

COLLEGAMENTO HVDC "SA.CO.I. 3"

PIANO TECNICO DELLE OPERE

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA PRELIMINARE
LATO SARDEGNA



Storia delle revisioni		
Rev. 02	Del 30/03/2021	Aggiornamento per integrazioni SIA
Rev.01	Del 03/07/2019	Revisione TRI
Rev. 00	Del 30/04/2019	Emissione

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	4
	SITO DI STUDIO:	5
	CODRONGIANOS, STAZIONE DI CONVERSIONE	5
3.	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO	6
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO - IDROGEOLOGICO	8
5.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
6.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA	21
7.	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA	27
8.	CONCLUSIONI	28
	SITO DI STUDIO:	29
	SANTA TERESA GALLURA, CAVI DI POLO	29
9.	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO	30
10.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	32
11.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	51
12.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA	65
13.	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA	72
14.	CONCLUSIONI	73
	ALLEGATI PER IL SITO DI CODRONGIANOS	74
	ALLEGATI PER IL SITO DI S. TERESA DI GALLURA	74

1. PREMESSA

La presente relazione geologica riguarda gli interventi rientranti interamente nell'ambito territoriale del Comune di Piombino (LI) della parte terrestre ubicata in Toscana del progetto COLLEGAMENTO HVDC "SA.CO.I.3" SARDEGNA - CORSICA - ITALIA.

Nello specifico il progetto riguarda il rinnovo ed il potenziamento di un collegamento elettrico HVDC (Alta Tensione in Corrente Continua) tra la Sardegna, la Corsica e la penisola italiana, (denominato appunto "SA.CO.I.3"), da attuare attraverso la sostituzione e potenziamento dei cavi marini e terrestri, nonché delle due stazioni di conversione, dell'attuale collegamento denominato "SA.CO.I.2" (Sardegna-Corsica-Italia).

La nuova connessione elettrica verrà realizzata mantenendo l'attuale livello di tensione e le attuali linee aeree, già adeguate all'incremento di potenza previsto.

All'interno della Regione Sardegna i siti interessati dal progetto SACOI 3, sono i seguenti:

1. Tracciato cavi terrestri di polo lato Sardegna e realizzazione nuovo edificio di transizione aereo-cavo, in località Buoncammino, Comune di Santa Teresa Gallura (OT);
2. Area della nuova stazione di conversione HVDC, localizzata in adiacenza alla S.E. esistente, in comune di Codrongianos (SS).



Ubicazione delle aree di intervento

La presente relazione geologica preliminare ha contenuti e grado di dettaglio conformi alle prescrizioni delle NTC2018. La seguente relazione rientra nell'ambito della progettazione per autorizzazione e per la sua redazione si è proceduto alle seguenti operazioni:

- Ricerca bibliografica inerente all'area in esame;
- Ricerca dei dati disponibili in rete afferenti all'ambito geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- Sopralluogo e rilevamento geologico-tecnico delle aree interessate;

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione si sono considerati i seguenti riferimenti normativi:

- in materia edilizia e urbanistica, con particolare riferimento al D.P.R. 380/2001 - Testo Unico in materia edilizia;
- in materia di tutela ambientale e del territorio, di cui al D.Lgs. 152/06;
- in materia di indagini sui terreni e sulle rocce, di stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, di cui al 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni (di seguito NTC 2018);
- in materia di progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità e durabilità di cui al D.M. 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni (di seguito NTC 2018);
- in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro di cui al D.Lgs.81/08;

SITO DI STUDIO:
CODRONGIANOS, STAZIONE DI CONVERSIONE

3. UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

Il sito di indagine è posto nella regione Sardegna nel comune di Codrongianos (Sassari) che è localizzato a Nord-Ovest dell'isola. Nell'ortofoto riportata a seguito è riportata la posizione a nord dell'isola.

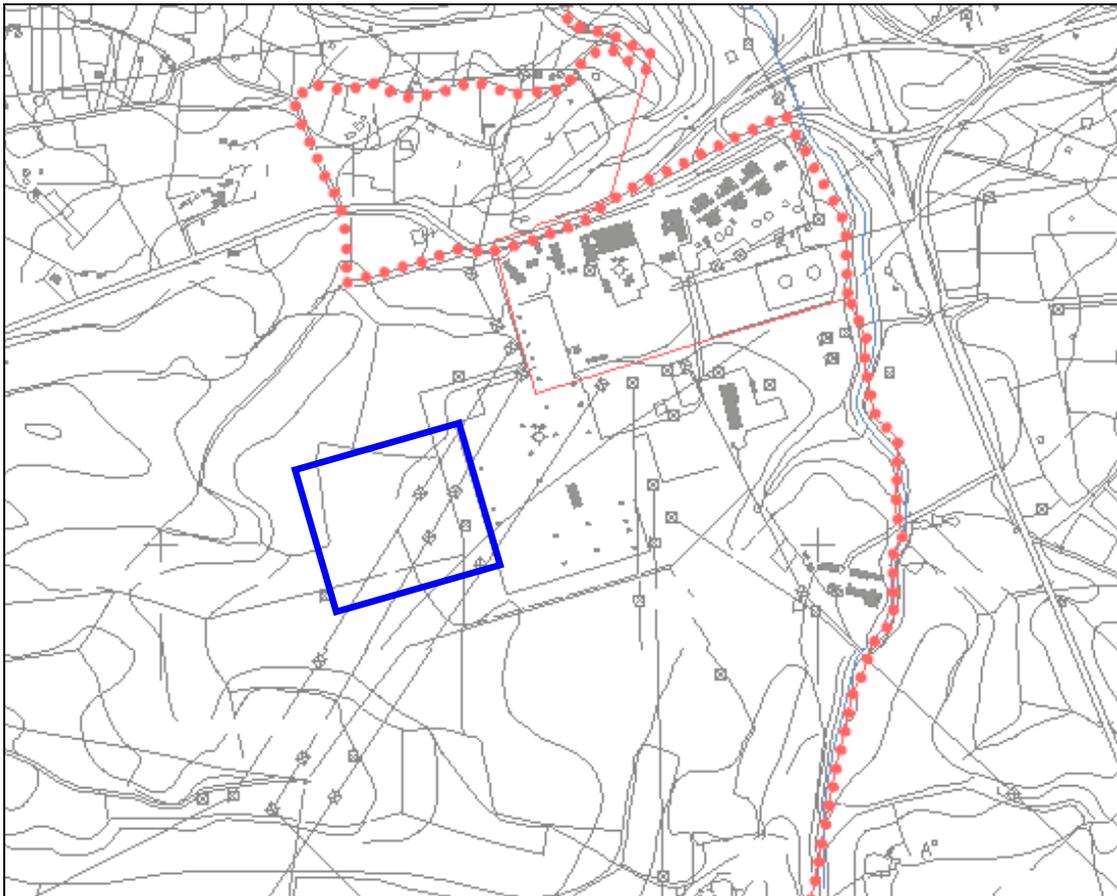


Ubicazione dell'area di studio posto a nord della Sardegna (Ortofoto, Google.com)

Il sito di interesse è posto a Sud-est dell'area comunale di Codrongianos, al limite amministrativo con il comune di Ploaghe in un'area pianeggiante sita al confine ovest dell'attuale impianto di proprietà di Terna a ridosso della strada provinciale 68.



Ubicazione del sito di indagine (Ortofoto, Google.com)



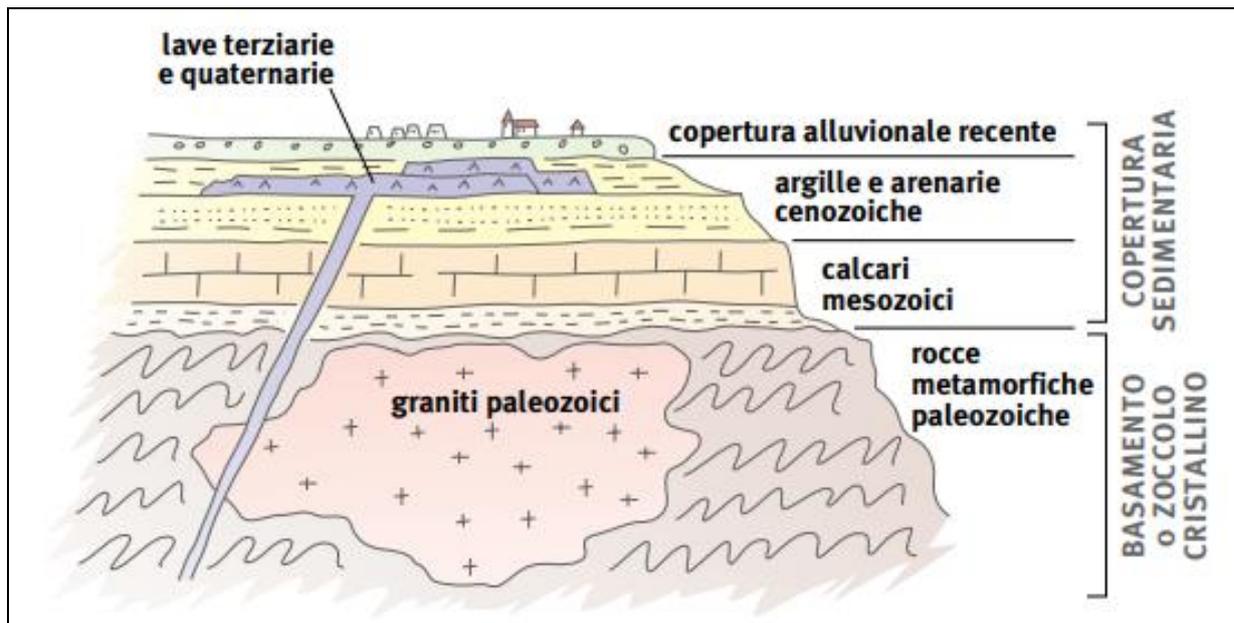
Estratto CTR, immagine in scala 1:10.000. Indicato in figura in colore blu il sito investigato

In tale area si prevede di realizzare la nuova stazione di conversione HVDC del collegamento "SA.CO.I. 3" rinnovato, intervento che prevede anche la realizzazione dei relativi raccordi in cavo HVAC ed HVDC verso la stazione esistente, l'interramento di tre linee 150 kV esistenti ed interferenti con il futuro impianto e la realizzazione di una strada di accesso al sito confluyente nella strada provinciale 68.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

La Sardegna insieme alla Corsica, rappresenta un vero e proprio micro-continente situato tra due profondi bacini marini, il Mar Tirreno ad est ed il bacino Algero-provenzale ad ovest, in larga parte costituiti da crosta oceanica. Il blocco sardo-corso, come noto, durante l'Oligocene-Miocene subì una roto-traslazione antioraria che lo ha portato nella posizione attuale per cui la Sardegna è un frammento di continente europeo geologicamente molto diversa dal resto d'Italia. La Regione inoltre è quella con le rocce fossilifere più antiche della Nazione in cui è possibile trovare rocce del Cambriano (il periodo più antico dell'era paleozoica). Tali formazioni rocciose di età circa 300 milioni di anni, sono situate dalla Gallura a nord, fino a Capo Carbonara a sud sia di natura magmatica che metamorfiche ed appartengono al così detto basamento cristallino, ovvero una porzione dell'antica catena ercinica che, alla fine del Carbonifero, interessò vaste zone dell'Europa.

Il sito però presenta successioni comprese tra il terziario e l'attuale costituito da rocce ignee e rocce sedimentarie di origine marina, mentre i terreni più giovani sono caratterizzati da vulcaniti effusive basaltiche e depositi alluvionali.



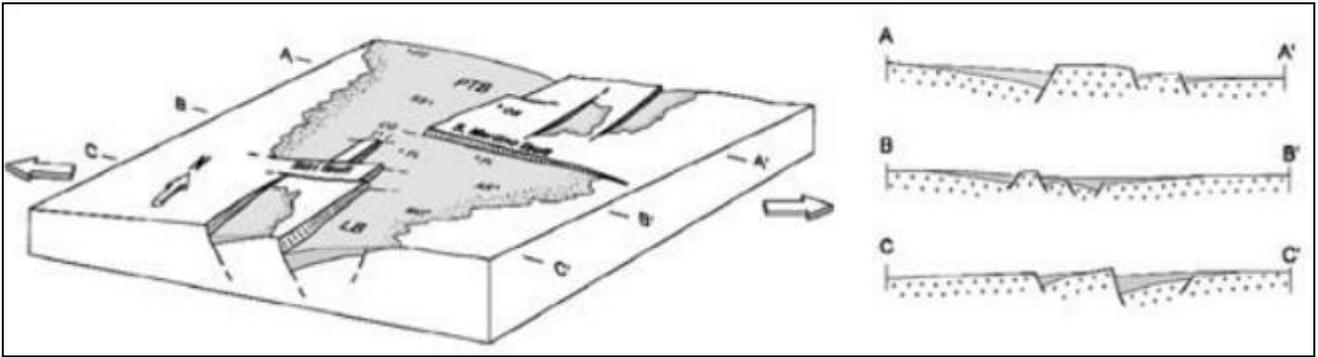
Schematizzazione dei rapporti stratigrafici precedenti l'erosione ed il successivo affioramento del basamento cristallino

La successione sedimentaria, in gran parte erosa è caratterizzata dalla presenza di sequenze deposizionali delimitate da discordanze riconoscibili e seguibili alla scala bacinale. I primi sono depositi continentali (fluviali e di piana alluvionale), deltizi e marini di piattaforma. I depositi fluviali sono rappresentati da conglomerati canalizzati, amalgamati con strutture tipo cut-and-fill. I clasti sono costituiti principalmente da litotipi provenienti dal basamento ercinico con matrice costituita da una sabbia medio-grossolana. L'ambiente deposizionale è

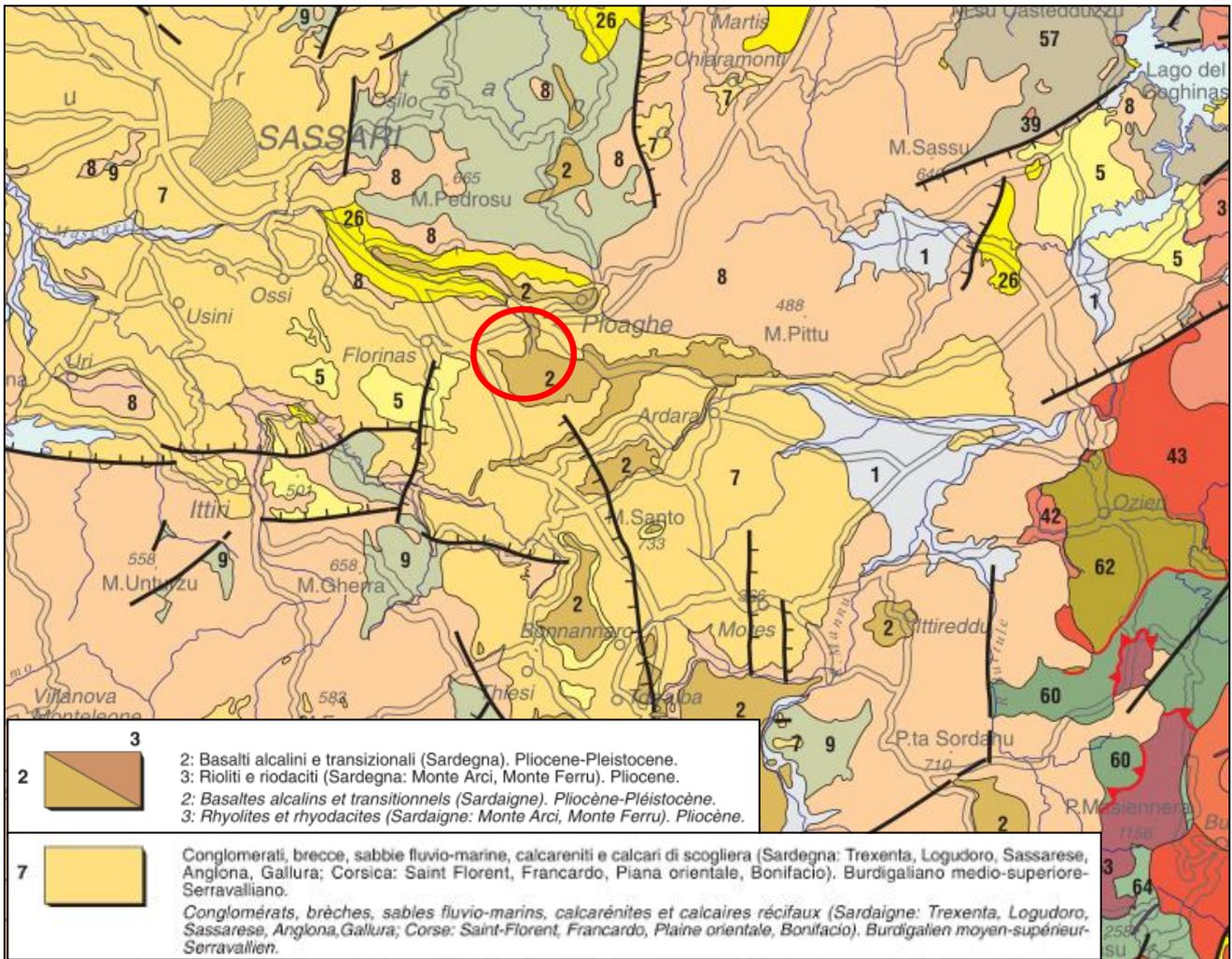
fluviale di tipo braided. I depositi di piana alluvionale sono costituiti da sabbie medio-fini ed argille-sabbiose giallastre spesso pedogenizzate nelle quali s'intercalano sabbie grossolane e conglomerati fini. Questi ultimi due litotipi sono costituiti da grani di quarzo, monzogranito e metamorfite erciniche. Raramente si osservano anche biotiti clastiche. Le sabbie grossolane sono sia lentiformi (canali) che tabulari (sheet flood).

I depositi marini di piattaforma sono costituiti da calcari e marne. I primi sono calcari di aspetto nodulare (Ca), calcareniti e calciruditi (C) a grani di quarzo e monzogranito e cemento carbonatici. Diffusi sono i frammenti di fossili di anellidi, bivalvi (*Chlamys*, *Cardium*, *Ostrea*, *Venus*), gasteropodi (*Turritella*), echinoidi, rodoliti, macroforaminiferi (*Amphistegina* e *Heterostegina*) e tracce fossili dell'icnofacies a *Skolithos*. I carbonati sono organizzati in strati di 5-10 cm e oggi affiorano per lo più nella zona di Porto Torres.

Il sito investigato si colloca nell'area del Logudoro nel territorio comunale di Codrongianos che geologicamente è un semi-graben, orientato NNW che si estende, da sud verso nord, dall'altopiano di Campeda a sud fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a nord; più a settentrione si sviluppa il bacino di Porto Torres di cui è noto il proseguimento a mare (THOMAS & G ENNESSEAUX 1986). La strutturazione del bacino del Logudoro avviene tramite una serie di faglie dirette che ne identificano il margine occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un sub-strato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniane-burdigaliene e da sedimenti mesozoici. I sedimenti, procedendo da est verso ovest, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. Il riempimento è costituito da tre sequenze stratigrafiche principali: la più antica è una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente di fluvio-delta che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee tipiche di ambiente marino più profondo. Questa ha un'età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia con rapporti di onlap sulle sottostanti vulcaniti oligo-aquitaniane ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. Su quest'ultima giace la seconda sequenza deposizionale che arriva fino al Tortoniano-Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine alla base e da calcari di piattaforma interna ricchi in alghe (MAZZEI & OGGIANO 1990). Infine, si ha la sequenza più giovane caratterizzata dalla successione clastica di Scala Erre (Messiniano). Tra le prime due sequenze sono evidenti movimenti tettonici che originarono sollevamenti differenziati e, in parte, causarono l'erosione dei sedimenti della sequenza sedimentaria più antica e la deposizione di sedimenti silicoclastici d'ambiente continentale e transizionale. Le particolari condizioni di affioramento della terza sequenza non permettono per ora un sicuro inquadramento tettonico.



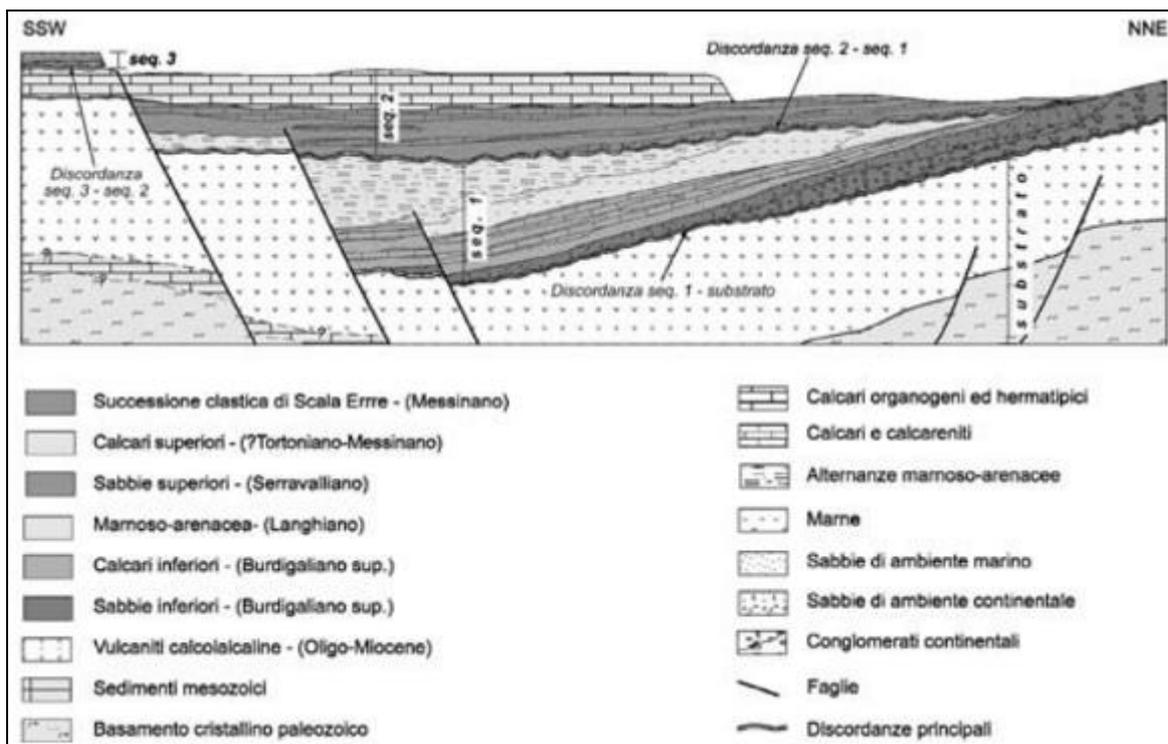
Blocco schematico del bacino di Logudoro



Stralcio carta geologica e strutturale della Sardegna; cerchiato in rosso l'area d'indagine

La Sardegna settentrionale nel Miocene è caratterizzata dall'alternarsi di numerosi cicli trasgressivo-regressivi. Durante il Burdigaliano superiore-Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione dove, in successione verticale, ai depositi continentali, principalmente costituiti da sabbie (STAGE I), seguono i depositi marini di piattaforma prossimale (calcari algali) e distale (marne) (STAGE II). La caduta del livello del mare del

Langhiano superiore e/o Serravalliano inferiore è responsabile della profonda erosione dei depositi sopra citati. In questa fase si sviluppano profonde (100 m) valli incise. Nel conseguente periodo di risalita del livello del mare in cui lungo il margine del bacino si sviluppano sistemi deltizi di tipo Gilbert mentre al limite della piattaforma (Florinas) si depositano le sabbie quarzoso-feldspatiche che riempiono le valli precedentemente formatesi (Low Stand Wedge) (STAGE III). La nuova trasgressione consente lo sviluppo, durante il Serravalliano, inferiore, di una vasta piattaforma carbonatica (STAGE IV). Le condizioni di High Stand vengono raggiunte nel Tortoniano e, anche se con continue variazioni relative del livello del mare, permangono fino al Messiniano inferiore. Durante l'HS si depositano le parasequenze silico-carbonatico (STAGE V) ed i calcari algali (STAGE VI). Non vi sono tracce di depositi evaporitici riferiti alla crisi di salinità del Mediterraneo del Messiniano. E' quindi da supporre che la caduta del livello del mare nella Sardegna sia precedente a questo evento. La nuova caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerose valli incise, la più importante di queste è il Canyon di Castel Sardo a NE del Bacino del Logudoro.

