
Peso di volume secco	g/cm ³	1,475	1,554	1,497

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

	Provino n°	1	2	3
Tempo al 100% della consolidazione primaria	min		25	
Tempo minimo di durata della prova	min		317,5	
Velocità massima di esecuzione calcolata	mm/min		0,016	

TAGLIO

Tensione verticale applicata	kPa	102,54	197,97	302,08
Resistenza massima al taglio	kPa	76,2	121,4	151,2
Deformazione orizzontale alla rottura	%	7,7	8,1	10,8
Velocità di prova	mm/min		0,01	

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCO

ANGOLO DI
RESISTENZA AL
TAGLIO
20,53 °

COESIONE
41,0 kPa

Data : 27/10/2016
Pag. : 1/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Fig.112: Certificato di laboratorio – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P2 (2.00 m)

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Via Parini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessi

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

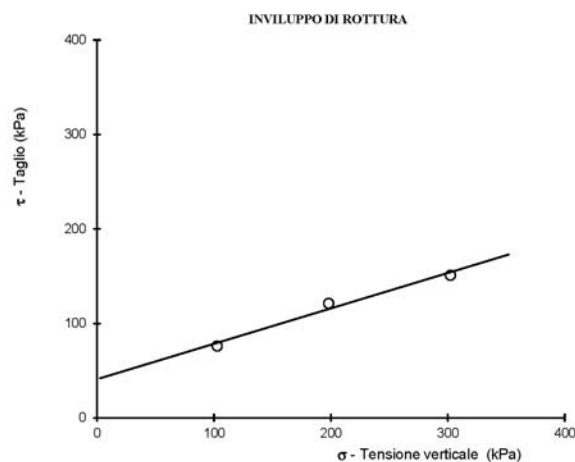
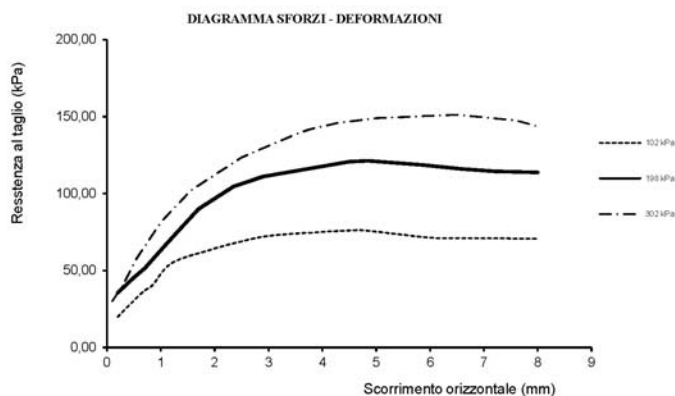
Cell. P. Caula 347/7167780 - I. Dessi 368/7853386

Rif. Lab. : 8404/16

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 27/10/2016

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Fig.113: Diagramma Sforzi - Deformazioni – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P2 (2.00 m)

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessi

Via Panini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Cell. P.Caula 347/7167780 - I.Dessi 368/7853386

DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 8405/16

Committente: Dott. Geol. Simone Manconi **Data consegna campione:** 21/10/16

Progetto: Progetto di mitigazione del rischio idrogeologico - Canale Nora Craba - Solarussa

Sondaggio/pozzetto: **P3** Campione: **C1 P3** Profondità (m dal p.c.): **1,5**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione del campione : Ghiaia con sabbia bruna in matrice limo-argillosa

Caratteristiche della prova : Consolidata drenata su provini ricostruiti con rimozione dei clasti > di 5 mm

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

si	no
----	----

Caratteristiche del provino	Provino n°	1	2	3	4
Contenuto d'acqua iniziale	%	5,0			
Peso di volume umido iniziale	g/cmc	1,780	1,779	1,795	1,810
Peso di volume secco	g/cmc	1,696	1,695	1,710	1,724