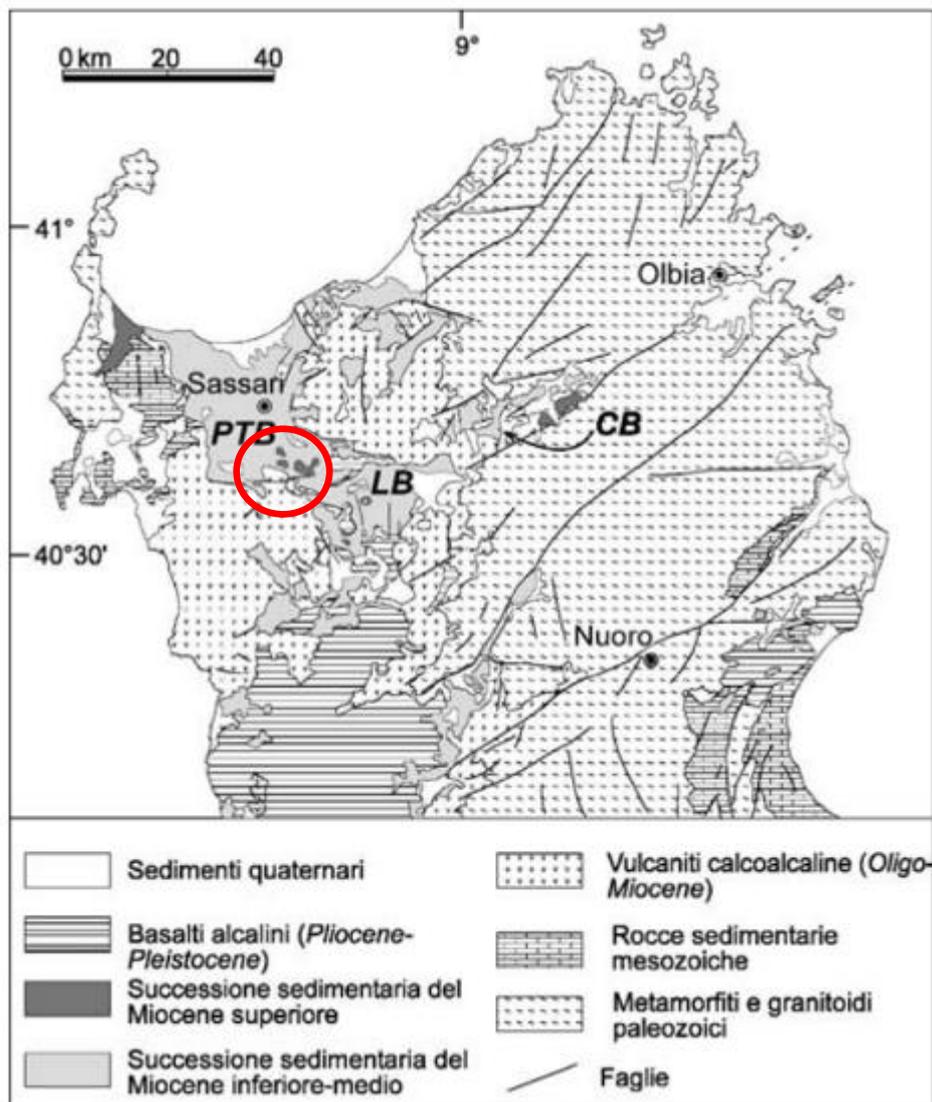


Sezione geologica supposta dei bacini miocenici della Sardegna Settentrionale

I principali sistemi di faglie dell'area sono tre: due, ad orientazione rispettivamente NNW e circa E-W, hanno avuto un ruolo importante nell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei bacini, mentre il terzo, orientato circa N-S, è responsabile in parte dell'attuale assetto geometrico dell'area occupata dai due bacini.

Il secondo sistema di faglie è orientato circa E-W ha cinematica prevalentemente diretta ed è in genere ben evidente nella parte occidentale del bacino del Logudoro (Faglia di Ittiri, ecc.), per esempio presso San Maurizio

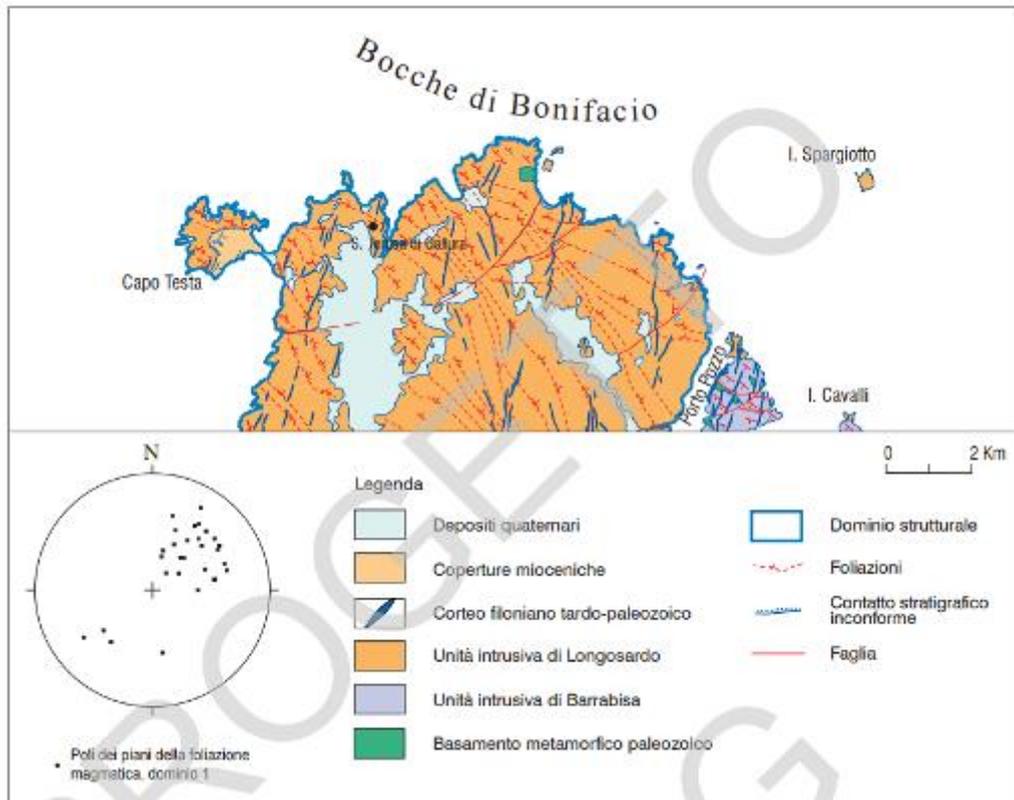
di Ittiri, dove ha sollevato il blocco meridionale portando alla completa erosione della formazione langhiana, cosicché i calcari tortoniani trasgrediscono direttamente il substrato vulcanico oligo-aquitaniiano (vedi carta geologica allegata). Lungo i lineamenti tettonici ad andamento meridiano si è inoltre instaurata una zona di trasferimento orientata circa E-W che separa il bacino di Porto Torres a nord da quello del Logudoro a sud e la cui presenza giustifica l'opposta direzione di ribaltamento dei due bacini. Il sistema N-S interessa tutte le successioni affioranti fino ai basalti alcalini plio-pleistocenici, dislocando, in particolare, la parte centrale del bacino. Sempre durante il Plio-Pleistocene si hanno riattivazioni anche dei due sistemi sopra descritti.



Schema geologico della Sardegna settentrionale, estratto dalle note illustrative del Foglio 411; cerchiato in rosso l'area d'indagine

Il contesto geodinamico del Batolite Sardo-corso, che ha portato alla formazione della catena ercinica sarda, risulta complesso. Il carattere di magmatic flow in cui si sviluppano queste strutture è testimoniato dall'assenza

di deformazione interna dei minerali e da microstrutture e le grandi fluidità planari, evidenti nelle facies affioranti, immergono prevalentemente verso N-NE con inclinazioni comprese tra i 30° e 50°.



Stralcio carta schematica delle foliazioni magmatiche dell'unità intrusiva di Longosardo

Tra l'Oligocene superiore ed il Messiniano la Sardegna settentrionale è stata sede di un'importante tettonica e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini, in parte coalescenti, ma che si differenziano per essere legati a due differenti orientazioni strutturali e con due differenti, e successive, evoluzioni tettono-sedimentarie. Questi bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come Fossa sarda ("Rift Sardo" in: CASULA et al. 2001; CHERCHI & MONTADERT, 1982), e interpretata come un lineamento tettonico orientato N-S che attraversa tutta l'isola, legato ad una estensione crostale orientata E-W (CHERCHI & TREMOLIERES, 1984) avvenuta durante la rotazione del Blocco sardo-corso all' Oligocene superiore. Secondo un'interpretazione più recente (CARMIGNANI et al. 2001, cum bibl.) i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: una con fosse orientate prevalentemente N60° (bacini di Chilivani-Berchidda (CB), Anglona, Ottana, di seguito definiti: Bacini transtensivi aquitaniani) di età Oligocene superiore-Aquitano, ed una con fosse orientate NNW (bacini del Logudoro (LB) e di Porto Torres (PT), di seguito definiti: Bacini burdigaliani) di età Burdigaliano-Tortoniano. Le successioni stratigrafiche appartenenti ai bacini suddetti sono definite rispettivamente come sin-rift la successione oligo-aquitano e post-rift quella burdigaliano-tortoniano.

I Bacini transtensivi aquitaniani, occupano principalmente la parte più orientale dell'isola, dove trasgrediscono sul basamento ercinico caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. Sono impostati in genere in prossimità di "releasing bend" lungo faglie trascorrenti sinistre orientate circa N60°, hanno una caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali ed una successione sedimentaria con sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri, con intercalati prodotti vulcanici e vulcanoclastici, alternati a depositi alluvionali e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Talvolta, la successione tipicamente continentale evolve a marina (ad es. bacino di Castelsardo e dell'Anglona).

Le faglie trascorrenti sinistre di cui sopra sono considerate come il prodotto della collisione che ha originato la catena nord-appenninica (CARMIGNANI et al. 1994); sono quindi legate ad un quadro geodinamico compressivo, compatibile con un campo di stress regionale come proposto da PASCI (1997) che in Sardegna settentrionale ha una direzione del s1 circa N-S e che, solo in corrispondenza di releasing band, genera estensioni N-S (OGGIANO et al. 1995). In alternativa tale estensione N-S, riconosciuta anche da FACENNA et.al (2002) riguarderebbe tutto il Blocco Corso Sardo e potrebbe rappresentare un'estensione orogen-parallel, analoga a quella riscontrata in altri contesti geodinamici del Pacifico occidentale.

I Bacini burdigaliani sono più recenti, hanno direzione circa NNW ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a nord fino all'altopiano di Campeda a sud. Strutturalmente si configurano come semi-graben con faglie principali su bordi opposti, connessi da zone di taglio prevalentemente trascorrenti ad orientamento EW che trasferiscono la deformazione estensionale da un fianco all'altro dei bacini. Questi bacini intersecano chiaramente quelli transtensivi orientati N60° interrompendone sia la continuità di affioramento della successione stratigrafica sia le faglie trascorrenti che li strutturano.

Nella successione stratigrafica è possibile distinguere tre sequenze deposizionali (in figura sottostante), una (Sequenza 1) che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano ed una (Sequenza 2) che va dal Serravalliano al Messiniano, ambedue caratterizzate da un passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi carbonatici francamente marini di piattaforma. Infine una terza (Sequenza 3), riferita al Messiniano superiore, di cui rimane testimonianza nella zona a ovest dell'abitato di Porto Torres, presso gli impianti industriali di Fiume santo (Scala Erre), caratterizzata da sedimenti clastici grossolani di ambiente fluviale (Fig. 1, 2). Il campo di stress agente durante la formazione dei bacini NNW è supposto con un'estensione circa E-W legata alla rotazione del blocco sardo-corso al Burdigaliano superiore-langhiano e contemporanea con l'apertura del bacino balearico (VIGLIOTTI & LANGENHEIM, 1995). Questa tettonica estensionale è correlabile con l'estensione post-orogonica successiva alla collisione tra la placca sud-europea di cui faceva parte il blocco sardo-corso, e l'Adria.

L'aspetto geomorfologico della Sardegna si differenzia dal resto d'Italia, dovuto alla configurazione orografica ed idrografica; i rilievi infatti non formano vere e proprie catene montuose. I principali corrono sul lato orientale dell'isola e culminano a 1834m sul M. Gennargentu e rappresentano l'affioramento locale più esteso del basamento cristallino sardo-corso in gran parte granitico con conservati alcuni lembi della più recente parte sedimentaria di copertura. Quasi tutte le montagne granitiche della Sardegna hanno conformazione uniforme e massiccia, con aree sommitali generalmente arrotondate ed in parte spianate che si estendono in prevalenza fra 900 e 1200 d'altezza.

Dal punto di vista morfotettonico, la Regione viene considerata un mosaico di frammenti sconnessi di un antico massiccio rigido per cui la storia evolutiva si presenta complessa.

Lo schema idrografico sardo appare anch'esso assai complicato e subordinato ai vari cicli di erosione sub-aerea e sub-acquea. I tracciati attuali dei corsi d'acqua sono in prevalenza di origine tettonica recente, cioè non sono stati i fiumi a creare le valli ma piuttosto le acque si sarebbero incanalate nelle depressioni presenti, salvo la successiva opera di erosione di tali corsi d'acqua alla quale va attribuito il modellamento delle valli esistenti.

L'opera risulta localizzata in corrispondenza della valle del Riu de Corte, (affluente del Riu Murrone) tra i rilievi del Monte Inghiriu (342 m) e di Punta Alzola de Monte (348 m). e in essa affiorano gli espandimenti alcali- e trachi-basaltici eruttati rispettivamente dai centri di emissione di Punta Sos Pianos, a sud, e di Monte San Matteo, a est. La morfologia del Logudoro è caratterizzata soprattutto da rilievi tabulari, suborizzontali, immersi verso NO e dislocati dagli eventi tettonici più recenti, che raggiungono approssimativamente la stessa altezza, separati da valli larghe con versanti nel complesso dolci e poco acclivi, delimitati talora da piccole scarpate in funzione della maggiore o minore competenza delle formazioni rocciose mioceniche sottostanti il tabulato basaltico. I rilievi sono rappresentati da vasti tavolati interrotti da alte scarpate spesso di origine tettonica oppure, nell'area di studio, da basse colline dal profilo arrotondato separate da larghe valli; l'erosione selettiva dei vari tipi litologici crea spesso alternanze di livelli in rilievo e brusche rientranze lungo i fianchi delle valli e nelle pareti delle scarpate. I tavolati si formano quando i più erodibili sedimenti miocenici sono protetti o dal livello costituito da calcari più duri e compatti, o dagli espandimenti basaltici. I basalti affiorano anche in lunghe colate in vecchi solchi fluviali (colata del Coloru). La maggior parte dei flussi basaltici erano chiaramente confinati entro depressioni e/o paleovalli, ma attualmente sono localizzati perlopiù alla sommità di altipiani, a causa dell'erosione differenziale che ha portato a una forte inversione del rilievo. I rilievi nelle vulcaniti antiche oligo-mioceniche, che occupano solo due settori, a NE e SO del bacino del Rio Mannu (nella carta geologica allegata è visibile solo una parte a NE), sono più aspri e accidentati e costituiscono gran parte dello spartiacque.



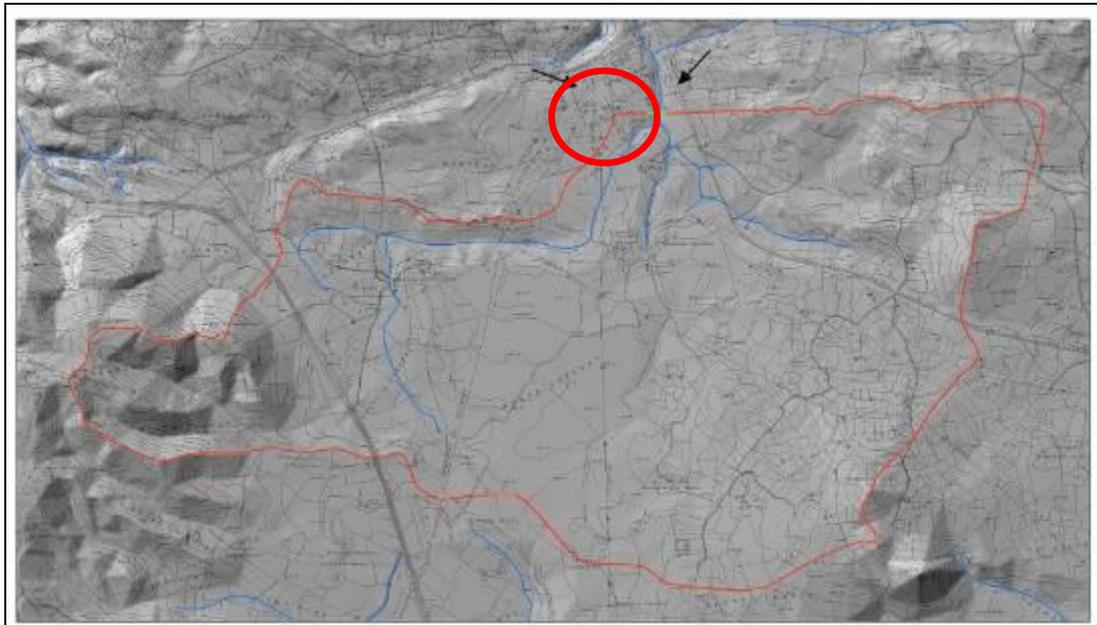
Area investigata



Area investigata, vista della centrale elettrica esistente

L'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee, infatti gran parte dei corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio, dovuto, fondamentalmente, alla stretta vicinanza tra i rilievi e la costa. I corsi d'acqua hanno prevalentemente pendenze elevate, nella gran parte del loro percorso, e sono soggetti ad importanti fenomeni di piena nei mesi tardo autunnali ed a periodi di magra rilevanti durante l'estate, periodo in cui può verificarsi che un certo corso d'acqua resti in secca per più mesi consecutivi.

Il reticolo idrografico fa parte del Rio Màscari, che è un affluente del Rio Mannu di Porto Torres e l'impluvio del Rio de Corte, ubicato a est della centrale elettrica, rappresenta uno dei rami più orientali e più alti del bacino idrografico del Rio Mannu; infatti, lo spartiacque, che divide il bacino del Riu Mannu di Portotorres (668 km²) da quello del Rio Mannu di Ozieri (921 km²), è presente poco più a sud dell'area della stazione elettrica con rilievi poco elevati rappresentati da centri di emissione e colate laviche del vulcanismo recente (M.te Pelao, Monte Santo, Monte Meddaris, Monte San Matteo, Monte Massa), che hanno interessato con ubicazione diretta N-S l'intera regione del Logudoro. I calcoli idrologici per la stima del rischio idrogeologico nell'area di studio sono estrapolati dalla relazione geologica per la centrale elettrica di Terna, non realizzata dagli scriventi, relativa al bacino idrografico del Riu de Corte la cui portata è dettata principalmente da precipitazioni meteoriche con carattere stagionale. I valori delle portate massime del bacino per i vari tempi di ritorno varia da circa 36 mc/s per T = 10anni, fino a 92 mc/s per T = 200anni. La sezione idraulica considerata risulta avere una capacità di smaltimento di 121mc/s per cui idonea per le portate di piena stimate.



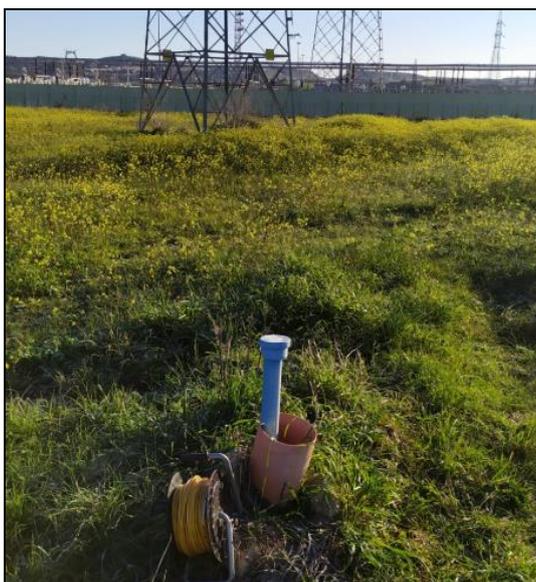
Bacino idrografico del Riu de Corte in rosso; sezione idrografica di riferimento per il calcolo in verde; cerchiata l'area d'indagine.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area in studio prevalgono i terreni a medio-bassa permeabilità per via dei litotipi affioranti permeabili prevalentemente per fessurazione, ad esclusione delle diverse formazioni sabbiose altamente permeabili per porosità. In particolare, la circolazione sotterranea è localizzata nelle formazioni calcaree in circuiti sub-superficiali ad alimentazione meteorica e da acque superficiali, nelle formazioni sabbiose come accennato, sede di importanti acquiferi ed infine in modo ridotto nelle vulcaniti basiche dove l'acqua circola lungo le fratture presenti. Nell'area investigata sono presenti diverse manifestazioni di sorgenti, le più importanti delle quali sono: la sorgente Codimissa vicino la chiesetta di Sant'Antoni, la San Sebastiano e la Coronazu a sud della centrale elettrica di Terna, tutte con portate inferiori al l/s. I maggiori acquiferi sono localizzati nel settore del territorio comunale di Ploaghe poiché le formazioni arenaceo-sabbiose risultano più potenti raggiungendo spessori anche di 150 – 200 m e confermato dalle portate di emungimento dei pozzi ivi localizzati con trend di 5 l/s circa. Spesso le falde presenti risultano leggermente in pressione per via degli strati marnoso-argillosi di confinamento al tetto degli acquiferi sabbiosi.

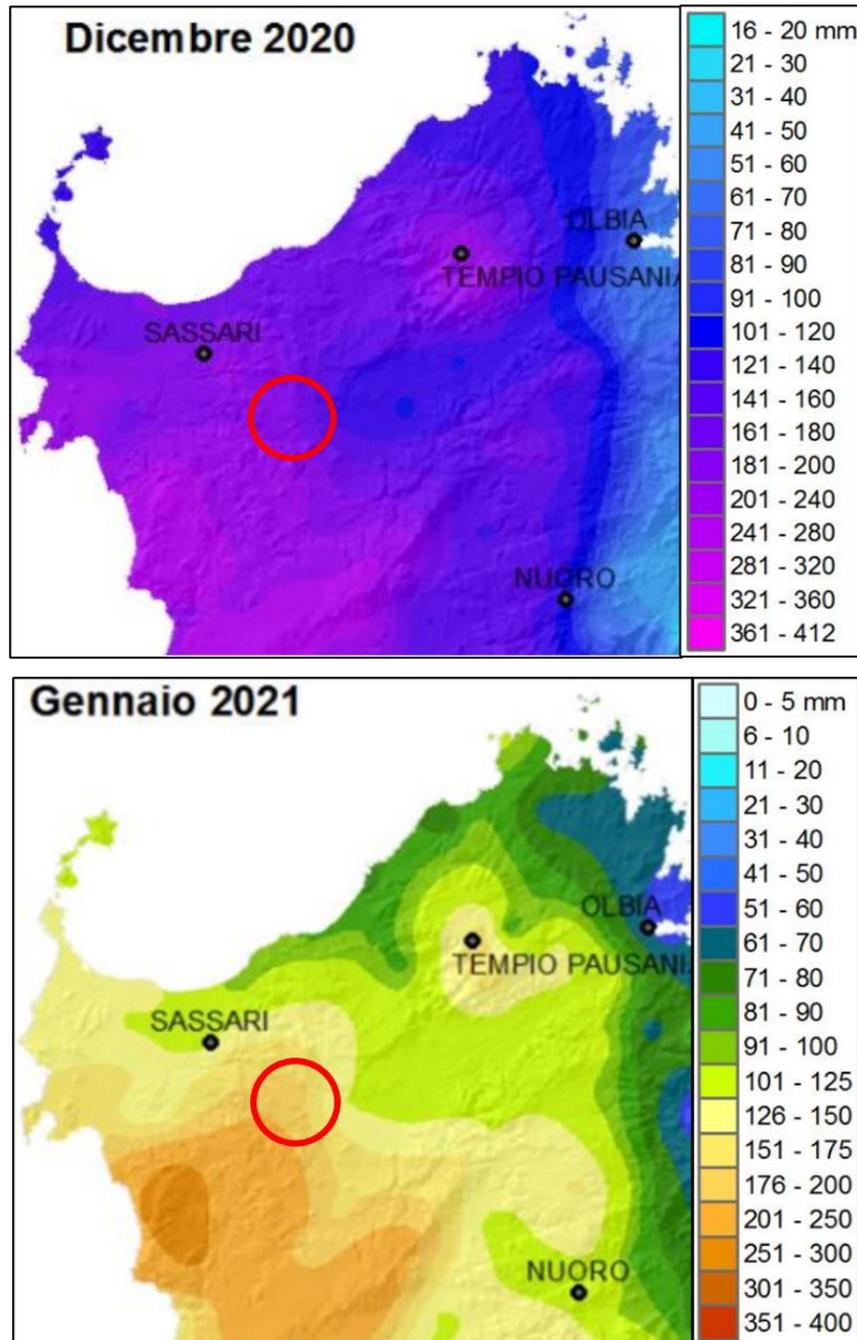
Da indagini precedenti realizzate per la stazione centrale di Terna, si evince che il livello piezometrico giace a circa 16/18 m dal p.c. nel marzo 2019.

Una ulteriore misura, eseguita nel giorno 15/02/2021 in un piezometro (messo in opera ad ovest della centrale esistente) è stata misurata una falda alla profondità di -4,3 m dal p.c. La risalita della falda rispetto ai valori registrati precedentemente è dovuta, con forti probabilità, alle abbondanti precipitazioni del periodo precedente la misurazione.



Piezometro ad ovest della centrale Terna

Si riportano a seguito due estratti cartografici dell'Arpa Sardegna in cui si rappresentano i valori cumulati mensili di precipitazione registrati nel mese di Dicembre 2020 e Gennaio 2021. Le figure evidenziano che nei 2 mesi prima dell'ultima misura freatica eseguita nel febbraio 2021 sono avvenute una serie di precipitazioni considerevoli che oltre a innalzare il livello della falda acquifera hanno generato fenomeni di ristagno idrico superficiale in zone dove erano presenti vie di passaggio come mostrato nelle foto poste a seguito, evidenza della bassa permeabilità dei livelli di terreno superficiali., che sfavoriscono l'infiltrazione delle acque meteoriche.



In alto Valori cumulati mensili di precipitazione registrati nel mese di Dicembre 2020, in basso Valori cumulati mensili di precipitazione registrati nel mese di Gennaio 2021 (Arpa Sardegna)



Zone di ristagno idrico nelle vie di accesso all'area di studio dovute a compattazione del terreno e forti precipitazioni nell'inverno 2020/2021

6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

Dalla cartografia geologica sotto riportata, estratta dal geo-portale regionale in scala 1:10.000, si evince che nell'area d'indagine affiorano i sedimenti quaternari delle alluvioni mioceniche della Formazione di Oppia Nuova caratterizzate da sabbie quarzose e conglomerati eterometrici, mentre parte della centrale già esistente ricade sugli affioramenti dei basalti di Logudoro del Pleistocene medio superiore (verde in carta).



Estratto carta geologica dal geoportale regionale; evidenziata l'area d'indagine.

Nel dettaglio la successione stratigrafica (dal più recente al più antico) delle successioni affioranti nell'area di Codrongianos è la seguente:

- Depositi quaternari di carattere alluvionale con elementi eterometrici grossolani non cementati e presentano spessori di 2-3 m.
- Basalti distinti in tre colate effusive di età diverse. La prima nell'area di Coloru lungo un vecchio solco fluviale; la seconda a S-E dell stazione elettrica caratterizzata da trachibasalti porfirici; infine la terza presente nell'area orientale della suddetta zona costituita da alcalibasalti con xenoliti quarzosi.
- Calcari di M. Santo (o calcari superiori), sono calcari di colore chiaro con resti di alghe e coralli e posano in discordanza sulle Sabbie di Florinas e quando mancanti sulle Marne di Borutta.
- Sabbie di Florinas, litotipo essenzialmente sabbioso incoerente di colore da bianco a grigio in discordanza spesso con le marne e calcari sottostanti. Presenta elementi eterometrici millimetrici di natura quarzosa con buona maturità tessiturale.
- Marne di Borutta, marne arenacee e calcareniti alternate a siltiti giallastre in banchi suborizzontali .
- Fm. Dei Calcari di Mores (o calcari inferiori), caratterizzati da calcari marnoso-arenacei eteropici con le marne dell'unità precedente. Tali unità presentano anche livelli sabbiosi fossilifere, ricche in quarzo legate probabilmente a gasi regressivi minori.
- Fm. Oppia nuova, sabbie e ghiaie quarzoso feldspatiche di natura granitica con granulometria variabile e risultano da ben cementate a poco cementate.
- Ignimbriti del Burdigaliano inferiore caratterizzati da vulcaniti calcalcaline da flussi piroclastici di tipo ash-flow o pomice-flow con composizione riolitica/trachitica.

Dal rilevamento di superficie nonché dalle indagini dirette eseguite nell'area di studio si evince che al di sotto della coltre di suolo vegetale insistono dapprima i depositi quaternari e successivamente un banco di calcareniti marnose afferenti alla Fm. Dei Calcari di Mores, seguiti dalle sabbie grossolane e ghiaiose di natura granitica della Fm. Oppia Nuova, così come evidenziato nello studio stratigrafico precedente e riportato nei log stratigrafici dei sondaggi. Le Ignimbriti stratigraficamente più antiche, vengono solamente intercettate al sondaggio n°7 (interno al sito di Terna già esistente) alla profondità compresa tra 1 e 3.5 m da p.c. ed affiorano nella porzione più orientale della centrale di Terna, poiché essendo dei flussi piroclastici cineritici assimilabili ad un fluido viscoso, tendevano a ricalcare la topografia esistente occupando le aree più depresse.



Limite stratigrafico evidenziato in rosso tra i calcari marnosi e le sabbie sottostanti lungo uno scavo nelle vicinanze dell'area d'indagine

Tali caratteristiche litologiche sono state pressoché confermate dalle prove penetrometriche condotte nell'area ovest dell'attuale sito di progetto le quali riportano per il primo metro un deposito argilloso-limoso e limo sabbioso con ciottoli, seguiti dal banco di marne arenacee sul quale la prova va a rifiuto strumentale (per maggiori dettagli sulle prove penetrometriche consultare il cap. "caratterizzazione geotecnica dei materiali").

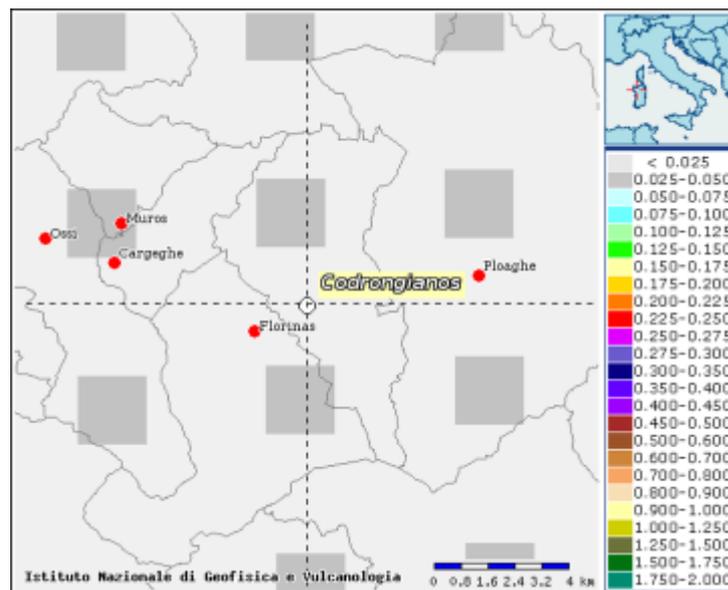
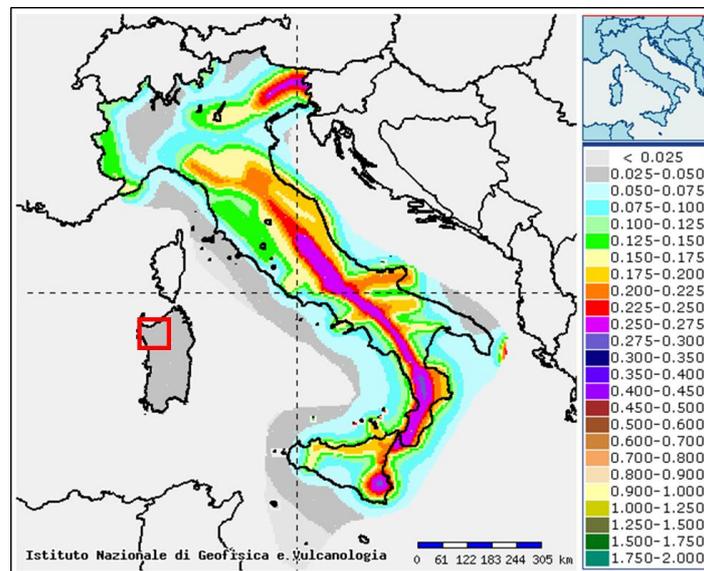
Classificazione sismica del sito

La sismicità della Regione è molto bassa come ben si evince da numerose carte di sismicità locale e da bibliografia, secondo cui l'intero blocco sardo-corso risulta stabile da circa 7 milioni di anni. Il catalogo dei terremoti italiani dell'INGV (ad oggi il database più completo e aggiornato), riporta solo 2 eventi del 1924 e del 1948 nella parte settentrionale con magnitudo inferiore a 5, in assenza di sistemi sismogenetici come accennato sopra. Il comune di Codrongianos (Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03) è classificato dal punto di vista sismico in classe IV con quindi i seguenti parametri edificatori minimi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
4	< 0,05	0,05

La classificazione sismica in zone 1 2 3 4 dopo l'entrata in vigore delle NTC08 ha solo valore amministrativo, vale solo per i controlli sui progetti da parte del GC. L'azione sismica va sempre calcolata tenendo conto della griglia. Per l'identificazione della zona sismica in cui ricade ciascun comune o porzione di esso, occorre fare riferimento alle disposizioni emanate ai sensi dell'art. 83, comma 3, del DPR 6.6.2001, n. 380.

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V., l'area comunale di Codrongianos è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g , riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s (Classe A), compreso tra 0,025 (a_g/g) e 0,05 (a_g/g).



Estratto carta interattiva di pericolosità sismica dell'INGV

Categoria sismica sottosuolo e condizioni topografiche

Categoria sismica sottosuolo

A seguito si riporta quanto indicato nelle NTC del D.M. 17/01/2018 nel capitolo "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" nel punto 3.2.2. per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. Valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

In area limitrofa (posta a Ovest della centrale esistente) in base ai risultati delle indagini sismiche eseguite appositamente (tramite la tecnica MASW e DOWN-HOLE) i terreni in sito appartengono alla **categoria sismica di sottosuolo B**.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

All'area oggetto di studio si può attribuire la **condizione topografica T1**.

Liquefazione terreni

In base alle indicazioni del paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione del DM 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

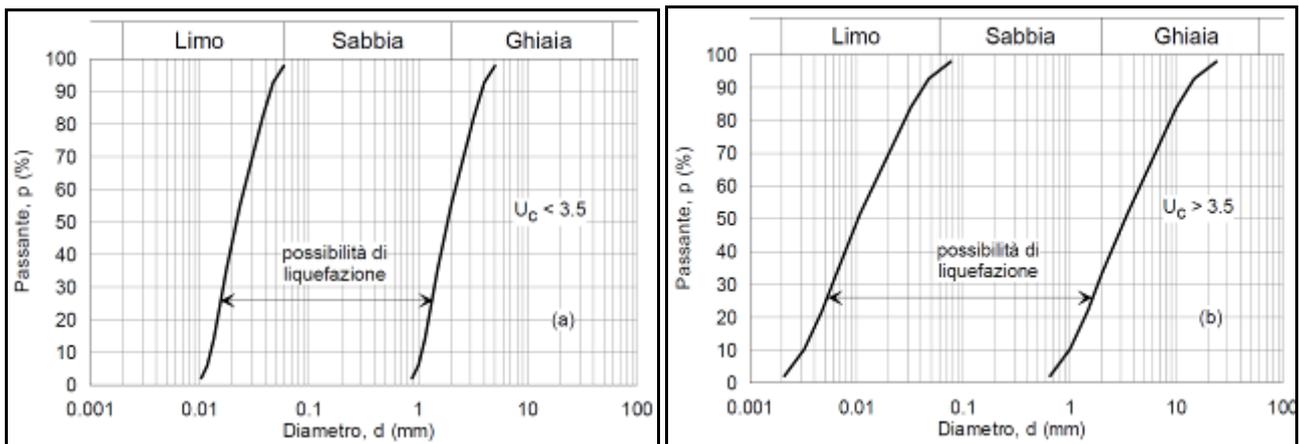


Fig. 7.11.1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti

L'accelerazione sismica a_g per lo stato limite SLV è 0,0599. L'accelerazione massima attesa al piano campagna è data dalla formula:

$$A_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

Con il valore 0,0599 di amplificazione stratigrafica S_s e 1,00 di amplificazione topografica S_t , A_{gmax} attesa = 0,107.

Pertanto la verifica alla liquefazione data la presenza di falda, (probabilmente eccezionalmente al livello registrato) a profondità modeste rispetto al p.c., deve essere verificata.

7. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Pericolosità geomorfologica

L'area in oggetto è prettamente pianeggiante non presentando particolari pericoli geomorfologici.

Pericolosità idrogeologica

Nell'area in studio prevalgono i terreni a medio-bassa permeabilità per via dei litotipi affioranti permeabili prevalentemente per fessurazione, ad esclusione delle diverse formazioni sabbiose permeabili per porosità. In particolare, la circolazione sotterranea è localizzata nelle formazioni calcaree in circuiti sub-superficiali ad alimentazione meteorica e da acque superficiali, nelle formazioni sabbiose come accennato, sede di importanti acquiferi ed infine in modo ridotto nelle vulcaniti basiche dove l'acqua circola lungo le fratture presenti.

Pericolosità idrica

Il reticolo idrografico fa parte del Rio Màscari, che è un affluente del Rio Mannu di Porto Torres e l'impluvio del Rio de Corte, ubicato a est della centrale elettrica, rappresenta uno dei rami più orientali e più alti del bacino idrografico. Dai calcoli idrologici per la stima del rischio nell'area di studio si evince che la sezione idraulica considerata risulta idonea per le portate di piena stimate. Per maggiori dettagli fare riferimento alla "Relazione di compatibilità idraulica" ma si può affermare che il sito risulta caratterizzato da medio-basso rischio idrogeologico in senso lato.

Pericolosità sismica

La sismicità della Regione è molto bassa come ben si evince da numerose carte di sismicità locale e da bibliografia, secondo cui l'intero blocco sardo-corso risulta stabile. Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03 il sito è classificato dal punto di vista sismico in classe IV ovvero a pericolosità sismica molto bassa.

8. CONCLUSIONI

Fattibilità geologica: dal punto di vista geologico l'area può ritenersi stabile non presentando particolari problemi. In base a quanto descritto nella perizia l'area è da considerarsi a medio-basso rischio idrogeologico s.l. (v. par. idrologia).

Analisi sismica: I terreni in sito, viste le condizioni geologiche e sismiche non risultano liquefacibili. I terreni in sito appartengono alla categoria sismica di sottosuolo B e condizione topografica T1.

SITO DI STUDIO:
SANTA TERESA GALLURA, CAVI DI POLO

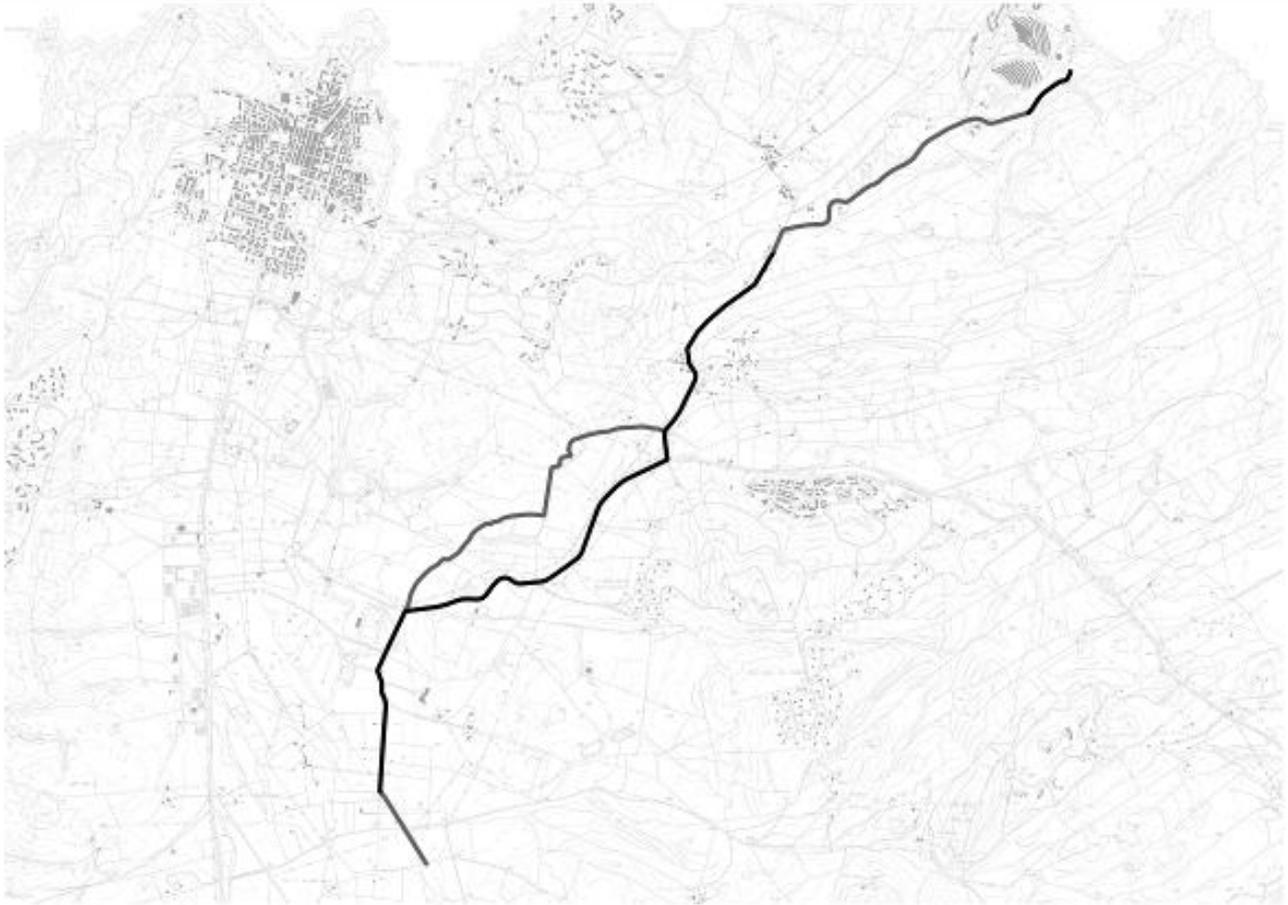
9. UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

Il sito di indagine è posto nella regione Sardegna nel comune di Santa Teresa di Gallura (Sassari) che è posto a Nord-Est dell'isola. Nell'ortofoto riportata a seguito è riportata la posizione a nord dell'isola.



Ubicazione dell'area di studio posto a nord della Sardegna (Ortofoto, Google.com)

L'opera in oggetto è costituita dal tracciato di due cavi di polo del collegamento e dalla realizzazione di un nuovo edificio di transizione aereo-cavo che sostituirà l'esistente presente in località Capo Testa. Il tracciato dei cavi di polo si svilupperà dall'approdo sito in località La Marmorata per giungere in un sito a sud di Santa Teresa di Gallura, in località Buoncammino, nel quale in adiacenza alla linea aerea esistente verrà realizzato il nuovo edificio di transizione. La lunghezza totale del tracciato dei due cavi di polo è di circa 6 km, come indicato nella carta tecnica sotto riportata in cui è evidenziato il tracciato.



Estratto CTR, immagine in scala 1:30.000.

Le opere principali per il sito in questione sono:

- 1) buca giunti terra-mare; da realizzarsi all'approdo de La Marmorata, fondamentalmente si tratta di una trincea lunga circa 20 m larga 2 m profonda circa 2 m;
- 2) Due trincee da eseguirsi dall'approdo al punto di transizione aereo-cavo, genericamente profonde circa 1,5 m;
- 3) Punto di transizione aereo-cavo, ovvero l'opera più impegnativa che si compone di un edificio fuori terra nel quale verranno collocate le apparecchiature elettriche (terminali cavo e sezionatori) necessari per il collegamento della linea in cavo alla linea aerea.

10. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

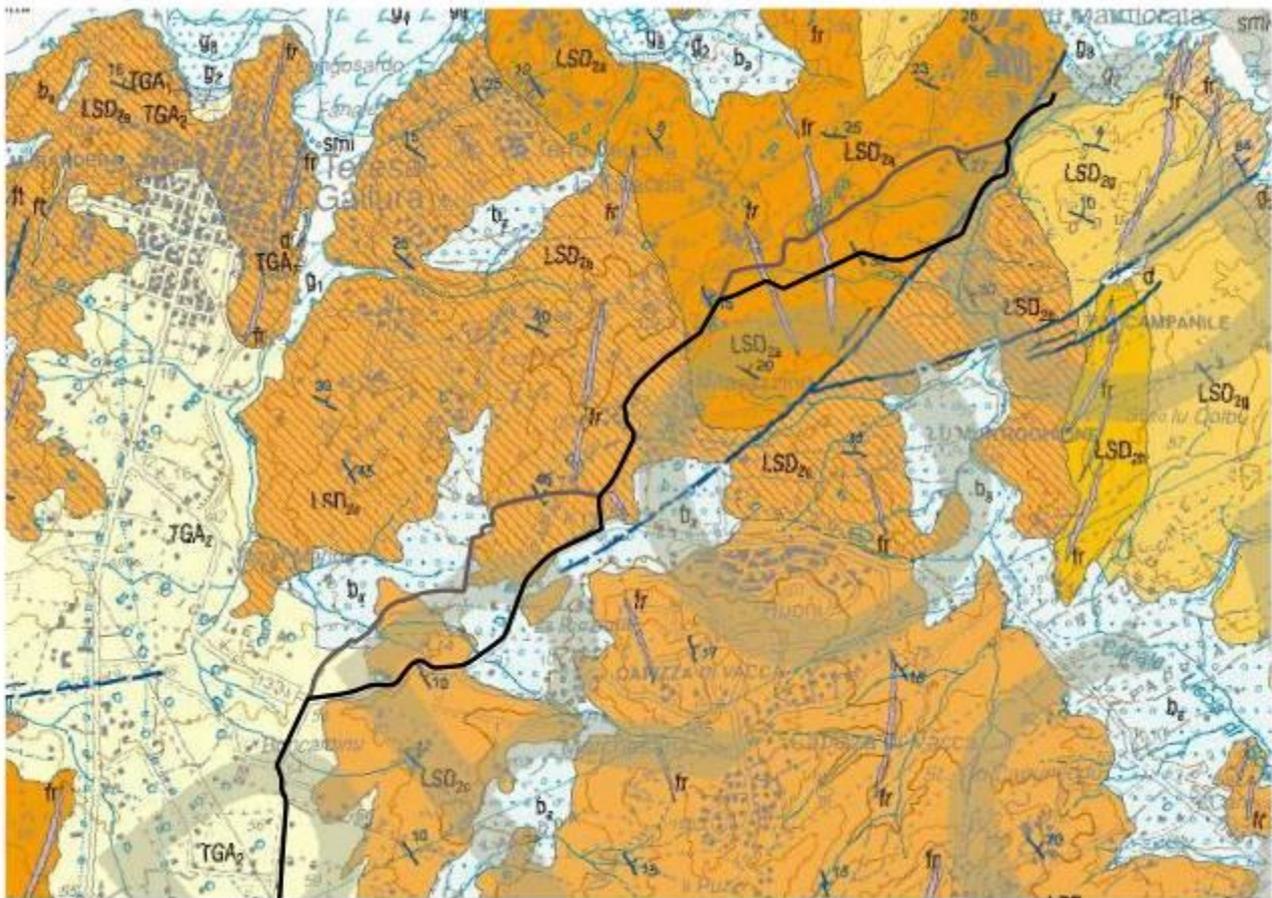
La Sardegna insieme alla Corsica, rappresenta un vero e proprio micro-continente situato tra due profondi bacini marini, il Mar Tirreno ad est ed il bacino algero-provenzale ad ovest, in larga parte costituiti da crosta oceanica. Il blocco sardo-corso, come noto, durante l'Oligocene-Miocene subì una roto-traslazione antioraria che lo ha portato nella posizione attuale per cui la Sardegna è un frammento di continente europeo geologicamente molto diversa dal resto d'Italia. La Regione inoltre è quella con le rocce fossilifere più antiche della Nazione in cui è possibile trovare rocce del Cambriano (il periodo più antico dell'era paleozoica). Tali formazioni rocciose di età circa 300 milioni di anni, sono situate dalla Gallura a nord, fino a Capo Carbonara a sud sia di natura magmatica che metamorfiche ed appartengono al così detto basamento cristallino, ovvero una porzione dell'antica catena ercinica che, alla fine del Carbonifero, interessò vaste zone dell'Europa.

Diffusa, nell'area d'indagine è l'Unità intrusiva di Longosardo, suddivisa a sua volta in due sub-unità di cui quella estesamente diffusa nella zona d'interesse, la sub-unità di Monte La Colba. Quest'ultima presenta un insieme di rocce di composizione essenzialmente granodioritica-monzogranitica suddivise in 8 lito-facies che si differenziano per caratteri tessiturali di età compresa tra il Carbonifero ed il Permiano ovvero circa 300Ma.

La facies denominata *La Ficaccia* (LSD2a in carta), affiora vistosamente ed è caratterizzata dalla tipica granodiorite-monzogranitica orientata a NE di 25-30°.

La facies di *Monte Martino* (LSD2c in carta) affiora lungo la dorsale che va dal Monte Colba verso Nord fino a Ruoni e caratterizzata da monzograniti a grana medio-grossa e struttura porfirica con fenocristalli di k-feldspato, plagioclasti e quarzo. Elemento distintivo di tale facies è la presenza di abbondante ortoclasio eudrale e di biotite. Infine la facies di *Monte Bandera*, affiorante nella porzione centrale del tracciato, è costituito da monzograniti inequigranulare con grana media e tessitura porfirica.

Non mancano inoltre depositi pleistocenici afferenti al sintema di Santa Teresa di Gallura, caratterizzato da depositi alluvionali, eolici e colluviali. Si presentano come terreni sabbiosi intercalati a lenti limo-argillose talora ghiaiose.