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

	Provino n°	1	2	3	4
Tempo al 100% della consolidazione primaria	min	9			
Tempo minimo di durata della prova	min	114,3			
Velocità massima di esecuzione calcolata	mm/min	0,08			

TAGLIO

Tensione verticale applicata	kPa	53,09	102,54	197,97	302,08
Resistenza massima al taglio	kPa	36,4	75,3	128,9	206,0
Deformazione orizzontale alla rottura	%	14,5	15,0	15,0	10,8
Velocità di prova	mm/min	0,08			

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCO

ANGOLO DI
RESISTENZA AL
TAGLIO
33,68 °

COESIONE
2,4 kPa

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Data : 27/10/2016
Pag. : 1/2

Fig.114: Certificato di laboratorio – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P3 (1.50 m)

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Via Parini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessì

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

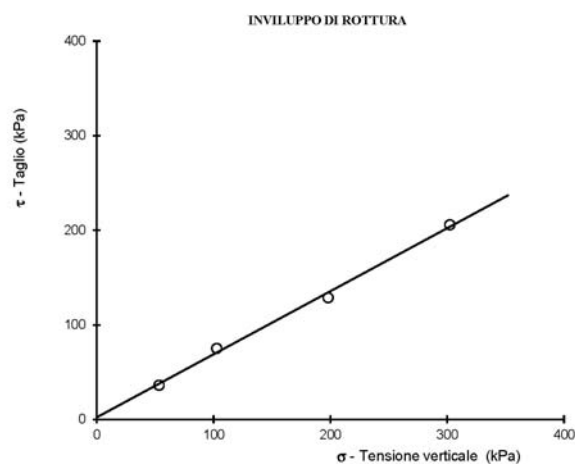
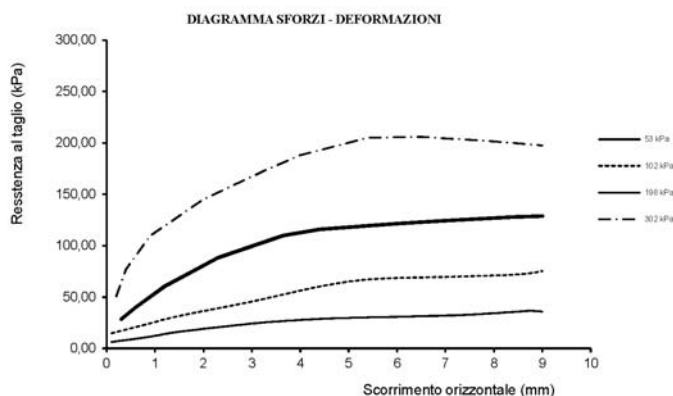
Cell. P. Caula 347/7167780 - I. Dessì 368/7853386

Rif. Lab. : 8405/16

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 27/10/2016

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Fig.115: Diagramma Sforzi - Deformazioni – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P3 (1.50 m)

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessi

Via Panini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Cell. P.Caula 347/7167780 - I.Dessi 368/7853386

DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 8406/16

Committente: Dott. Geol. Simone Manconi **Data consegna campione:** 21/10/16

Progetto: Progetto di mitigazione del rischio idrogeologico - Canale Nora Craba - Solarussa

Sondaggio/pozzetto: **P5** Campione: **C1 P5** Profondità (m dal p.c.): **4,5**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione del campione : Ghiaia con sabbia bruna in matrice limo-argillosa, molto umida

Caratteristiche della prova : Consolidata drenata su provini ricostruiti con rimozione dei clasti > di 5 mm

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio : ☒ sì ☐ no

Caratteristiche del provino	Provino n°	1	2	3	4
Contenuto d'acqua iniziale	%	12,6			
Peso di volume umido iniziale	g/cmc	1,972	2,039	2,029	1,990
Peso di volume secco	g/cmc	1,751	1,811	1,802	1,767

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

	Provino n°	1	2	3	4
Tempo al 100% della consolidazione primaria	min	9			
Tempo minimo di durata della prova	min	114,3			
Velocità massima di esecuzione calcolata	mm/min	0,079			