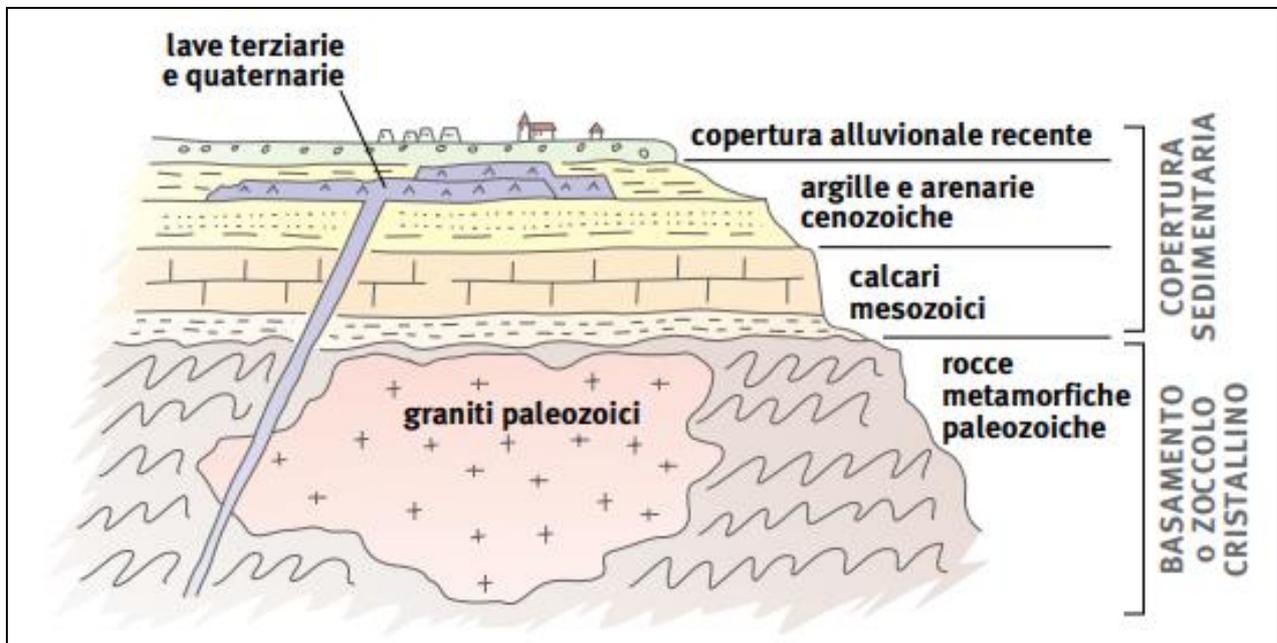


	LSD _{2a}	Granodioriti monzogranitiche. <i>Facies La Ficaccia</i> . Granodioriti monzogranitiche inecugranulari per fenocristalli di K-feldspato di taglia compresa tra 1 e 2 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. U-Pb: 307±5 Ma. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
	LSD _{2b}	Monzograniti. <i>Facies Monte Bandera</i> . Monzograniti a grana media inequigranulari per fenocristalli subedrali di K-feldspato di taglia compresa fra 0,5 e 1 cm; tessitura moderatamente orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
	LSD _{2c}	Monzograniti. <i>Facies Capo Testa</i> . Monzograniti a grana medio-grossa inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato di taglia compresa tra 1 e 4 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
	LSD _{2d}	Monzograniti. <i>Facies Monte Martino</i> . Monzograniti a grana medio-grossa inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato di taglia compresa tra 1 e 3 cm; abbondanti inclusi femici microgranulari; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
SISTEMA DI S. TERESA DI GALLURA		
	TGA ₂	Subsistema di Cannigione Ghiale e sabbie alluvionali, limi e argille lacustri localmente associati a sabbie eoliche, detriti rimaneggiati, colluvi e paleosuoli (TGA ₂).
	TGA ₁	Subsistema di Longone ("Panchina tirreniana" <i>Auct.</i>) Ghiale da medie a grossolane e blocchi arrotondati, di ambiente marino costiero (TGA ₁). PLEISTOCENE SUP.

Stralcio carta geologica ufficiale del CARG in scala 1:50.000



Affioramento di granitoidi nel comune di S. Teresa di Gallura a sinistra e foto di monzogranito di Monte Bandera estrapolato dalle Note illustrative del CARG foglio 411 a destra



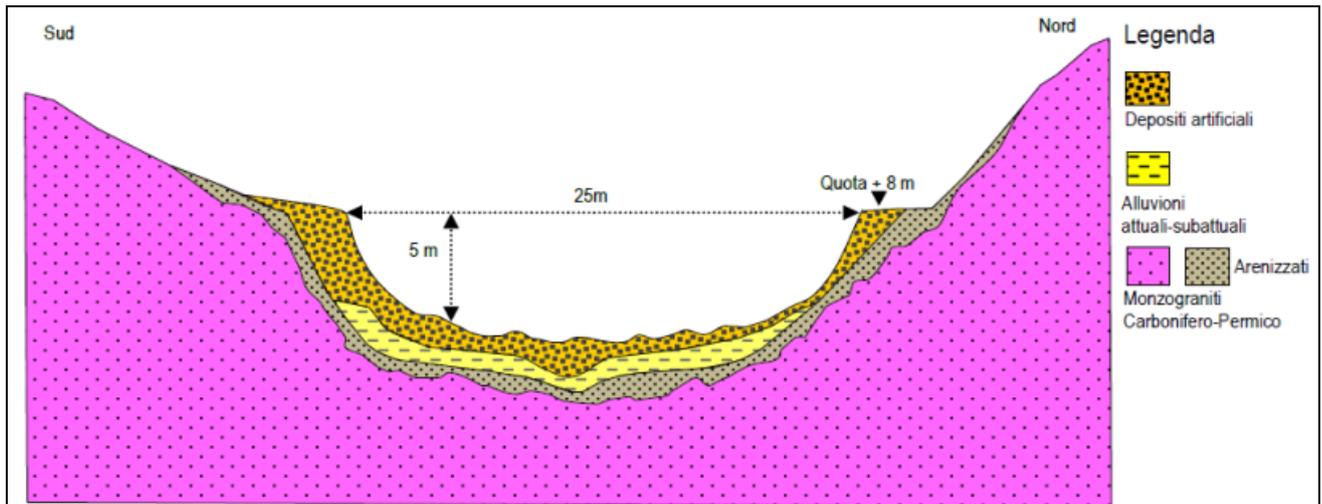
Schematizzazione dei rapporti stratigrafici precedenti l'erosione ed il successivo affioramento del basamento cristallino

La successione sedimentaria, in gran parte erosa è caratterizzata dalla presenza di sequenze deposizionali delimitate da discordanze riconoscibili e seguibili alla scala bacinale. I primi sono depositi continentali (fluviali e di piana alluvionale), deltizi e marini di piattaforma. I depositi fluviali sono rappresentati da conglomerati canalizzati, amalgamati con strutture tipo cut-and-fill. I clasti sono costituiti principalmente da litotipi provenienti dal basamento ercinico con matrice costituita da una sabbia medio-grossolana. L'ambiente deposizionale è fluviale di tipo braided. I depositi di piana alluvionale sono costituiti da sabbie medio-fini ed argille-sabbiose giallastre spesso pedogenizzate nelle quali s'intercalano sabbie grossolane e conglomerati fini. Questi ultimi due litotipi sono costituiti da grani di quarzo, monzogranito e metamorfiti erciniche. Raramente si osservano anche biotiti clastiche. Le sabbie grossolane sono sia lentiformi (canali) che tabulari (sheet flood).

I depositi marini di piattaforma sono costituiti da calcari e marne. I primi sono calcari di aspetto nodulare (Ca), calcareniti e calciruditi (C) a grani di quarzo e monzogranito e cemento carbonatici. Diffusi sono i frammenti di fossili di anellidi, bivalvi (Chlamys, Cardium, Ostrea, Venus), gasteropodi (Turritella), echinoidi, rodoliti, macroforaminiferi (Amphistegina e Heterostegina) e tracce fossili dell'icnofacies a Skolithos. I carbonati sono organizzati in strati di 5-10 cm e oggi affiorano per lo più nella zona di Porto Torres.

	Sabbie quarzose di spiaggia attuale. [4] Depositi di versante e Alluvioni tardo oloceniche [3] (2-3m)	Olocene-attuale
	Arenarie quarzoso-feldspatiche* cementate a stratificazioni incrociate, lapidee (3-5 m). [2b]	Quaternario (Pleistocene sup.)
	Sabbie fini siltose, livelli ghiaiosi, a matrice carbonatica con strati discontinui di argille marnose. Giaciture in banchi, compatte all'interno ed allentate e disgregabili in superficie (5-8 m).	Quaternario (Pleistocene sup.)
	Conglomerati continentali poligenici, prevalentemente a ciottoli di granitoidi a matrice sabbiosa e siltosa (0,5-1,5 m), discontinui.	Quaternario (Pleistocene sup.)
	Substrato a Granitoidi indifferenziati (Monzograniti, \Upsilon) Differenziati per alterazione (γA_I Arenizzati) o fratturazione (γA_{II} Fratturati) (\gamma B) Prodotti integri e/o differenziazioni filoniane (profondità indefinita)	Carbonifero-Permico

Litostratigrafia tipica delle zone investigate; tratto da relazione geologica dell'adeguamento urbanistico comunale

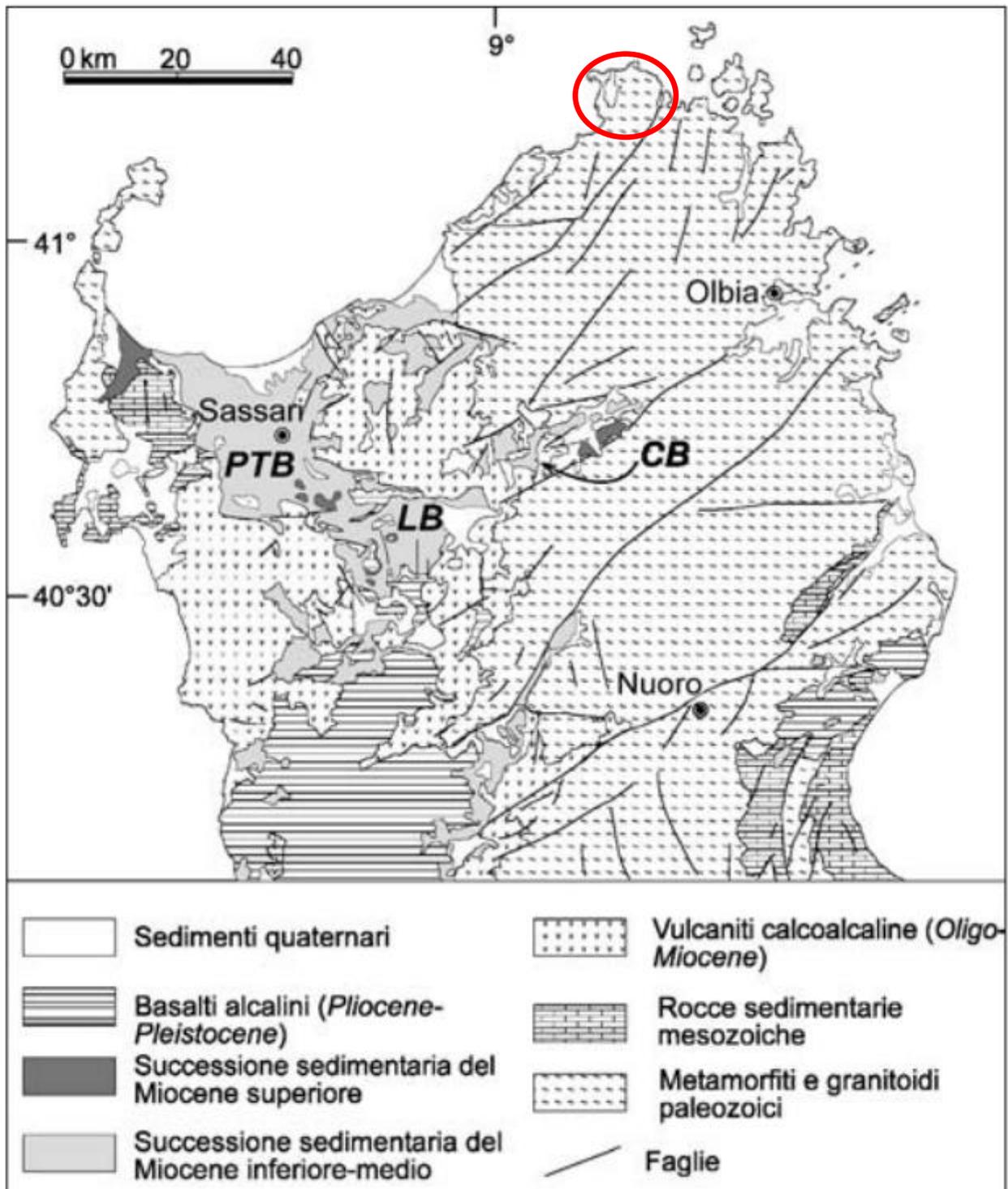


Sezione geologica della valle del Rio di "la Filetta"

La Sardegna settentrionale nel Miocene è caratterizzata dall'alternarsi di numerosi cicli trasgressivo-regressivi. Durante il Burdigaliano superiore-Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione dove, in successione verticale, ai depositi continentali, principalmente costituiti da sabbie (STAGE I), seguono i depositi marini di piattaforma prossimale (calcarei algali) e distale (marne) (STAGE II). La caduta del livello del mare del Langhiano superiore e/o Serravalliano inferiore è responsabile della profonda erosione dei depositi sopra citati. In questa fase si sviluppano profonde (100 m) valli incise. Nel conseguente periodo di risalita del livello del mare in cui lungo il margine del bacino si sviluppano sistemi deltizi di tipo Gilbert mentre al limite della piattaforma (Florinas) si depositano le sabbie quarzoso-feldspatiche che riempiono le valli precedentemente formatisi (Low Stand Wedge) (STAGE III). La nuova trasgressione consente lo sviluppo, durante il Serravalliano, inferiore, di una vasta piattaforma carbonatica (STAGE IV). Le condizioni di High Stand vengono raggiunte nel Tortoniano e, anche se con continue variazioni relative del livello del mare, permangono fino al Messiniano inferiore. Durante l'HS si depositano le para-sequenze silico-carbonatico (STAGE V) ed i calcari algali (STAGE VI). Non vi sono tracce di depositi evaporitici riferiti alla crisi di salinità del Mediterraneo del Messiniano. E' quindi da supporre che la caduta del livello del mare nella Sardegna sia precedente a questo evento. La nuova caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerose valli incise, la più importante di queste è il Canyon di Castel Sardo a NE del Bacino del Logudoro.

Tra l'Oligocene superiore ed il Messiniano la Sardegna settentrionale è stata sede di un'importante tettonica e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini, in parte coalescenti, ma che si differenziano per essere legati a due differenti orientazioni strutturali e con due differenti, e successive, evoluzioni tettonico-sedimentarie. Questi bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come Fossa sarda ("Rift Sardo" in: CASULA et al. 2001; CHERCHI & MONTADERT, 1982), e interpretata come un

lineamento tettonico orientato N-S che attraversa tutta l'isola, legato ad una estensione crostale orientata E-W (CHERCHI & TREMOLIERES, 1984) avvenuta durante la rotazione del Blocco sardo-corso all' Oligocene superiore.



Schema geologico della Sardegna settentrionale, estratto dalle note illustrative del Foglio 411; cerchiato in rosso l'area d'indagine

Secondo un'interpretazione più recente (CARMIGNANI et al. 2001, cum bibl.) i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: una con fosse orientate prevalentemente N60° (bacini di Chilivani-Berchidda (CB), Anglona, Ottana, di seguito definiti: Bacini transtensivi aquitaniani) di età Oligocene superiore-Aquitaniense, ed una con fosse orientate NNW (bacini del Logudoro (LB) e di Porto Torres (PT), di seguito definiti: Bacini burdigaliani) di età Burdigaliano-Tortoniano.

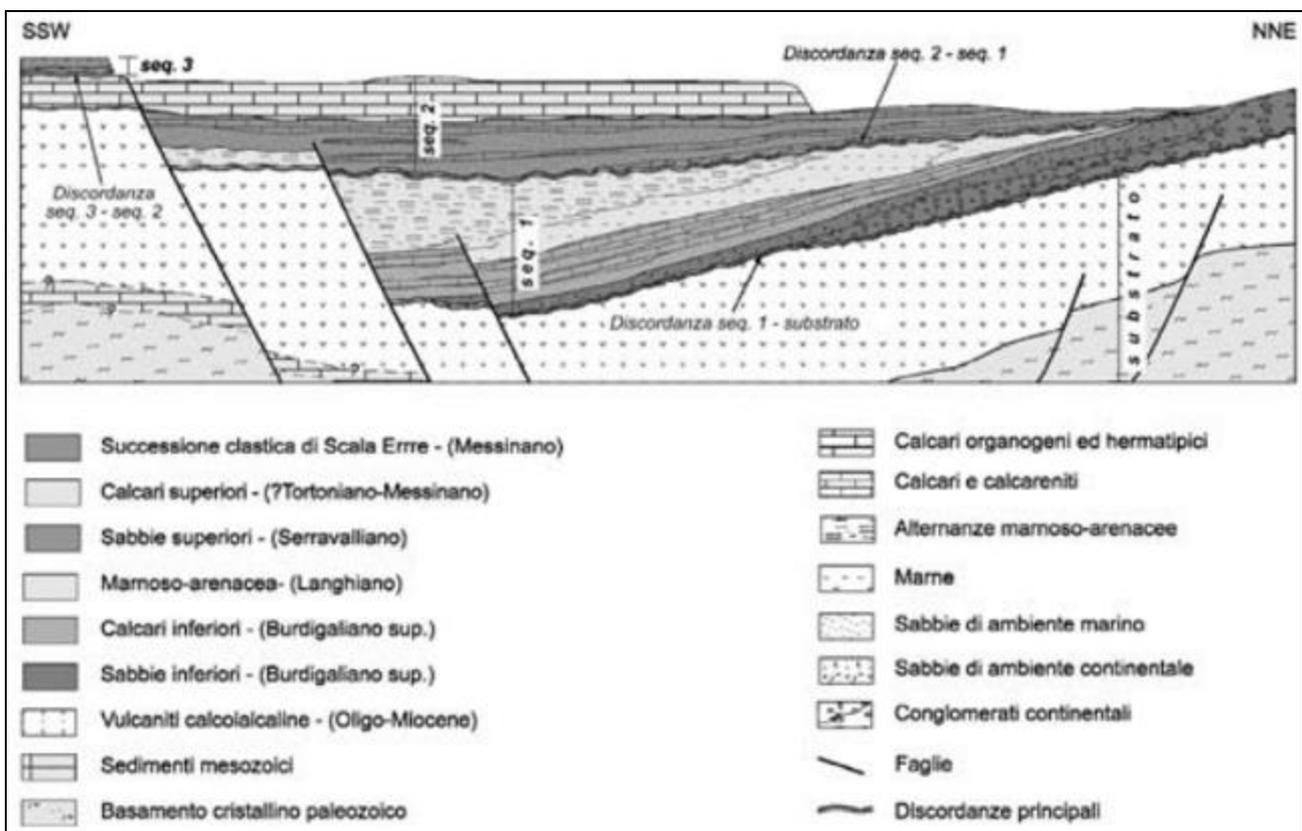
Le successioni stratigrafiche appartenenti ai bacini suddetti sono definite rispettivamente come sin-rift la successione oligo-aquitaniense e post-rift quella burdigaliano-tortoniana.

I Bacini transtensivi aquitaniani, occupano principalmente la parte più orientale dell'isola, dove trasgrediscono sul basamento ercinico caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. Sono impostati in genere in prossimità di "releasing bend" lungo faglie trascorrenti sinistre orientate circa N60°, hanno una caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali ed una successione sedimentaria con sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri, con intercalati prodotti vulcanici e vulcanoclastici, alternati a depositi alluvionali e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Talvolta, la successione tipicamente continentale evolve a marina (ad es. bacino di Castelsardo e dell'Anglona).

Le faglie trascorrenti sinistre di cui sopra sono considerate come il prodotto della collisione che ha originato la catena nord-appenninica (CARMIGNANI et al. 1994); sono quindi legate ad un quadro geodinamico compressivo, compatibile con un campo di stress regionale come proposto da PASCI (1997) che in Sardegna settentrionale ha una direzione del s1 circa N-S e che, solo in corrispondenza di releasing band, genera estensioni N-S (OGGIANO et al. 1995). In alternativa tale estensione N-S, riconosciuta anche da FACENNA et.al (2002) riguarderebbe tutto il Blocco Corso Sardo e potrebbe rappresentare un'estensione orogenica-parallela, analoga a quella riscontrata in altri contesti geodinamici del Pacifico occidentale.

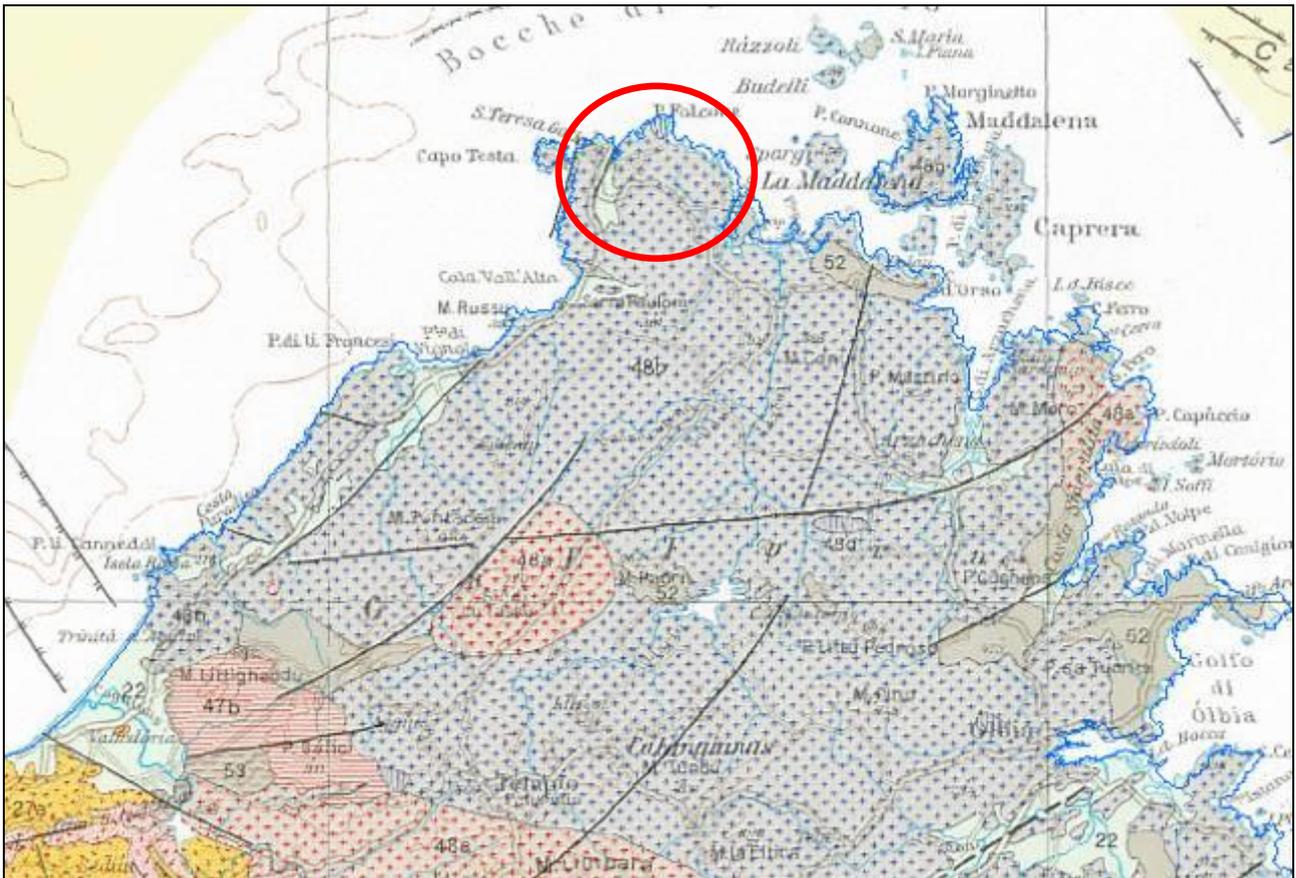
I Bacini burdigaliani sono più recenti, hanno direzione circa NNW ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a nord fino all'altopiano di Campeda a sud. Strutturalmente si configurano come semi-graben con faglie principali su bordi opposti, connessi da zone di taglio prevalentemente trascorrenti ad orientamento EW che trasferiscono la deformazione estensionale da un fianco all'altro dei bacini. Questi bacini intersecano chiaramente quelli transtensivi orientati N60° interrompendone sia la continuità di affioramento della successione stratigrafica sia le faglie trascorrenti che li strutturano. Nella successione stratigrafica è possibile distinguere tre sequenze deposizionali (in figura sottostante), una (Sequenza 1) che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano ed una (Sequenza 2) che va dal Serravalliano al Messiniano, ambedue caratterizzate da un passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi

carbonatici francamente marini di piattaforma. Infine, una terza (Sequenza 3), riferita al Messiniano superiore, di cui rimane testimonianza nella zona a ovest dell'abitato di Porto Torres, presso gli impianti industriali di Fiume santo (Scala Erre), caratterizzata da sedimenti clastici grossolani di ambiente fluviale (Fig. 1, 2). Il campo di stress agente durante la formazione dei bacini NNW è supposto con un'estensione circa E-W legata alla rotazione del blocco sardo-corso al Burdigaliano superiore-langhiano e contemporanea con l'apertura del bacino balearico (VIGLIOTTI & LANGENHEIM, 1995). Questa tettonica estensionale è correlabile con l'estensione post-orogena successiva alla collisione tra la placca sud-europea di cui faceva parte il blocco sardo-corso, e l'Adria.



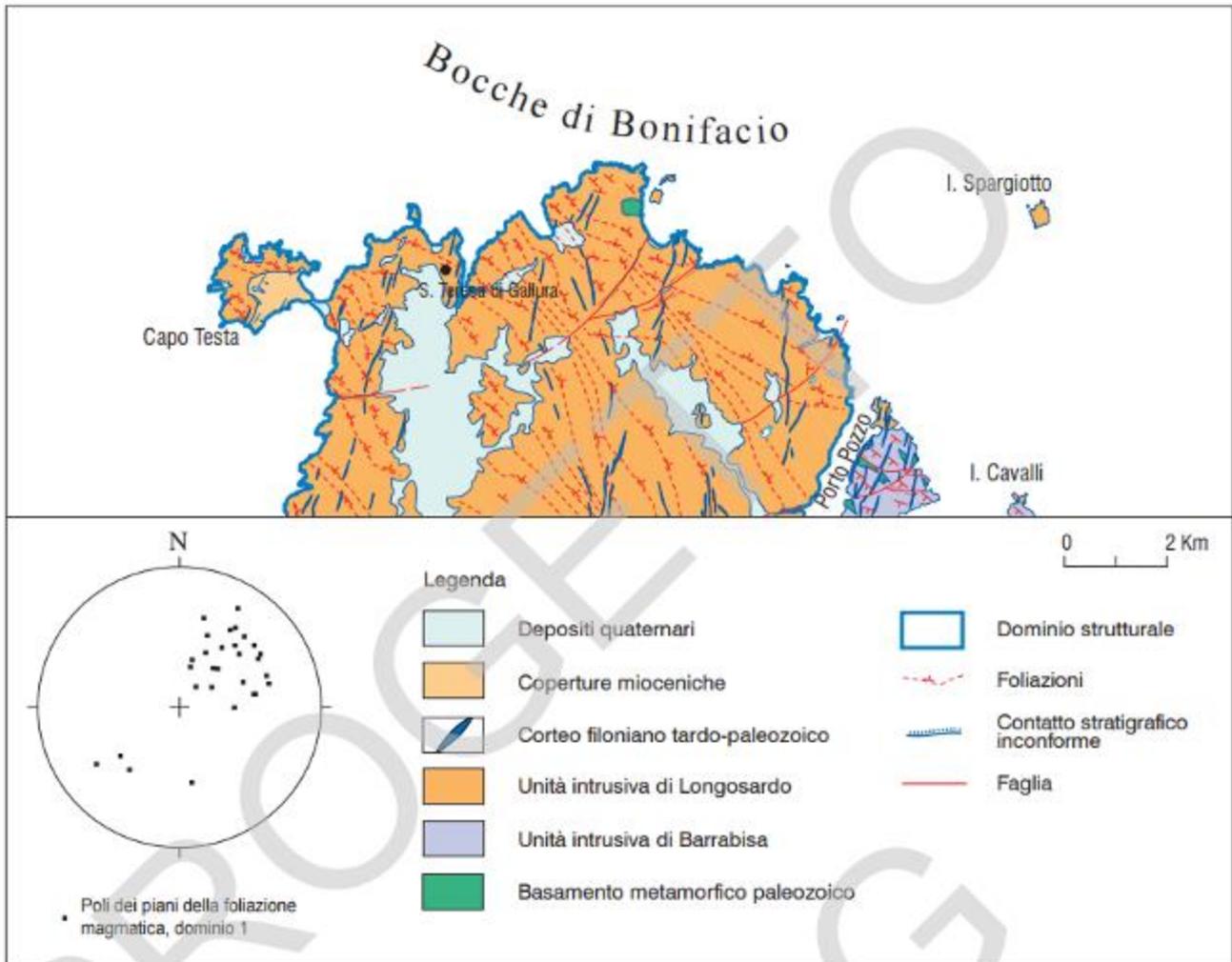
Sezione geologica supposta dei bacini miocenici della Sardegna Settentrionale

Dall'analisi della carta geologico strutturale della Sardegna, emerge che l'area interessata dal presente studio risulta stabile in assenza di elementi strutturali sismogenetici, come da cartografia sotto riportata.



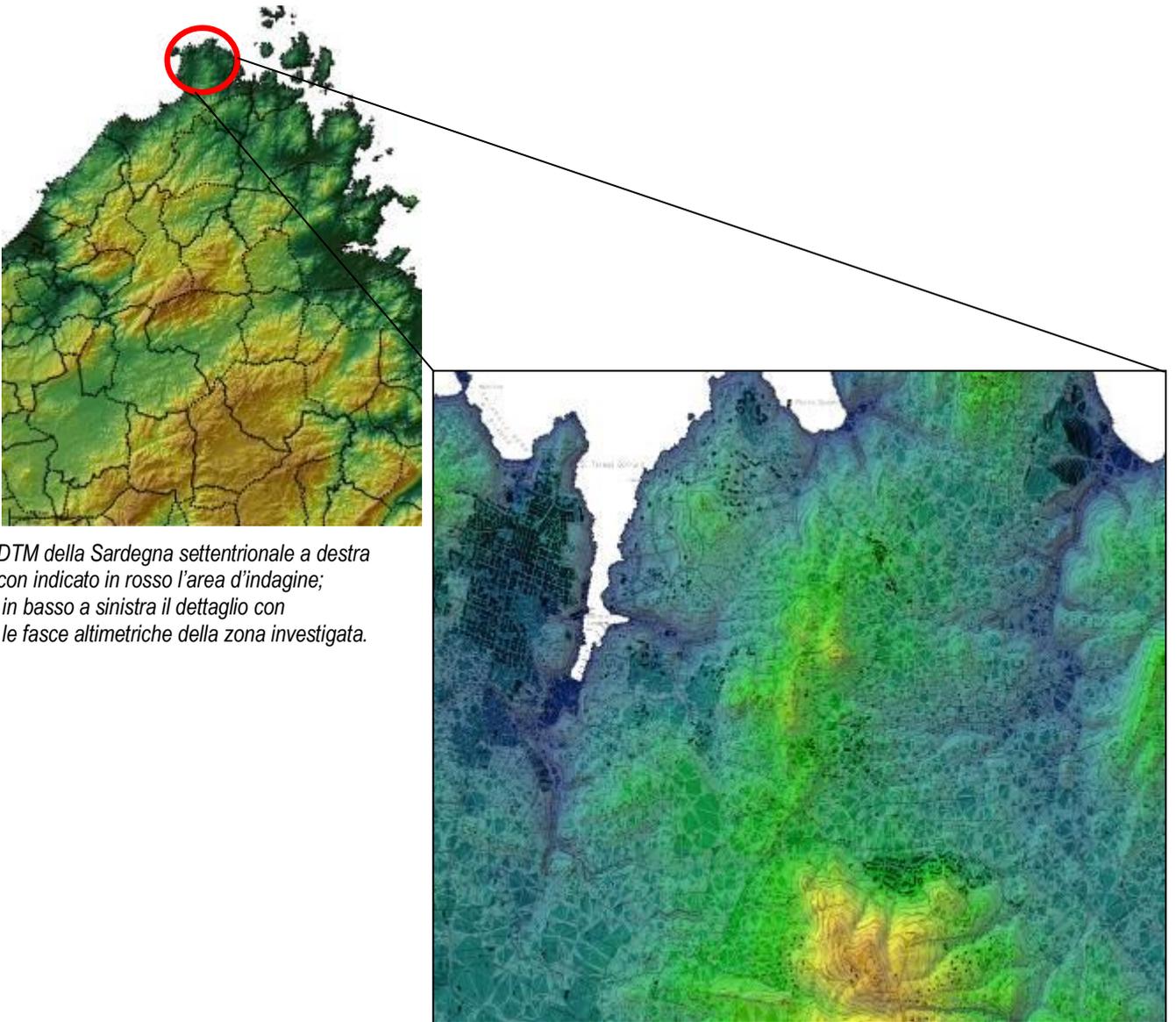
Stralcio carta geo-strutturale della Sardegna settentrionale; in nero i principali lineamenti tettonici. Cerchiato in rosso il sito esaminato

Il contesto geodinamico del Batolite Sardo-corso, che ha portato alla formazione della catena ercinica sarda, risulta complesso. Il carattere di magmatic flow in cui si sviluppano queste strutture è testimoniato dall'assenza di deformazione interna dei minerali e da microstrutture e le grandi fluidità planari, evidenti nelle facies affioranti, immergono prevalentemente verso N-NE con inclinazioni comprese tra i 30° e 50°.

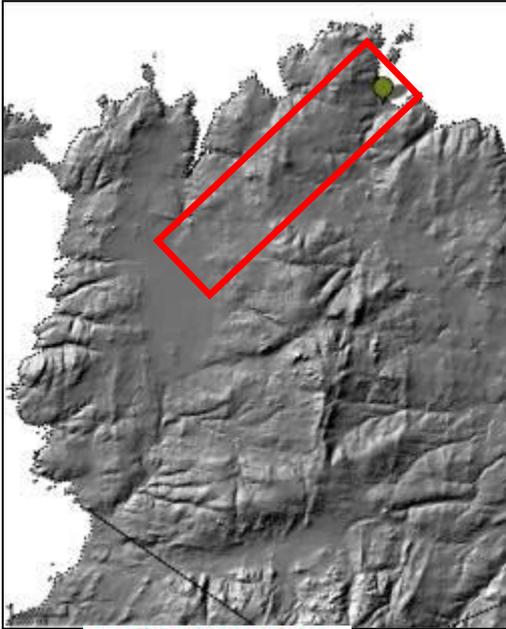


Stralcio carta schematica delle foliazioni magmatiche dell'unità intrusiva di Longosardo

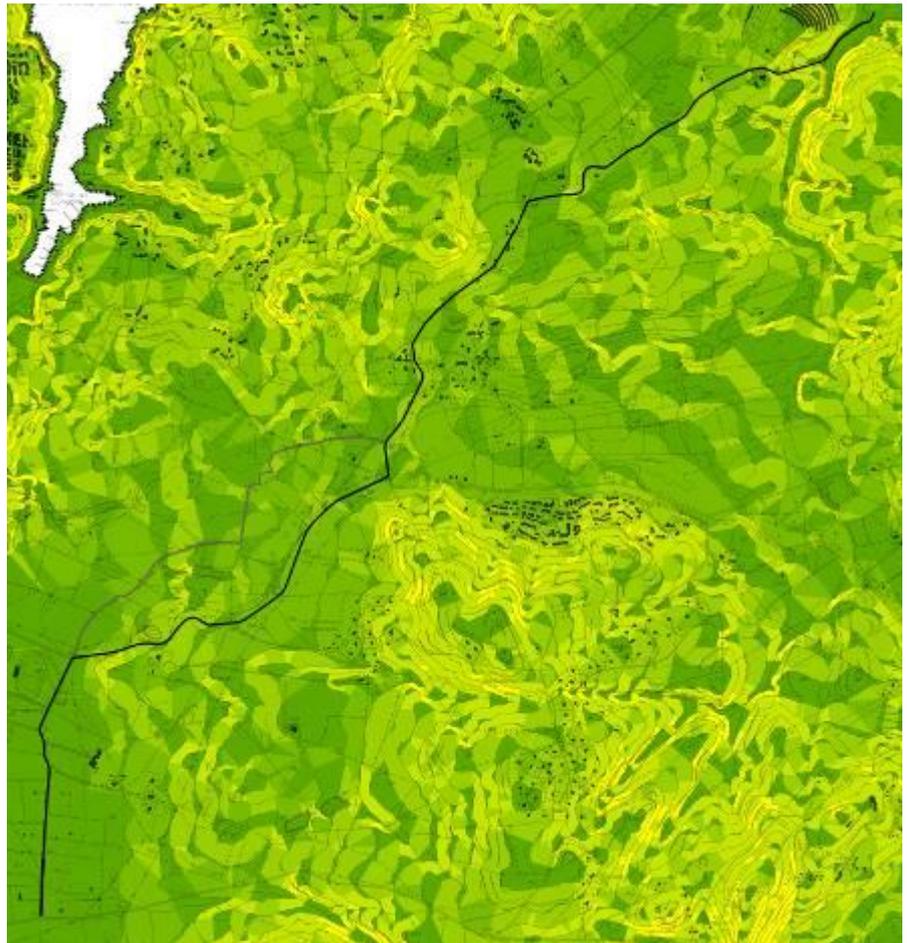
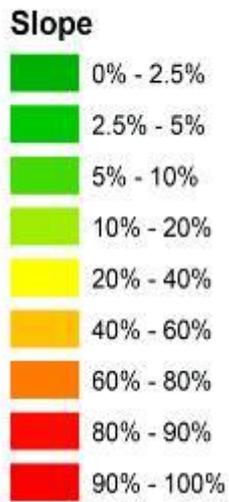
L'aspetto geomorfologico della Sardegna si differenzia dal resto d'Italia, dovuto alla configurazione orografica ed idrografica; i rilievi infatti non formano vere e proprie catene montuose. I principali corrono sul lato orientale dell'isola e culminano a 1834m sul M. Gennargentu e rappresentano l'affioramento locale più esteso del basamento cristallino sardo-corso in gran parte granitico con conservati alcuni lembi della più recente parte sedimentaria di copertura. Quasi tutte le montagne granitiche della Sardegna hanno conformazione uniforme e massiccia, con aree sommitali generalmente arrotondate ed in parte spianate che si estendono in prevalenza fra 900 e 1200 d'altezza. Il tracciato di circa 6km ricade tra 0 e 100 m circa di altitudine con valori di pendenze relative riportate nella cartografia successiva.



DTM della Sardegna settentrionale a destra con indicato in rosso l'area d'indagine; in basso a sinistra il dettaglio con le fasce altimetriche della zona investigata.



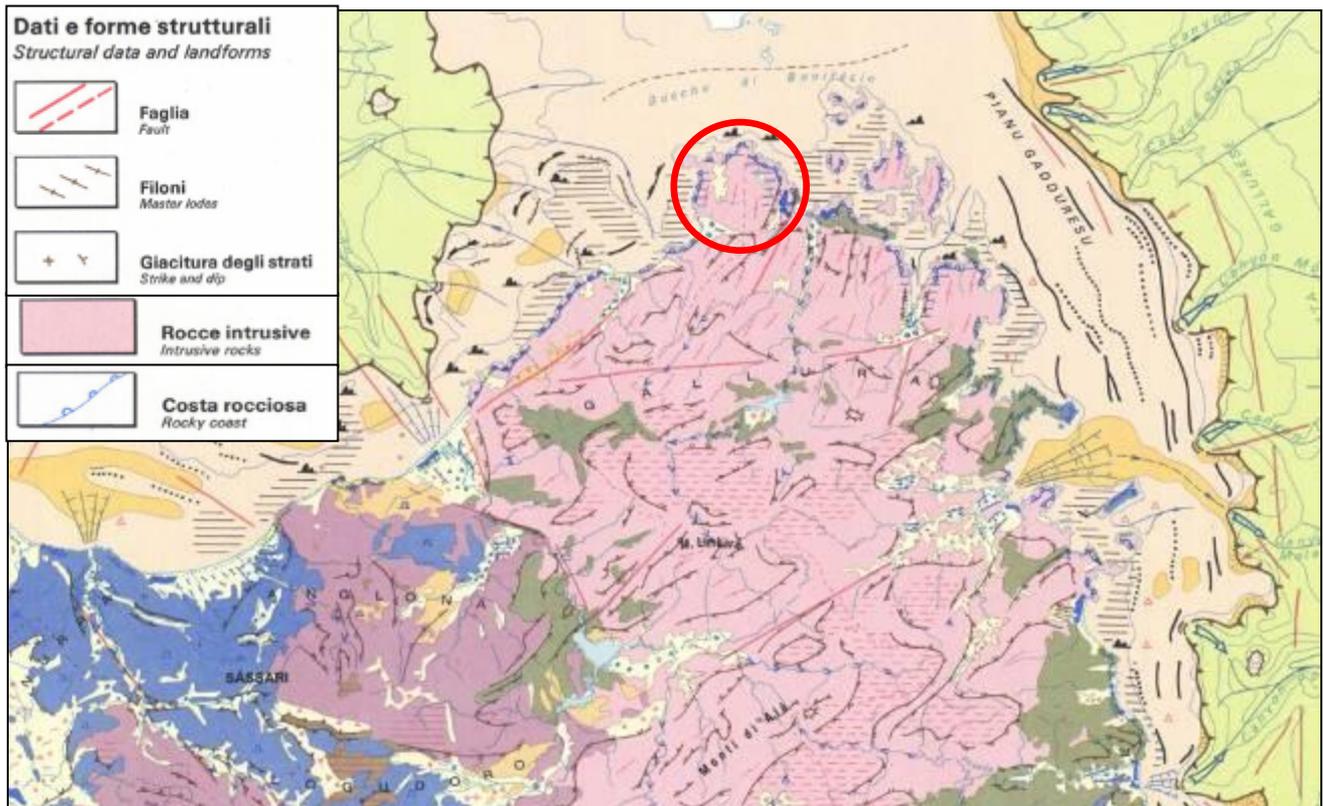
LA CLIVOMETRIA



Hillshade del DTM della Regione Sardegna a destra con indicato in rosso l'area di indagine; in basso a sinistra la carta delle acclività con ipotesi di tracciato.

Dal punto di vista morfotettonico, la Regione viene considerata un mosaico di frammenti sconnessi di un antico massiccio rigido per cui la storia evolutiva si presenta complessa.

Lo schema idrografico sardo appare anch'esso assai complicato e subordinato ai vari cicli di erosione sub-aerea e sub-acqua. I tracciati attuali dei corsi d'acqua sono in prevalenza di origine tettonica recente, cioè non sono stati i fiumi a creare le valli ma piuttosto le acque si sarebbero incanalate nelle depressioni presenti, salvo la successiva opera di erosione di tali corsi d'acqua alla quale va attribuito il modellamento delle valli esistenti.



Stralcio carta geomorfologica a piccola scala; cerchiato in rosso il sito esaminato

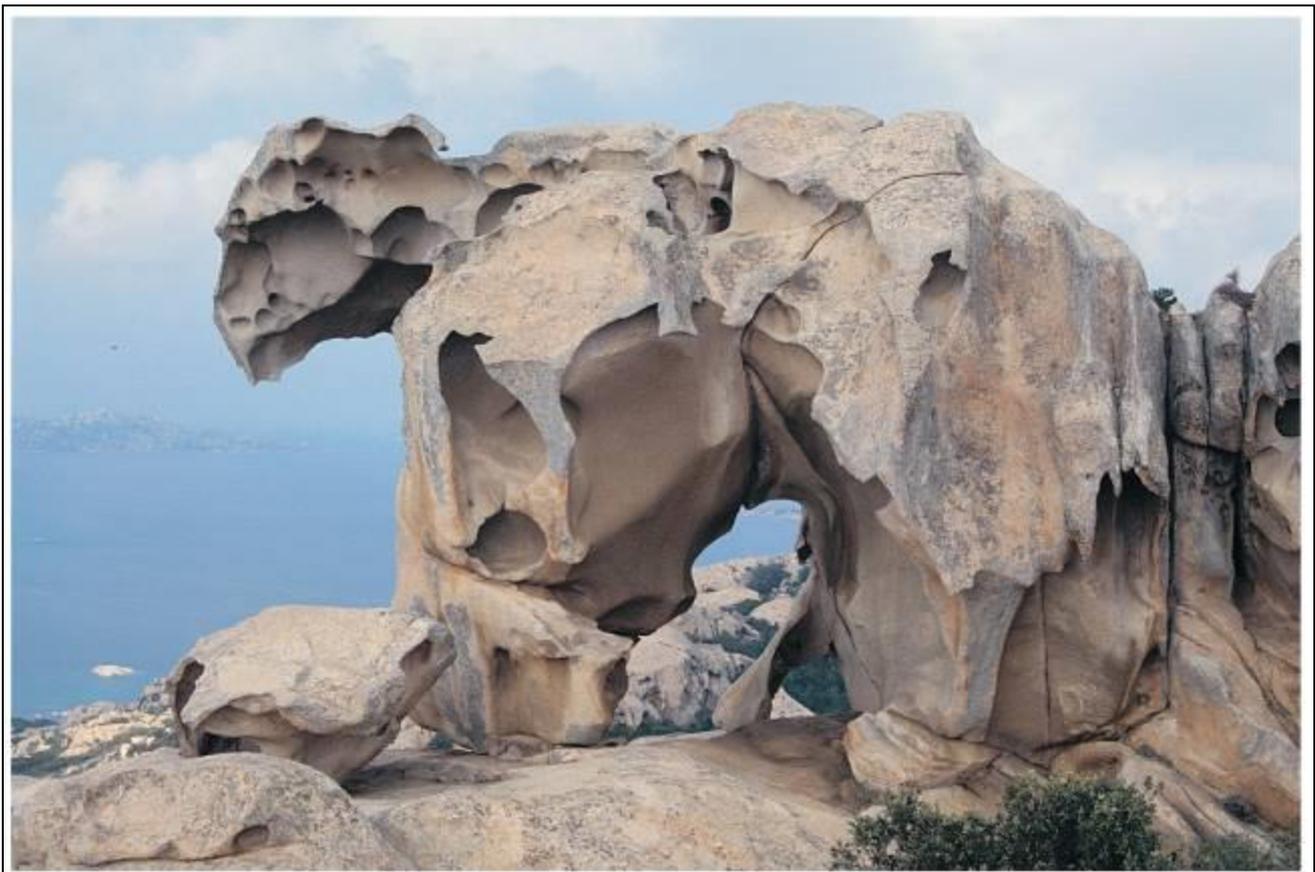
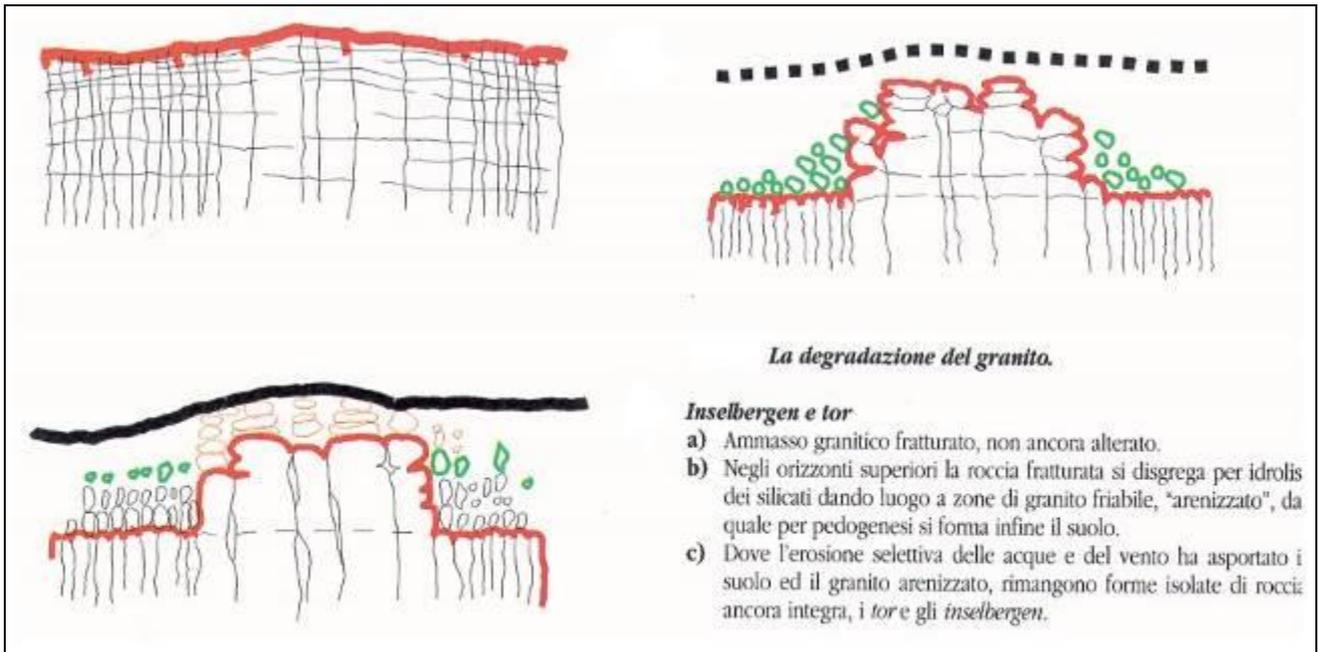
Il paesaggio interessato dal tracciato si presenta essenzialmente pianeggiante e poco ondulato in cui come già accennato il litotipo dominante è il granito sul quale gli agenti esogeni a partire dall'azione erosiva del vento, giocano un ruolo fondamentale nella costruzione delle classiche forme di alterazione di queste rocce. Risultano estremamente diffusi i processi di alterazione sub-aerea connesse all'arenizzazione dei graniti ed alla successiva erosione differenziata dei blocchi ad opera dei corsi d'acqua. Tipiche forme ed esemplari didattici sono gli inselberg o strutture domiformi, ovvero strutture a forma di cupola che si erge bruscamente dal contesto circostante ed i monoliti tor variamente scolpiti e diffusi nell'area d'interesse. La degradazione meteorica del granito, con sviluppo di superfici sferoidali interrotte dai tafoni, si è molto probabilmente impostata su blocchi strutturalmente definiti già nel Miocene (o nel Pliocene - Pleistocene) in condizioni di clima subtropicale o tropicale umido.