TAGLIO

Tensione verticale applicata	kPa	53,09	102,54	197,97	302,08
Resistenza massima al taglio	kPa	40,1	79,5	114,5	211,4
Deformazione orizzontale alla rottura	%	12,8	15,0	15,0	15,0
Velocità di prova	mm/min	0,07			

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCO

ANGOLO DI
RESISTENZA AL
TAGLIO
33,24 °

COESIONE
3,9 kPa

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Data : 27/10/2016
Pag. : 1/2

Fig.116: Certificato di laboratorio – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P5 (4.50 m)

soiltech s.n.c.

geologia e geotecnica

Via Parini, 71a/b - 09045 Quartu Sant'Elena (CA)

Iscrizione Camera di Commercio: REA 240223 - P.IVA 03018780928

Dott. Geol. Paolo Caula - Dott. Geol. Ignazio Dessì

Tel. 070/862381 - E-mail soiltech@tiscali.it - www.soiltech.it

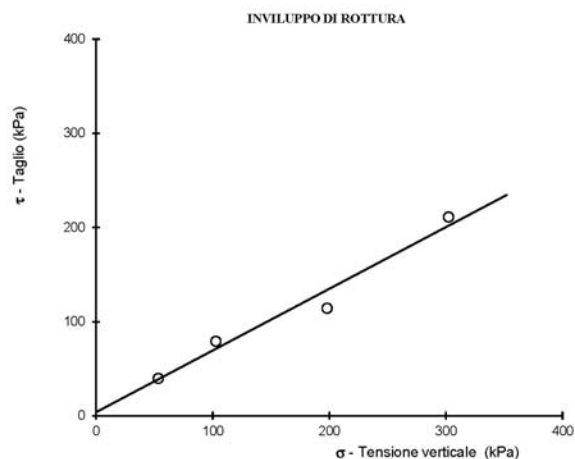
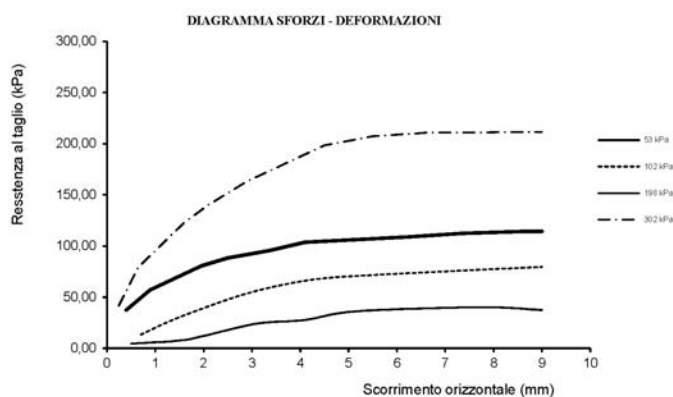
Cell. P. Caula 347/7167780 - I. Dessì 368/7853386

Rif. Lab. : 8406/16

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 27/10/2016

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

Fig.117: Diagramma Sforzi - Deformazioni – Prova di taglio diretto Campione C1 – Pozzetto P5 (4.50 m)

Nel complesso, come riportato nelle tabelle e nei diagrammi, il sottosuolo interessato dall'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico del Rio Nura Craba e del Rio Saoru, è costituito da prevalenti sabbie e ghiaie molto cementate in matrice limo-argillosa, talora intercalate da livelli argillosi decimetrici sovraconsolidati.

I campioni sono caratterizzati da un buon grado di umidità, tuttavia nei sondaggi geognostici eseguiti, ad eccezione del sondaggio P7, non è stata rilevata la falda acquifera superficiale, che comunque non è da escludersi durante gli eventi di piena straordinari.

In generale, la sequenza stratigrafica rilevata rispecchia caratteristiche di resistenza eccellenti, infatti la zona è stata utilizzata in un recente passato come giacimento per l'estrazione di materiali da costruzione, il che conferma appunto l'ottima qualità del sottosuolo.