Il processo di degradazione meteorica principale è l'idrolisi per il quale i silicati, componenti essenziali del granito, ed in particolare i feldspati (feldspato potassico e plagioclasio sodico-calcico) e i minerali ferromagnesiaci (biotite e anfiboli), aggrediti dalle acque di precipitazione leggermente acidule per la presenza dell'anidride carbonica dell'atmosfera, si decompongono, con desquamazione ed esfoliazione sferoidale di superfici compatte, il che può comportare, per erosione selettiva, l'approfondimento e l'allargamento delle discontinuità, costituite da lesioni e fratture di origine meccanica della roccia, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche. Il processo dell'idrolisi dei silicati è massimo in condizioni di clima caldo-umido.

La deflazione eolica ed eventualmente l'abrasione marina possono nel tempo rimuovere le parti rocciose distaccate, determinando nel blocco ancora inalterato la formazione di cavità tipiche, note come tafoni. Spesso i tafoni sono stati ulteriormente ingranditi per corrosione, l'azione di smeriglio determinata dal turbinio dei frammenti nelle depressioni cieche della roccia ad opera del vento. La formazione dei tafoni procede come una carie, principalmente dal basso verso l'alto, fino a causare il distacco ed il crollo anche di blocchi integri di roccia, per eccessivo assottigliamento delle loro parti di sostegno ed intercettazione di superfici di lesione.

I processi combinati dell'idrolisi e dell'erosione selettiva possono col tempo determinare l'esposizione di un ammasso di roccia isolato, il tor, testimone dell'antica struttura, scomposto da giunti in diversi blocchi di forma e dimensioni diverse.

Il termine tedesco di Inselberg (montagna isolata) è generalmente usato per descrivere un rilievo compatto con fianchi abrupti, che si eleva bruscamente su un piano. È caratteristico di paesaggi tropicali, particolarmente delle savane, e si compone generalmente di rocce granitiche. Si ritiene che la forma derivi dal processo di ritiro parallelo dei versanti orlati dal pedemonte, sul quale si raccolgono per gravità i detriti prodotti dalla disgregazione per idrolisi ed esfoliazione delle parti alterate. In condizioni di clima caldo-umido bordi taglienti e guglie di rocce granulari vengono presto arrotondati a causa dell'attacco chimico da parte delle acque meteoriche e per le variazioni di temperatura che possono riguardare parti più profonde. Lo smantellamento superficiale finisce col mettere a nudo una struttura sottostante più compatta e resistente, una specie di esumazione di una struttura sepolta.



Esempio di degradazione dei graniti; l'orso di Palau



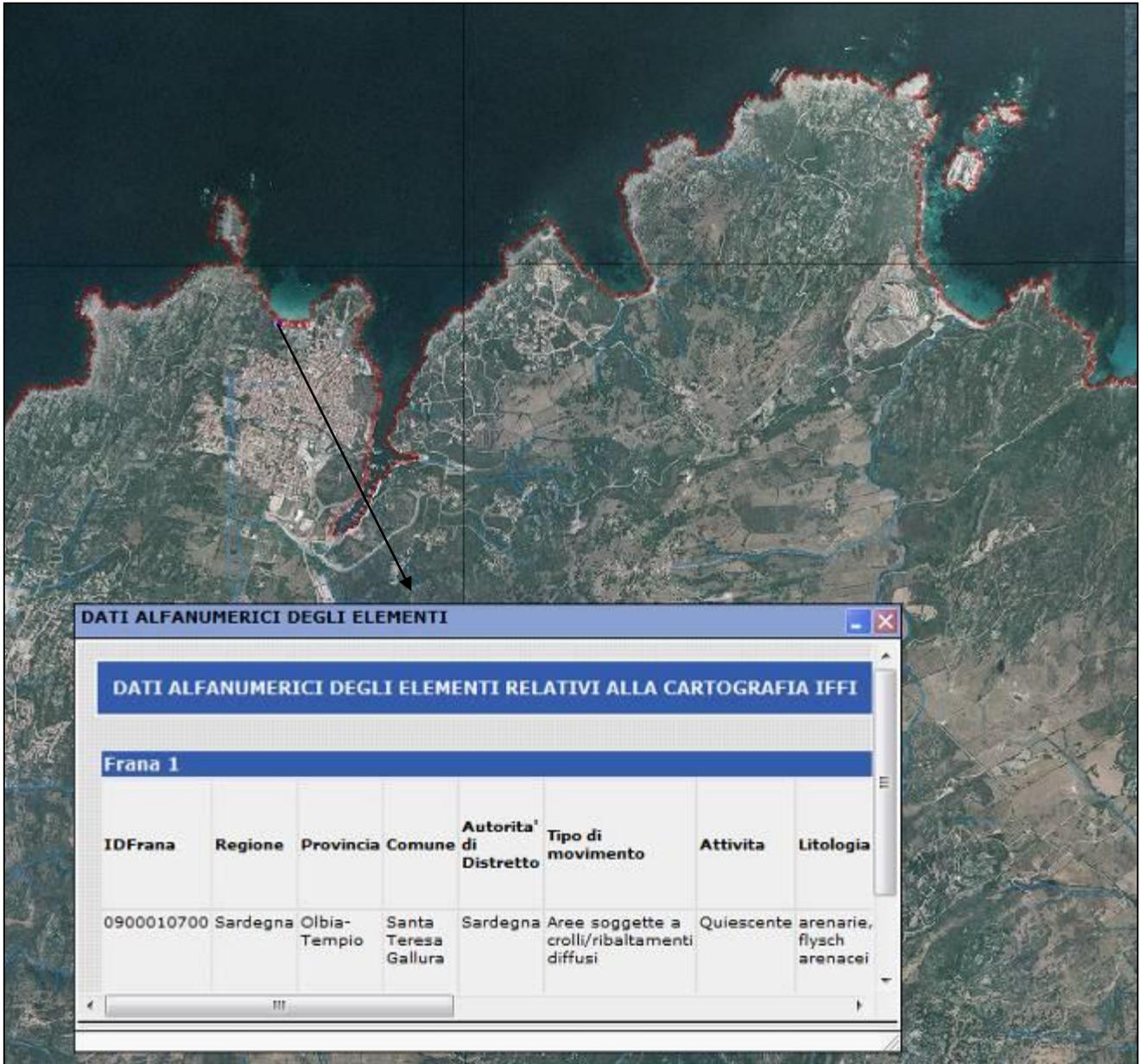
Morfologia predominante nell'area d'indagine estratta dalle note illustrative del foglio cart n°411



Degradazione dei graniti rilevati in sito

Il territorio interessato dal tracciato dell'elettrodotto, essendo prevalentemente caratterizzato da litologie rocciose molto competenti, è scarsamente interessato da fenomeni gravitativi che costituiscono gli elementi

della pericolosità da frana. Conseguentemente le aree a rischio da frana sono molto limitate e l'unica mappata nell'area dal catalogo ufficiale IFFI è situata nella zona costiera di S. Teresa Gallura con frana di crollo diffusi quiescenti. In particolare, il tracciato non intercetta aree interessate dal rischio da frana secondo quanto riportato dal PAI sottostante.



Stralcio del catalogo IFFI dell'ISPRA con tutte le frane attive e quiescenti dell'area

Nel dettaglio anche dal punto di vista morfologico l'area può essere suddivisa in tre settori:

1. Il primo settore, quello di spiaggia è caratterizzato dall'arenile e da vaste plaghe di affioramenti di rocce granitoidi e da una totalmente mascherata e sepolta stretta paleovalle (totalmente sovralluvionata) fortemente incassata entro le rocce granitoidi; infatti solo mediante i sondaggi si è potuto notare l'assenza del substrato (che lateralmente invece è affiorante praticamente in maniera continua) fino a 15 m da p.c.
2. Il secondo settore dalla rete spiaggia fino alla SS 133 bis è caratterizzato dalla presenza monotona di affioramenti di rocce granitoidi o al limite da una sottile (inferiore al metro) strato di copertura granulare addensato su una morfologia blandamente "mossa" in bassissimi rilievi collinari.
3. Il terzo settore è quello tipicamente di una piana alluvionale di tipo endoreico di origine sicuramente strutturale caratterizzata di assenza del substrato roccioso per (in base ai sondaggi effettuati) per almeno 20 m (zona della stazione di scambio) con prevalenza di terreni granulari sciolti verso N e un aumento dei terreni fini ed argillosi verso S a denotare una diminuzione di energia di trasporto.

L'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee, infatti gran parte dei corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio, dovuto, fondamentalmente, alla stretta vicinanza tra i rilievi e la costa. I corsi d'acqua hanno prevalentemente pendenze elevate, nella gran parte del loro percorso, e sono soggetti ad importanti fenomeni di piena nei mesi tardo autunnali ed a periodi di magra rilevanti durante l'estate, periodo in cui può verificarsi che un certo corso d'acqua resti in secca per più mesi consecutivi.

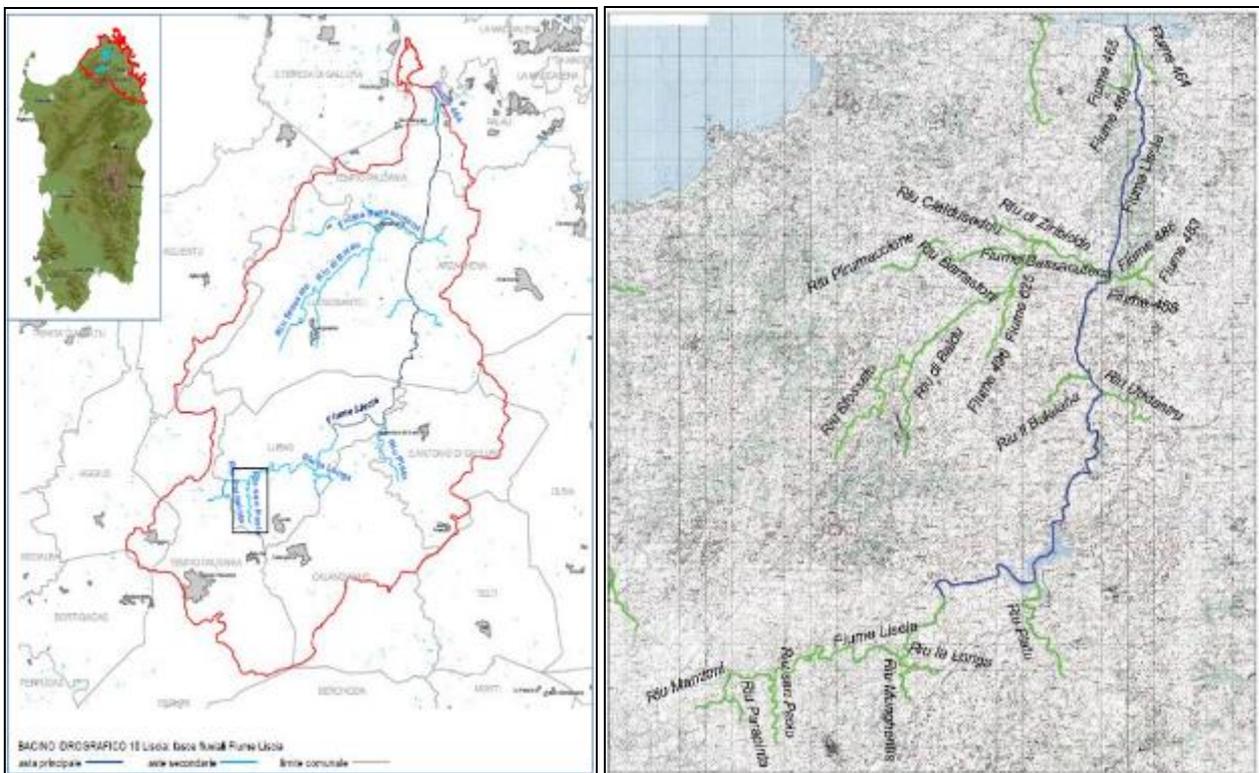
L'area oggetto della presente non risente dell'influenza diretta di alcun corso d'acqua principale ma ricade nel Bacino del Liscia, che si estende per 2.253 kmq, pari al 9% del territorio regionale e nel sub-bacino del Coghinas-Mannu-Temo, che si estende per 5.402 Kmq, pari al 23% del territorio regionale, entrambi ben distanti dal territorio comunale di S. Teresa di Gallura. Il Fiume Bassacutena e i corsi d'acqua Riu Mannu, Riu Mannu di Oschiri e Riu Berchidda, rappresentano i corpi idrici superficiali più significativi della Regione.

Il fiume Liscia è uno dei principali corsi d'acqua della Gallura. Il bacino è interamente impostato sui granitoidi costituenti il così detto basamento Ercinico. Dal punto di vista geomorfologico possono essere distinte tre aree principali. Il bacino di testata drena il versante settentrionale del gruppo del monte Limbara (che culmina nella punta Berrita di 1362 m di altitudine) e l'ampio territorio, storicamente legato a Tempio Pausania, posto ai piedi di tale gruppo montuoso; si tratta di un'area costituita da una serie di altipiani granitici e rilievi collinari o di media montagna solcati da valli fluviali per lo più incise. Il bacino di testata si chiude in corrispondenza del lago artificiale del Liscia.

Il medio e basso corso del Liscia, infine, corre in una lunga e rettilinea valle, dello sviluppo di circa 22 km, che

segue un sistema di faglie con asse Nord-Sud e va a sfociare nello stretto delle Bocche di Bonifacio in corrispondenza della baia di Porto Liscia. La foce vera e propria ha una conformazione ramificata a delta che converge in mare attraverso una bocca unica.

Le aree alluvionali pedemontane e i bacini intramontani fanno parte dell'assetto oro-idrografico dell'area studiata, ma non sono molto diffusi. Hanno estensioni varie e si insinuano a varia altitudine tra i graniti e le forme precedentemente descritte, senza contatti continui con la costa. Vi scorrono alcuni dei corsi più importanti, Vignola e Liscia. Spiccano in particolare a N il Bacino di Bassacutena (200 m, fra Luogosanto e Palau), al centro la piana di M.giu Santu (250 m, per lo più coincidente oggi con l'invaso del Liscia) e il Bacino di Padru (Rio Lemo).



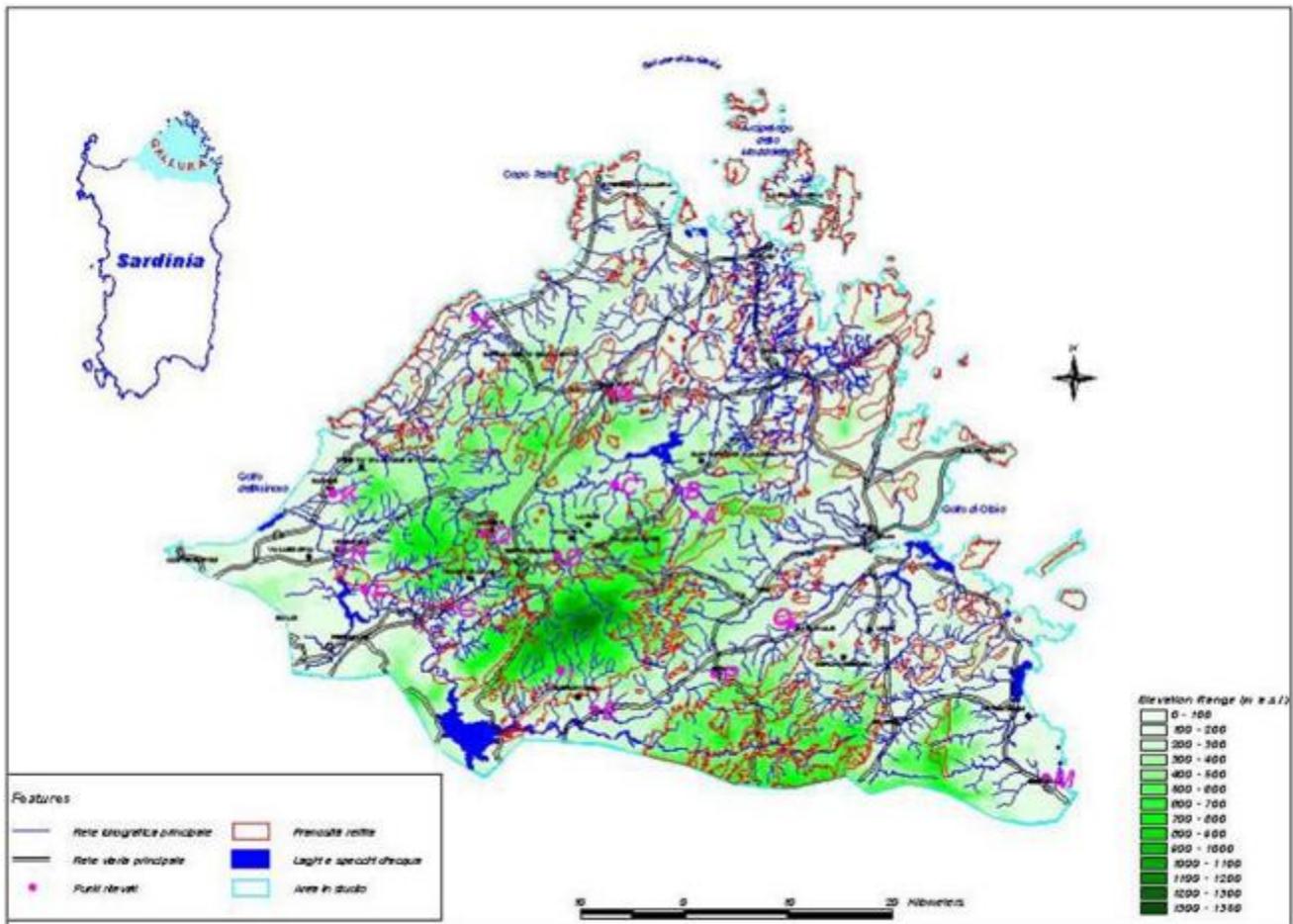
Bacino del Fiume Liscia a sinistra e reticolo idrografico del Fiume Liscia a destra.

Nell'area in studio prevalgono i terreni a medio-bassa permeabilità per via dei litotipi affioranti di natura granitica, permeabili solo per fessurazione. Tuttavia, come già accennato nella parte relativa al contesto geologico, i leucograniti hanno risentito maggiormente dei fenomeni tettonici succedutisi nelle ere geologiche: sono interessati da sistemi di fratture e faglie più importanti; di conseguenza è auspicabile che nel loro ambito si possano formare acquiferi profondi di discreta entità. Le coltri di granito arenizzato che si formano nei compluvi, nelle zone vallive e nelle aree sub-pianeggianti sono caratterizzate da permeabilità medio-alta per porosità. Gli acquiferi che si generano sono, solitamente, di scarsa entità.

11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il complesso alluvionale quaternario è caratterizzato da elevata permeabilità per porosità negli orizzonti più grossolani e dilavati (alluvioni recenti), che diventa bassa negli orizzonti prettamente argillosi o in matrice argillosa (alluvioni antiche) e detriti di falda. Da informazioni bibliografiche, emerge che le falde presenti hanno una relativa costanza del livello idrometrico nel tempo, per cui si deduce che i pozzi sono alimentati da un serbatoio abbastanza grande da non risentire eccessivamente delle variazioni pluviometriche stagionali.

Se nei graniti arenizzati ed anche in quelli molto alterati la presenza dell'acqua è legata anche all'esistenza di una porosità, nel granito sano essa è attribuibile solo alle numerosissime fratture che lo hanno scomposto sia secondo piani verticali o sub verticali variamente orientati sia secondo piani sub-orizzontali. Non è da escludere che in profondità, al di sotto del granito sano affiorante, vi siano delle tasche sabbiose formatesi per alterazione di breccie tettoniche, analogamente a quanto si è osservato altrove in Sardegna.



Schema idrografico della Gallura

Anche dal punto di vista idrogeologico l'area d'interesse si può suddividere in tre settori

1. Area di spiaggia con la falda in equilibrio con il livello marino e le maree; si rammenta della presenza della paleovalle sepolta caratterizzata da quasi solamente materiale granulare pertanto permeabile.
2. Area collinare dalla spiaggia fino alla strada statale; le indagini dirette condotte (comunque sempre superficiali) non hanno denotato la presenza di falda nei primissimi metri.
3. La piana (area campo sportivo e stazione di scambio) è caratterizzata da falde multistrato sovrapposte, allocate nei terreni granulari parzialmente isolate fra loro dai terreni più fini e/o argillosi.

Le indagini in sito eseguite lungo il tracciato confermano la suddivisione esposta in precedenza. In particolare nei primi mesi del 2021 nel tratto interessato sono state eseguite una serie di tomografie elettriche, dei sondaggi ed è stato installato un piezometro per il monitoraggio della falda. Per la posizione delle indagini e delle prove vedi cap. relazione geotecnica e cartografia idrogeologica di S. Teresa). Lo studio ha evidenziato come nell'area collinare non sia presente una falda perenne ma una serie di piccole lenti di falde sospese (a carattere effimero) che si manifestano dopo periodi piovosi. L'area di piana invece evidenzia la presenza di una falda sub-superficiale con profondità della tavola d'acqua che possono variare da 1 a 5 m dal p.c. come evidenziato dal piezometro posto nel tratto finale dell'area di progetto che ha mostrato una falda, nel giorno 4/02/2021 a -1,10 m dal p.c. (per posizione piezometro vedi carta idrogeologica).

A seguito i due modelli idrogeologici dedotti dalle resistività elettriche registrati nei nell'area collinare e nell'area di piana.

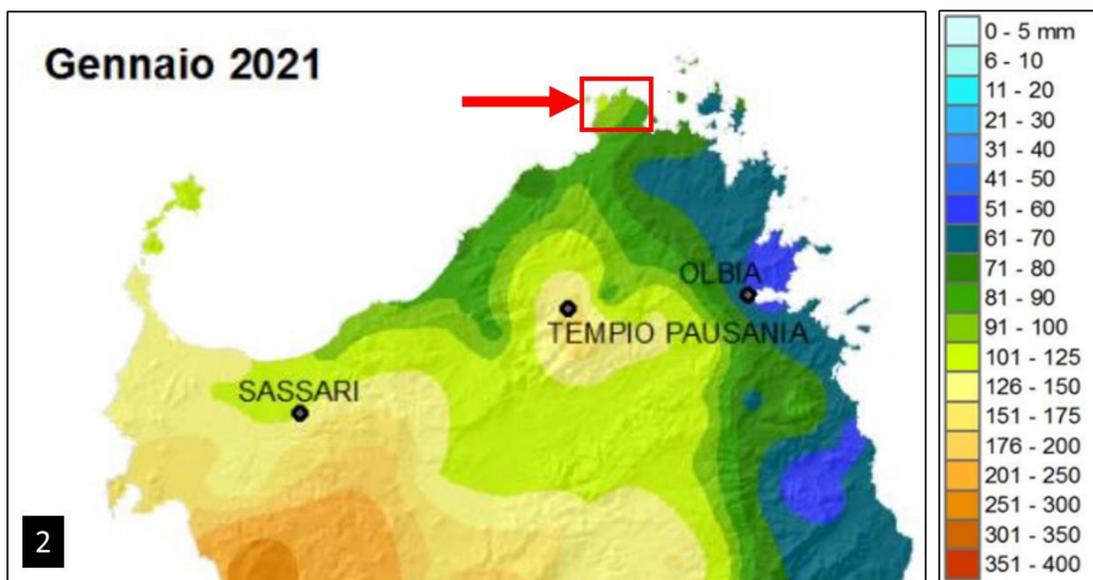
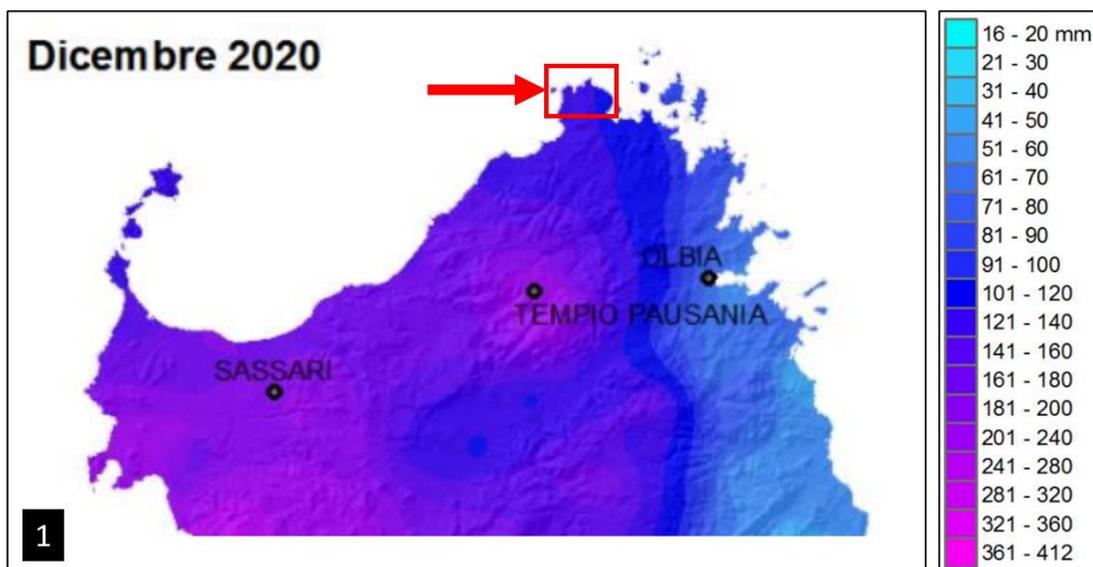
Area collinare

Profondità	Descrizione idrogeologica	Resistività media [Ohm x m]
0-4	Limi argillosi sabbiosi Con presenza di falde sospese in localizzate in lenti	0 - 200
4-8	Sabbia – ghiaia/detrito di versante privo di falda acquifera	200-800
8-	Substrato compatto	>800

Area di piana

Profondità	Descrizione idrogeologica	Resistività [Ohm x m]
0-1	Limi argillosi sabbiosi	100-200
1-5	Limi argillosi sabbiosi saturi	20-120

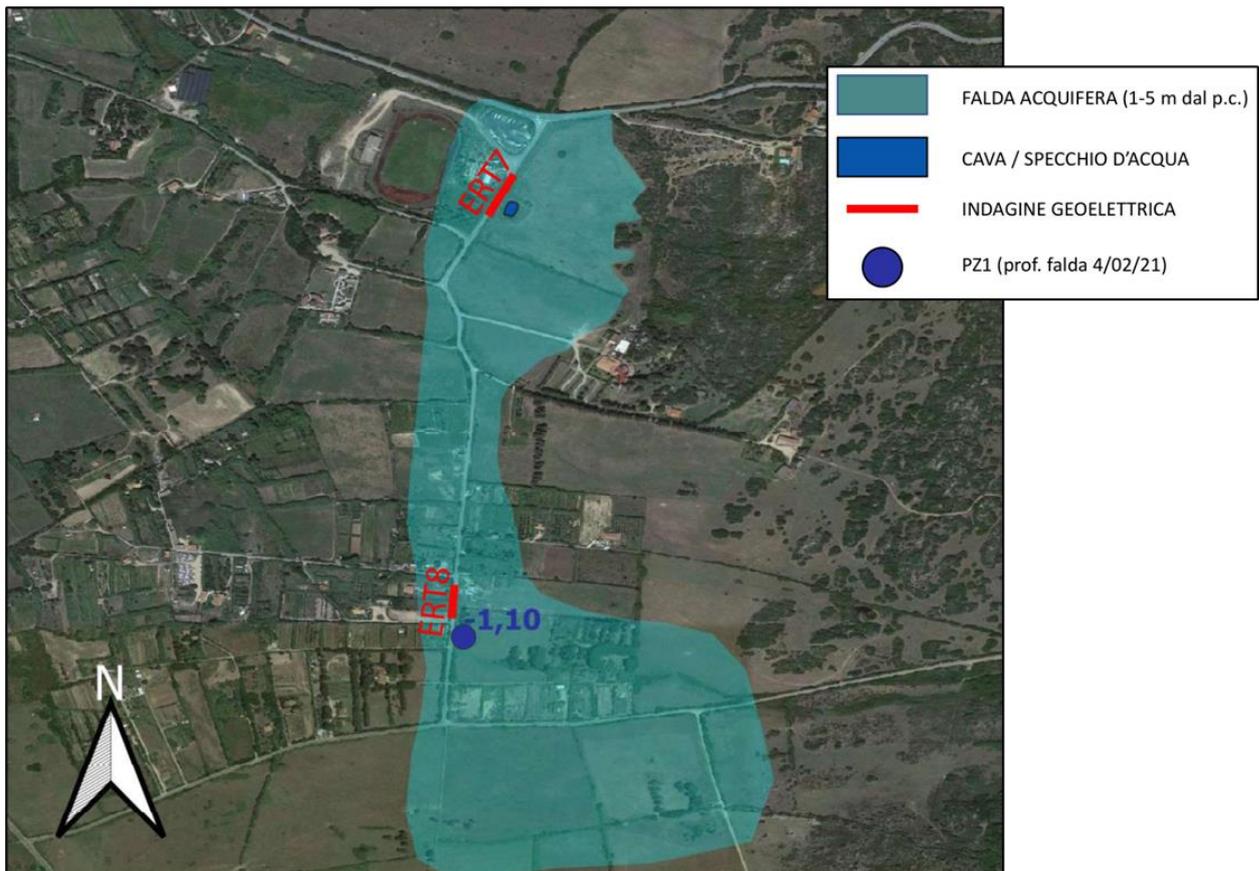
I dati raccolti durante le indagini del gennaio 2021 sono stati confrontati con i dati meteorologici dei mesi dicembre 2020 / gennaio 2021.



In alto Valori cumulati mensili di precipitazione registrati nel mese di Dicembre 2020, in basso Valori cumulati mensili di precipitazione registrati nel mese di Gennaio 2021 (Arpa Sardegna)

Come si nota nei mesi di dicembre 2020 / gennaio 2021, il sito di studio è stato coinvolto da intense precipitazioni, questo spiega la presenza di diverse falde sospese concentrate in lenti, presenti nei primi 4 metri dal p.c. nell'area collinare di progetto (dalla spiaggia fino alla strada statale).

Nell'area di piana (area campo sportivo e stazione di scambio), viste le condizioni geomorfologiche e geologiche è sempre presente una falda freatica a profondità modeste (al moneto dell'indagine a circa 1-5 m dal p.c.) come evidenziato anche nella carta idrogeologica proposta di cui a seguito se ne riporta uno stralcio della zona di piana.



Carta idrogeologica del settore sud dell'area di progetto

Rapporti fra la falda e i corpi idrici superficiali

L'idrografia della Sardegna si presenta con i caratteri tipici delle regioni mediterranee, infatti gran parte dei corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio, dovuto, fondamentalmente, alla stretta vicinanza tra i rilievi e la costa. I corsi d'acqua hanno prevalentemente pendenze elevate, nella gran parte del loro percorso, e sono soggetti ad importanti fenomeni di piena nei mesi tardo autunnali ed a periodi di magra rilevanti durante l'estate, periodo in cui può verificarsi che un certo corso d'acqua resti in secca per più mesi consecutivi.

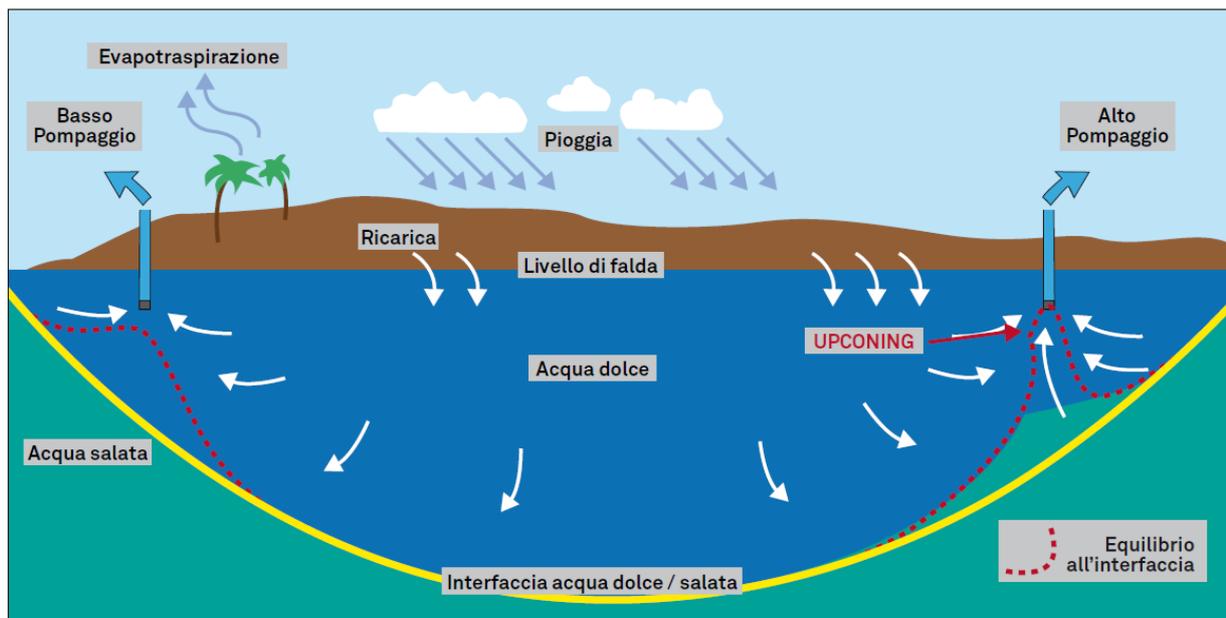
L'area oggetto della presente non risente dell'influenza diretta di alcun corso d'acqua principale ma ricade nel Bacino del Liscia, che si estende per 2.253 kmq, pari al 9% del territorio regionale e nel sub-bacino del

Coghinas-Mannu-Temo, che si estende per 5.402 Km², pari al 23% del territorio regionale, entrambi ben distanti dal territorio comunale di S. Teresa di Gallura. Il Fiume Bassacutena e i corsi d'acqua Riu Mannu, Riu Mannu di Oschiri e Riu Berchidda, rappresentano i corpi idrici superficiali più significativi della Regione. In pratica non vi sono rapporti stabili, fra corpi idrici superficiali e falda nel fessurato se non quello di dispersione (infiltrazione diretta) in falda durante i periodi di piena. Si tende ad escludere l'effetto drenaggio da parte dei medesimi corpi idrici della falda sotterranea.

Area di spiaggia (La Marmorata)

Cuneo Salino, generalità

Il cuneo salino è la forma particolare di stratificazione delle acque per differenza di densità, che si determina a causa dell'intrusione dell'acqua marina (a densità maggiore) al di sotto di una falda acquifera (a densità minore). L'intrusione salina è causata da eccessivi prelievi delle acque di falda; interessa molte zone costiere, ma può colpire anche, con l'aggravarsi del fenomeno, ampie zone interne. L'acqua salata prende il posto dell'acqua dolce, determinando un aumento del volume di acqua sotterranea salata e un decremento del volume di acqua sotterranea dolce. Problema analogo si riscontra nelle foci dei fiumi quando la portata d'acqua dolce verso il mare diminuisce sensibilmente e l'acqua salata può risalire parte del fiume rendendo inutilizzabile tale risorsa per l'agricoltura. Basta una piccola contaminazione di acqua marina per rendere inutilizzabile l'acqua a scopo agricolo e potabile. Con valori di salinità ancora maggiori inevitabile l'impatto anche sull'ambiente, fino ad arrivare alla modifica della stessa chimica dei suoli nonché danneggiando gli ecosistemi costieri e la flora locale.

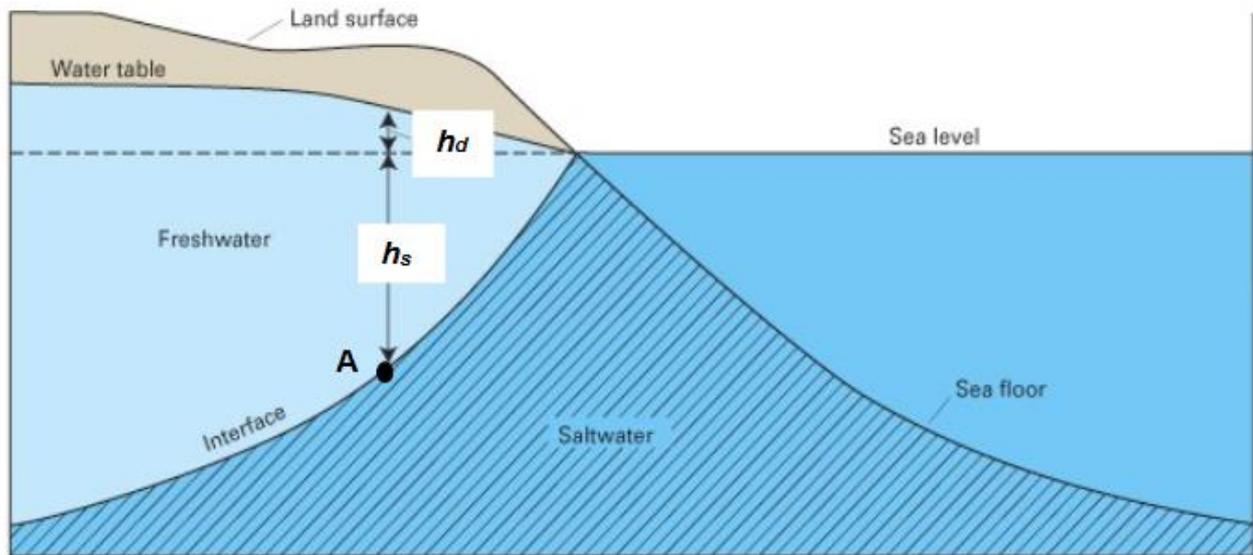


Schema semplificato dei meccanismi e fattori dell'intrusione salina costiera con risalita del cuneo salino: livelli di pompaggio elevato di acque dolci da pozzi in prossimità della costa "richiamano" acque saline e/o salmastre in superficie attraverso il fenomeno dell'upconing (spostamento dell'interfaccia dolce/salata verso la superficie in forma conica)

Considerazioni sulla falda costiera nell'area di Santa Teresa di Gallura spiaggia La Marmorata:

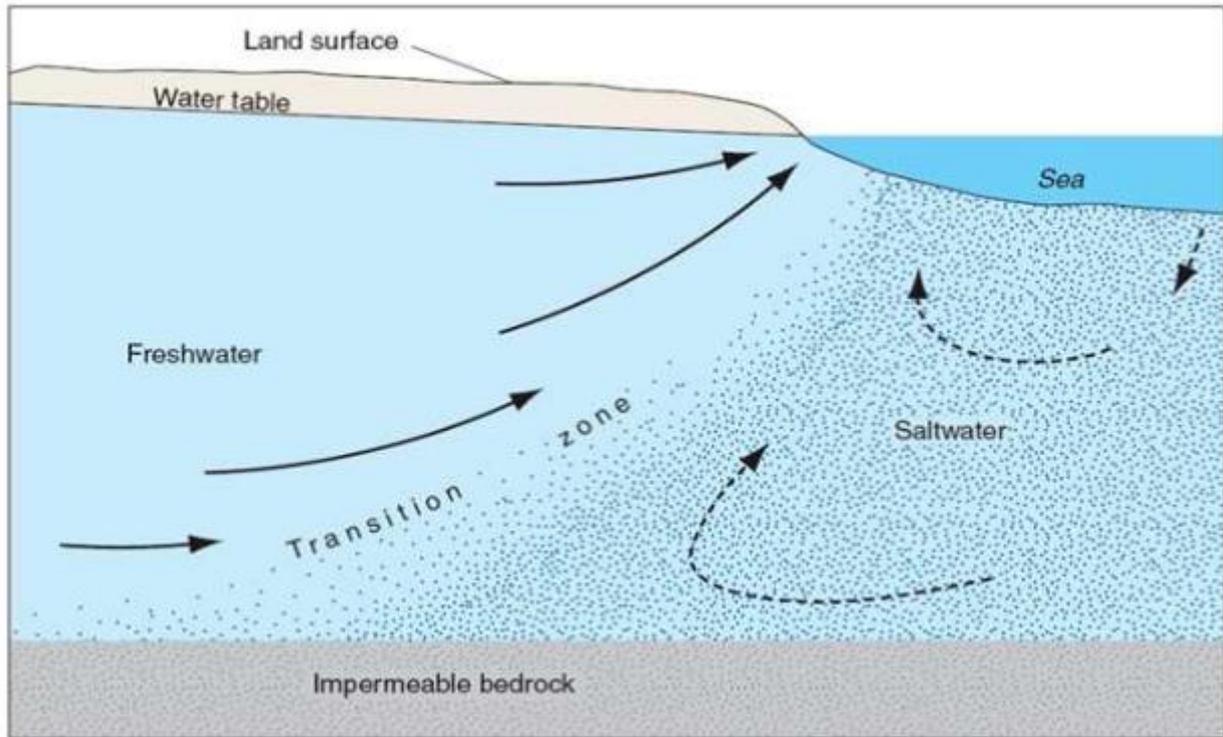
Lo studio degli acquiferi e del loro condizionamento dalle attività antropiche è, oggi, di grande attualità e importanza. In particolare, è molto interessante l'analisi degli acquiferi costieri in quanto sistemi idrogeologici sensibili al fenomeno dell'intrusione salina. Si definisce intrusione salina o marina l'avanzamento delle acque salate dal mare verso l'acquifero costiero. Tale fenomeno, in condizioni naturali, è più evidente nell'immediata prossimità della linea di costa dove, a causa del ridotto spessore della falda e del contatto con le acque marine

intruse, il processo di mescolamento interessa quasi tutto lo spessore dell'acquifero e anche i livelli più superficiali della falda possono essere contaminati dal mare. Procedendo verso l'entroterra, invece, a causa dell'incremento dei carichi piezometrici, la qualità delle acque di falda migliora, sino a raggiungere parametri chimici tipici dell'acqua dolce. In condizioni alterate, il mescolamento tra acqua salata e acqua dolce conseguente all'intrusione salina può risultare notevolmente amplificato, causando la progressiva salinizzazione della risorsa idrica sotterranea fino a renderla inutilizzabile per gli usi civili, industriali e agricoli. Ciò provoca anche il depauperamento della qualità del suolo. Normalmente, a causa della diversa densità, l'acqua salata, più densa, fluisce al di sotto di quella dolce, formando un'interfaccia di separazione tra i due liquidi detta cuneo salino, come schematizzato nella Figura seguente



Interazione acqua dolce – acqua salata in prossimità della costa, fenomeno dell'intrusione salina

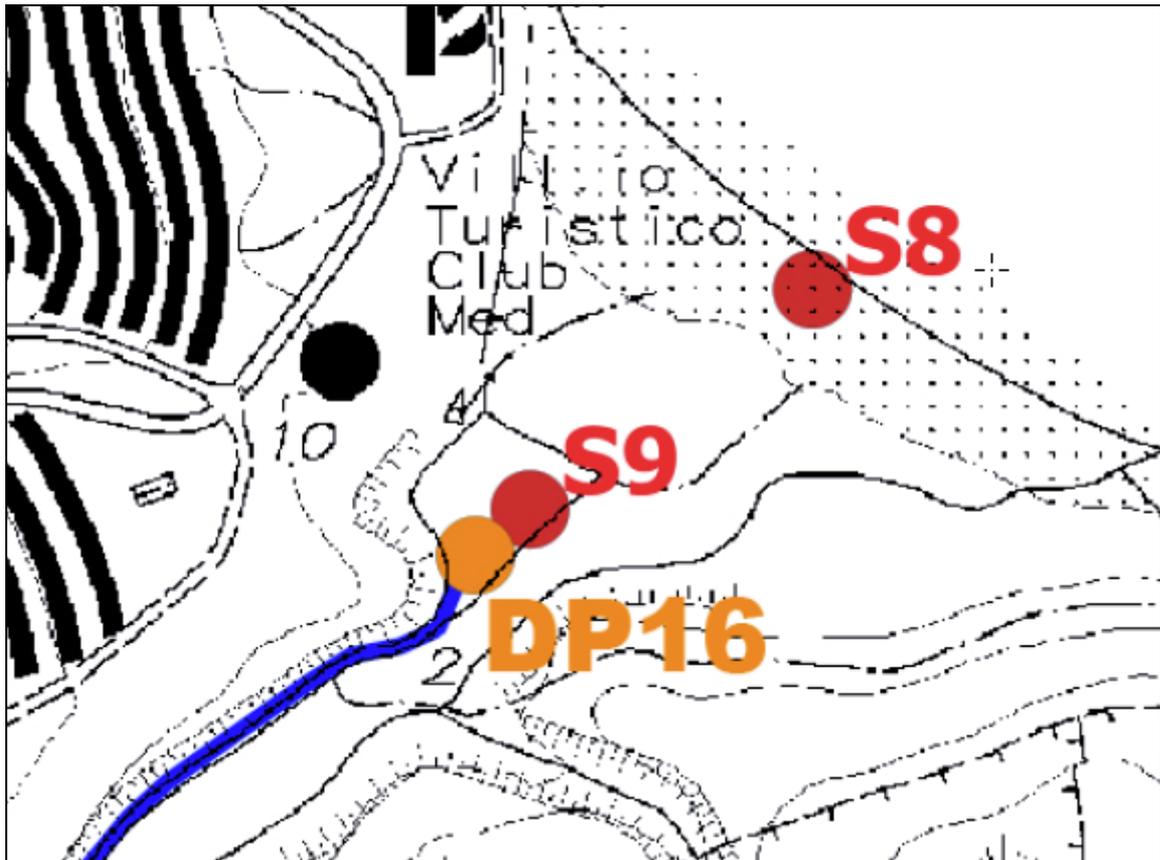
Semplificando il fenomeno, si può ipotizzare che l'acqua dolce si disponga sopra l'acqua salata definendo un'interfaccia netta ma, nella realtà, esiste una vera e propria zona di mescolamento o mixing zone (Figura 2.2), la cui ampiezza dipende da fenomeni di dispersione e diffusione sia verticali che orizzontali e dalle fluttuazioni marine. Lo spessore di tale zona, a salinità crescente con la profondità, può estendersi anche per qualche decina di metri.



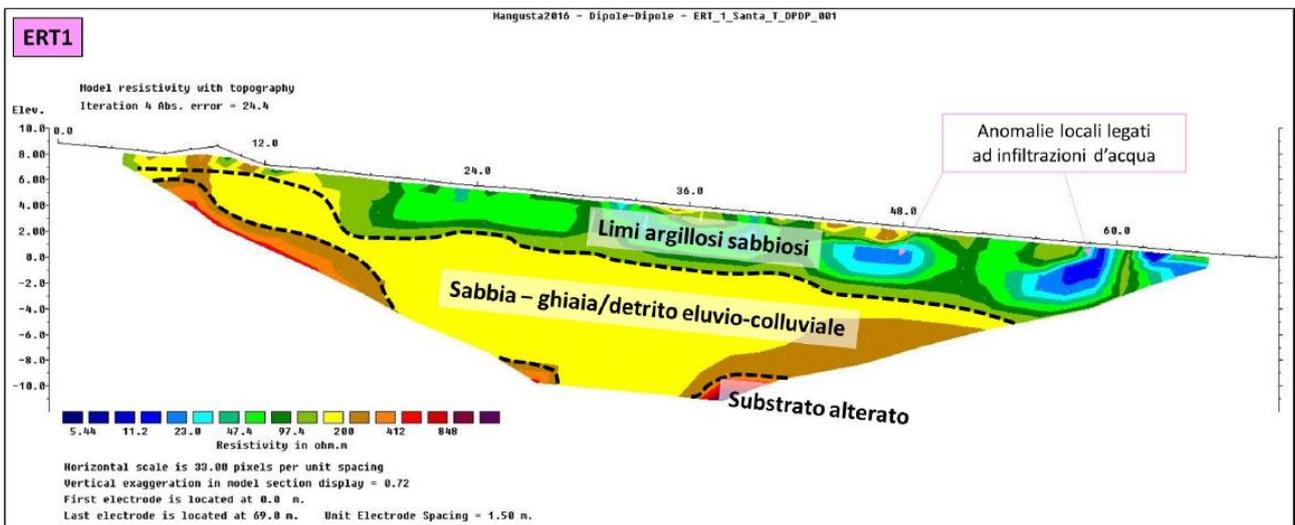
Zona di mescolamento dell'intrusione salina in un acquifero semiconfinato

Nell'area di La Marmorata la stratigrafia presso la spiaggia è caratterizzata dalla presenza di una morfologia sepolta relativamente complessa. L'area di spiaggia è caratterizzata dall'arenile e da vaste plaghe di affioramenti di rocce granitoidi e da una totalmente mascherata e sepolta stretta paleovalle (totalmente sovralluvionata) fortemente incassata entro le rocce granitoidi; infatti solo mediante i sondaggi si è potuto notare l'assenza del substrato (che lateralmente invece è affiorante praticamente in maniera continua) fino a 15 m da p.c.

Di eseguito i sondaggi eseguiti nel settore.



Posizione sondaggi nell'area di spiaggia



La sezione topografica (da ERT1 a la spiaggia con S8) è approssimativamente il seguente



Data la notoria aridità relativa della Sardegna è probabile che la falda sia comunque esigua.

La determinazione del cuneo salino (posizione e forma) risulta complessa e solo in alcuni casi particolari è possibile ottenere una soluzione analitica in forma chiusa. Tuttavia, assumendo delle ipotesi semplificative, è possibile individuare la posizione dell'interfaccia con buona approssimazione. Un primo approccio a questa problematica fu condotto da Ghyben ed Herzberg per trovare la superficie di separazione tra l'acqua dolce e quella salata in condizioni idrostatiche. La loro trattazione si basa sulle seguenti ipotesi semplificative: - Flusso di acqua dolce perfettamente orizzontale e quindi linee equipotenziali verticali (assunzione di Dupuit); - Acqua

salata in moto stazionario; - Zona di mescolamento tra i due fluidi di spessore nullo. Con queste ipotesi, per ogni punto A dell'interfaccia è valida la relazione di equilibrio tra le pressioni dell'acqua dolce e di quella salata:

$$(h_s + h_d) \gamma_d = h_s \gamma_s \rightarrow h_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_d + \gamma_s} h_d \cong 40 h_d$$

dove:

- h_s è la distanza, lungo la verticale, tra il livello del mare e l'interfaccia;

- h_d è la quota, sopra il livello del mare, dell'acqua dolce;

- γ_s è il peso specifico dell'acqua salata (1 025 kg/m³);

- γ_d è il peso specifico dell'acqua dolce (1 000 kg/m³).