16. Conclusioni

Sulla base dello schema programmatico e progettuale preliminare, è stata redatta una relazione geologica e geotecnica a supporto dello Studio di Fattibilità Tecnica ed economica dell'intervento denominato: "Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del Fiume Tirso".

Il progetto, nella sua fase preliminare, prevede la realizzazione di una serie di interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico del rio Nura Craba a Solarussa e del Rio Saoru a Zerfaliu.

Gli interventi più sostanziali consistono nella laminazione delle piene a monte mediante la realizzazione di due sbarramenti o traverse fluviali da posizionarsi a monte del Rio Nura Craba e del Rio Saoru.

Per il Rio Nura Craba, verrà inoltre prevista la realizzazione di un nuovo canale scolmatore che convoglierà le portate di piena a valle dell'abitato di Solarussa, mettendo in sicurezza tutta la fascia del centro abitato, attualmente a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4).

Tra gli interventi che interesseranno il Rio Nura Craba vi sarà anche lo stombamento del canale scatolare che transita all'interno del centro abitato, corrispondente al centro di pericolo attualmente più rilevante sotto il profilo del rischio idraulico.

A riguardo, la relazione geologica e geotecnica preliminare ha avuto l'obiettivo di analizzare le formazioni presenti in sito, definendone gli aspetti stratigrafici, geomorfologici, idrologici e idrogeologici.

Inoltre sono stati definiti gli aspetti geotecnici dei materiali costituenti il sottosuolo interessato dalle opere in progetto. Complessivamente sono state eseguite le seguenti indagini in sito e laboratorio:

- N° 10 Sondaggi geognostici eseguiti con escavatore congelato, della profondità media di $\approx$ 4.80 m, per complessivi $\approx$ 48 metri lineari di scavi;

- N° 9 Prove penetrometriche dinamiche continue, rappresentative della sequenza stratigrafica rilevata in corso di indagine geognostica, da cui sono stati determinati i principali parametri geotecnici dei materiali presenti nell'area d'intervento;
- N° 2 Indagini sismiche eseguite in corrispondenza delle opere d'arte principali (Traverse fluviali di Solarussa e Zerfaliu), per la determinazione della categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 14.01.2008 e s.m.i.
- N° 3 prove di Laboratorio (Prove di Taglio Diretto) sui campioni di sottosuolo più rappresentativi della sequenza, per la determinazione dei parametri geotecnici dei livelli di sottosuolo non rilevati dalle prove penetrometriche.

Come riportato nelle tabelle e nei diagrammi contenuti all'interno del presente lavoro, il sottosuolo interessato dall'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico del Rio Nura Craba e del Rio Saoru, è costituito da prevalenti sabbie e ghiaie molto cementate in matrice limo-argillosa, talora intercalate da livelli argillosi decimetrici sovraconsolidati.

I campioni sono caratterizzati da un buon grado di umidità, tuttavia nei sondaggi geognostici eseguiti, ad eccezione del sondaggio P7, non è stata rilevata la falda acquifera superficiale, che comunque non è da escludersi durante gli eventi di piena straordinari.

In generale, la sequenza stratigrafica rilevata rispecchia caratteristiche geotecniche eccellenti, infatti la zona è stata utilizzata in un recente passato come giacimento per l'estrazione di materiali da costruzione, il che conferma appunto l'ottima qualità del sottosuolo.

Per quanto concerne l'analisi del deflusso superficiale, dall'analisi geomorfologica è emerso che sia il Rio Nura Craba sia il Rio Saoru sono caratterizzati da un buon inalveamento della corrente e da una discreta capacità di trasporto solido, elemento questo che dovrà essere certamente valutato in sede di progettazione definitiva ed esecutiva.

Esaminata la natura e le caratteristiche geo-litologiche dell'area, si ritiene che questa possieda tutti requisiti di idoneità da un punto di vista geologico-tecnico, all'uso cui è destinata.

Cagliari, 7/11/2016

Il Professionista incaricato

Dott. Geol. Simone Manconi