Quanto ricavato permette di dire che la profondità a cui si trovano le acque salate è circa 40 volte l'altezza piezometrica dell'acqua dolce sopra il livello del mare. Tuttavia, per l'ipotesi relativa all'orizzontalità del flusso d'acqua dolce, questo risultato perde di validità soprattutto nelle aree in prossimità della costa e del cuneo salino in generale, dove il moto si presenta "circolare" con una componente verticale rilevante e linee equipotenziali curvilinee.

Pertanto in teoria applicando la formulazione sopra esposta, supponendo una "scarsa" falda dolce, l'interfaccia salina si trova a profondità molto modeste rispetto al p.c.

I documenti disponibili non segnalano al momento particolari problemi in questo settore (legati naturalmente alla salinizzazione).



Segnalazione delle aree con problematiche (fonte Regione Sardegna)



Segnalazione del rischio per corpi idrici costieri (fonte Regione Sardegna)

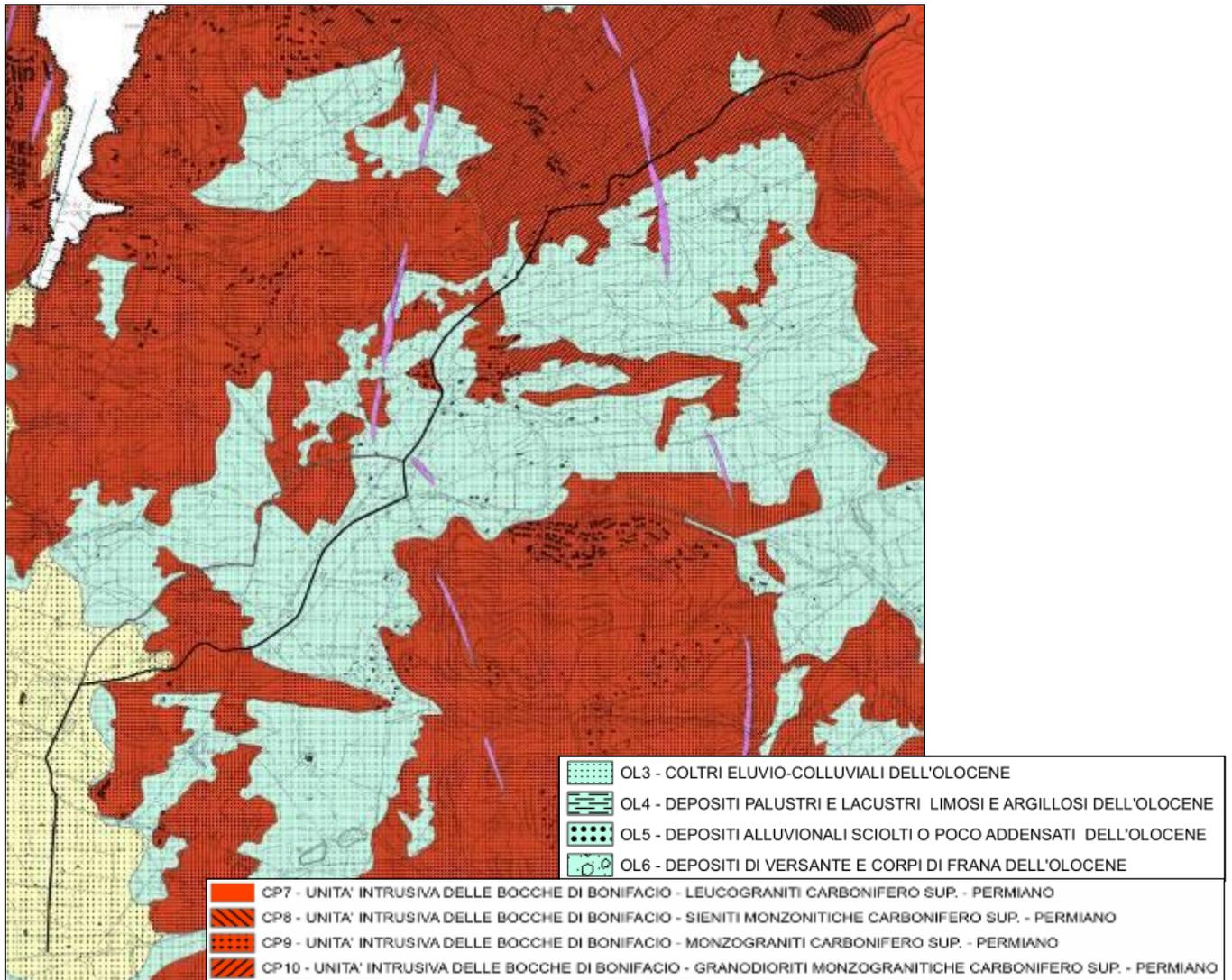
Come precauzione da attuare per lo scavo effettivo della connessione si dovrà procedere con una misurazione diretta dell'interfaccia e alla valutazione dell'utilizzo di barriere idrauliche statiche (palancole o simili) e dinamiche (iniezioni di acqua dolce) onde impedire il fenomeno di risalita dell'acqua salata a seguito di operazioni di drenaggio forzato.

Questa precauzione naturalmente vale esclusivamente per l'area di spiaggia e non per l'area di monte in cui non esiste il pericolo d'ingressione marina per evidenti questioni topografico altimetriche.

12. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

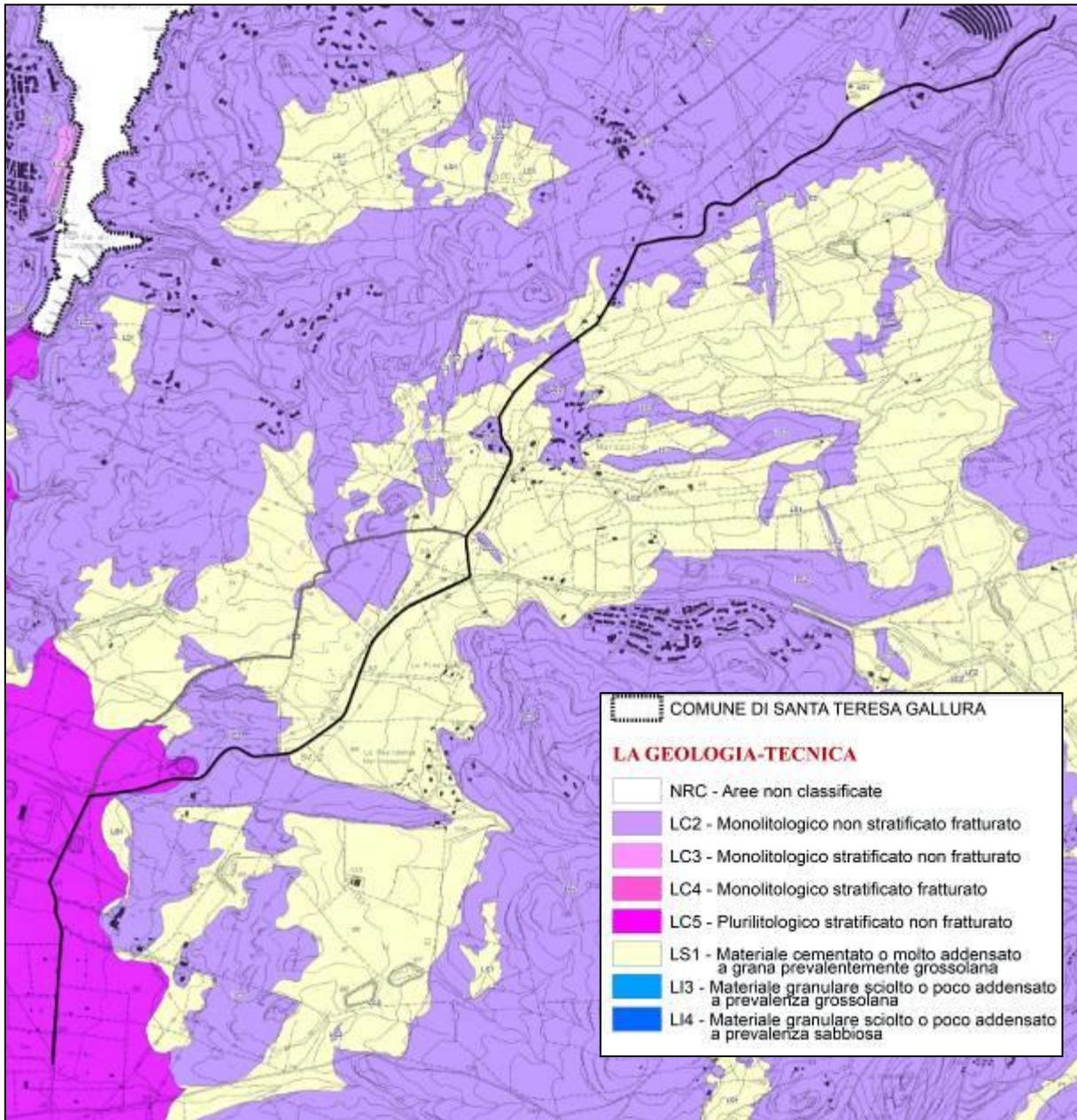
L'intero tracciato attraversano i seguenti terreni, messi in evidenza nella cartografia geologica sotto riportata ricavata dallo studio comunale in sede di adeguamento urbanistico (per una migliore visione si consiglia di consultare la tavola "carta geologica" allegata) e descritti dettagliatamente nella parte geologica precedente della presente relazione:

- Leucograniti dell'unità intrusiva delle Bocche di Bonifacio;
- Monzograniti dell'unità intrusiva delle Bocche di Bonifacio;
- Granodioriti dell'unità intrusiva delle Bocche di Bonifacio;
- Filoni intrusivi di natura dacitica e/o riolitica;
- Coltri eluvio-colluviali dell'olocene;
- Calcareniti e arenarie del pleistocene sup.



Carta geologica in scala 1:10.000 tratto dall'adeguamento urbanistico comunale con i due ipotesi di tracciato in nero il n°1 ed in grigio il n°2, sovrapposti in alcuni tratti

Dal punto di vista geologico-tecnico, le unità sono state raggruppate e divise in funzione delle loro caratteristiche meccaniche, stato di aggregazione e di alterazione in unità litologico-tecniche come riportato nella cartografia seguente. Anche in questo caso è possibile dividere il tracciato in tre parti: la prima attraversa i granitoidi classificati in colore viola su carta come ammasso massivo e fratturato, per poi passare alle alluvioni caratterizzate come materiale molto addensato a granulometria grossolana ed infine si intercettano ancora rocce magmatiche distinte dalle prime come stratificate e non fratturate. Il risultato cartografico attesta sicuramente la prevalenza di litotipi coerenti mentre quelli incoerenti rimangono limitati alle fasce costiere.



Carta geologico-tecnica con ipotesi di tracciati in nero il n°1 ed in grigio il n°2, sovrapposti in alcuni tratti.

Nel dettaglio in base alle indagini eseguite sono da differenziarsi tre settori differenziati fra loro;

- 1) l'area di approdo includente la spiaggia de La Marmoratina e il parcheggio retrostante;
- 2) la parte di entroterra dopo la spiaggia fino ad incontrare la ss statale 133 bis
- 3) l'area dello stadio e presso la centrale di scambio

Il primo settore è caratterizzato da una stratta paleovalle totalmente sovralluvionata e fortemente incassata entro le rocce granitoidi; infatti solo mediante i sondaggi si è potuto notare l'assenza del substrato (che lateralmente invece è affiorante praticamente in maniera continua) fino a 15 m da p.c. I materiali di riempimento

sono tipicamente granulari ma non mancano frazioni fini talora organiche. Questa “vallecola” totalmente seppellita non è segnalata dalla cartografia tecnica e geologica comunale, pertanto risulta importante segnalarla, anche per le sue conseguenze “tecniche e tecnologiche” rispetto al progetto in essere.

Il secondo settore è caratterizzato dalla presenza monotona di affioramenti di rocce granitoidi o al limite da una sottile (inferiore al metro) strato di copertura granulare addensato

Il terzo settore è quello tipicamente di una piana alluvionale di tipo endoreico di origine sicuramente strutturale caratterizzata di assenza del substrato roccioso per (in base ai sondaggi effettuati) per almeno 20 m (zona della stazione di scambio) con prevalenza di terreni granulari sciolti verso N e un aumento dei terreni fini ed argillosi verso S a denotare una diminuzione di energia di trasporto. Sempre verso S vi è una concomitante affiorare della falda acquifera, probabilmente per differenza di permeabilità, che affiora a piano campagna.

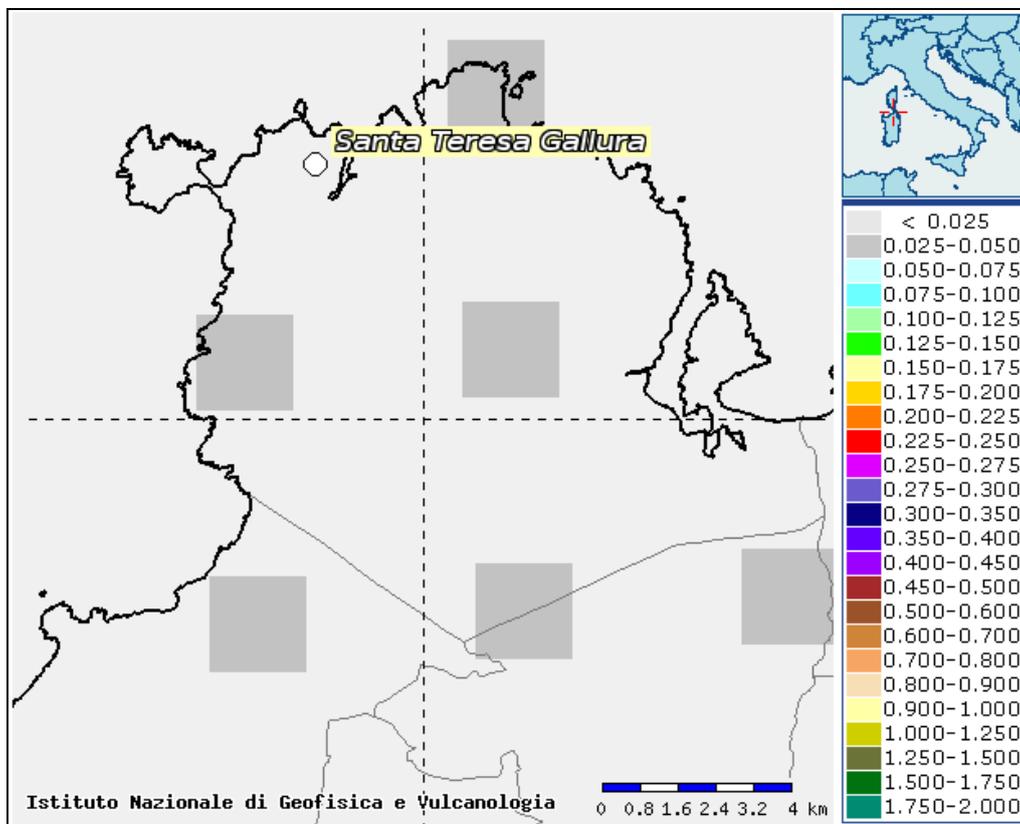
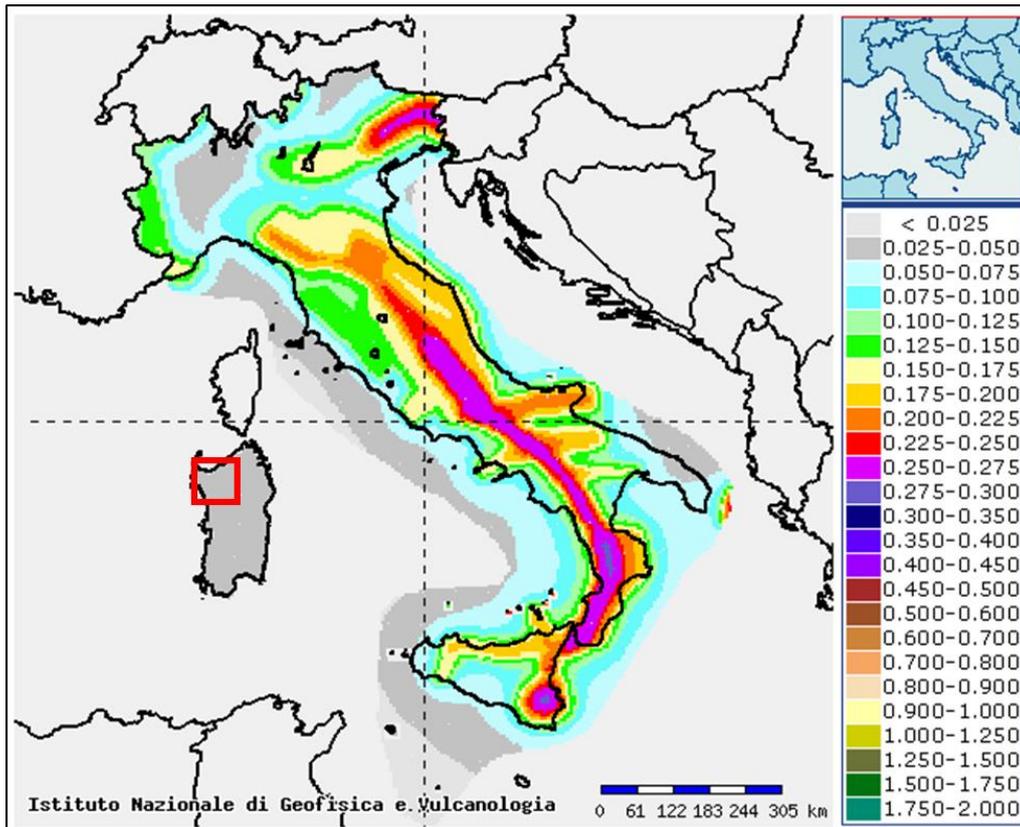
Classificazione sismica del sito

La sismicità della Regione è molto bassa come ben si evince da numerose carte di sismicità locale e da bibliografia, secondo cui l'intero blocco sardo-corso risulta stabile da circa 7 milioni di anni. Il catalogo dei terremoti italiani dell'INGV (ad oggi il database più completo e aggiornato), riporta solo 2 eventi del 1924 e del 1948 nella parte settentrionale con magnitudo inferiore a 5, in assenza di sistemi sismogenetici come accennato sopra. Il comune di Santa Teresa di Gallura (Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03) è classificato dal punto di vista sismico in classe IV con quindi i seguenti parametri edificatori minimi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
4	< 0.05	0.05

La classificazione sismica in zone 1 2 3 4 dopo l'entrata in vigore delle NTC08 ha solo valore amministrativo, vale solo per i controlli sui progetti da parte del GC. L'azione sismica va sempre calcolata tenendo conto della griglia. Per l'identificazione della zona sismica in cui ricade ciascun comune o porzione di esso, occorre fare riferimento alle disposizioni emanate ai sensi dell'art. 83, comma 3, del DPR 6.6.2001, n. 380.

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V., l'area comunale di Santa Teresa di Gallura è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g , riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s (Classe A), compreso tra 0.025 (a_g/g) e 0.05 (a_g/g).



Estratto mappa pericolosità sismica INGV

Categoria sismica sottosuolo e condizioni topografiche

Categoria sismica sottosuolo

A seguito si riporta quanto indicato nelle NTC del D.M. 17/01/2018 nel capitolo "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" nel punto 3.2.2. per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

Dal momento che non si hanno sufficienti dati per definire con accuratezza la categoria sismica di sottosuolo dell'area si è cautelativamente attribuito la condizione peggiorativa, ai terreni in sito è stata attribuita la **categoria sismica di sottosuolo D**.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

All'area oggetto di studio si può attribuire la condizione topografica T1.

Liquefazione terreni

In base alle indicazioni del paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione del DM 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

5. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
6. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
7. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
8. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

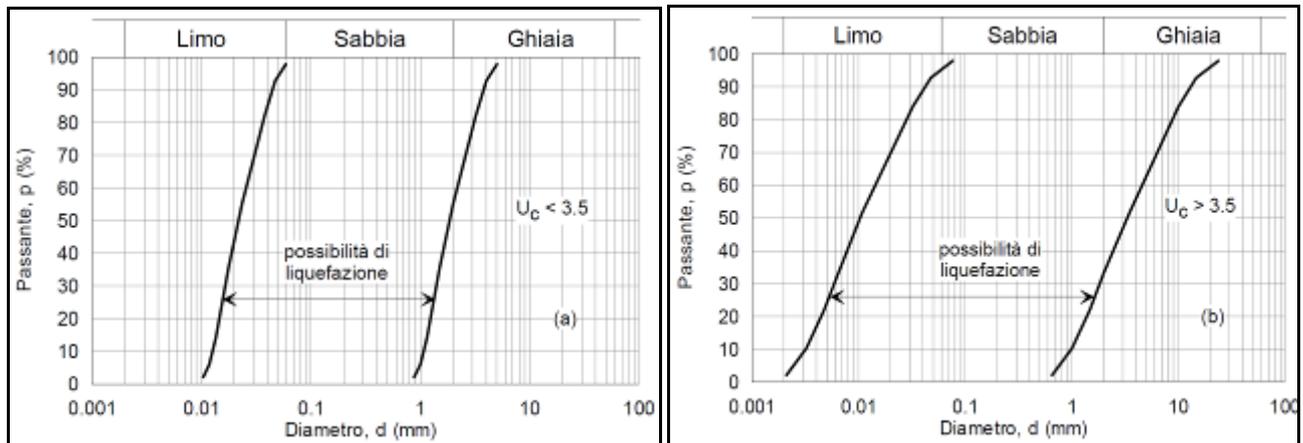


Fig. 7.11.1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti

L' accelerazioni massime attese al piano campagna sono inferiori di molto inferiori al valore di 0,1 g, inoltre il fuso granulometrico dei materiali litologici che compongono il terreno oggetto di studio non ricadano all'interno di quelli con possibilità di liquefazione, di conseguenza il rischio di liquefazione dei terreni risulta assente.

13. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Pericolosità geomorfologica

Il paesaggio interessato dal tracciato si presenta essenzialmente pianeggiante e poco ondulato in cui il litotipo dominante è il granito interessato dai processi di erosione chimico-fisica ad opera di agenti esogeni. Nel complesso le aree risultano stabili senza problemi di instabilità segnalati.

Pericolosità idrogeologica

Nell'area in studio prevalgono i terreni a medio-bassa permeabilità per via dei litotipi affioranti di natura granitica, permeabili solo per fessurazione mentre il complesso alluvionale quaternario è caratterizzato da elevata permeabilità per porosità negli orizzonti più grossolani e dilavati (alluvioni recenti), che diventa bassa negli orizzonti prettamente argillosi o in matrice argillosa (alluvioni antiche) e detriti di falda.

Le zone dell'area campo sportivo e del punto di transizione sono caratterizzate da falde multistrato sovrapposte, allocate nei terreni granulari parzialmente isolate fra loro dai terreni più fini e/o argillosi. Da misure effettuate in sito emerge che il livello piezometrico si assesta a circa -2 m da p.c.; Più verso N la falda tende ad affiorare sul terreno probabilmente per differenza di permeabilità e di quota in un'area di piccole polle risorgive diffuse prossima alla centrale di scambio.

Pericolosità idrica

L'area oggetto della presente non risente dell'influenza diretta di alcun corso d'acqua principale e ricade nel Bacino del Liscia (per maggiori approfondimenti fare riferimento alla "Relazione di compatibilità idraulica").

Pericolosità sismica

La sismicità della Regione è molto bassa come ben si evince da numerose carte di sismicità locale e da bibliografia, secondo cui l'intero blocco sardo-corso risulta stabile. Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03 il sito è classificato dal punto di vista sismico in classe IV ovvero a pericolosità sismica molto bassa.

14. CONCLUSIONI

Fattibilità geologica: dal punto di vista geologico l'area può ritenersi stabile non presentando particolari problemi. In base a quanto descritto nella perizia l'area è da considerarsi a medio-basso rischio idrogeologico s.l. (v. par. idrologia).

Il tracciato ricade quasi interamente sulle successioni granitiche granodioritiche-monzogranitiche di età carbonifero-permiano, in piccola parte su depositi alluvionali quaternari ed in ultima parte sul sintema di S. Teresa di Gallura (denominato TGA su carta geologica allegata) caratterizzata prevalentemente da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi ed in parte limosi.

Dal punto di vista geomorfologico l'area risulta stabile non presentando particolari dissesti in atto.

Analisi sismica: I terreni in sito, viste le condizioni geologiche e sismiche non risultano liquefacibili. I terreni in sito appartengono alla categoria sismica di sottosuolo D e condizione topografica T1.

ALLEGATI PER IL SITO DI CODRONGIANOS

- Carta geologica in scala 1:10.000 -

codice: DUHR10002BCC00545-001

ALLEGATI PER IL SITO DI S. TERESA DI GALLURA

- Carta geologica in scala 1:10.000 con ipotesi di tracciato -
- Carta geologico-tecnica in scala 1:10.000 -
- Carta delle acclività in scala 1:10.000 con ipotesi di tracciato -
- Carta idrogeologica in scala 1:10.000
- Sezioni tomografie elettriche

codice: DUHR10002BCC00545-002

codice: DUHR10002BCC00545-003

codice: DUHR10002BCC00545-004

codice: DUHR10002BCC00545-005

codice: DUHR10002BCC00545-006

