

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

**Realizzazione di un Parco Agrivoltaico Avanzato
di potenza nominale pari a 30 MWp
denominato "SILIGO"
sito nel Comune di Siligo (SS)**

Località "Lazzareddu"

PROPONENTE:



Energia Pulita Italiana 7 s.r.l.

Rev00	<i>Emissione per procedura di VIA</i>	Data ultima elaborazione: 11/11/2022		
Redatto	Formattato	Verificato	Approvato	
Dott. Geol. Nicola Pili	Dott. Geol. Nicola Pili	Dott. Agr. P. Vasta	ENERLAND	ITALIA
Codice Elaborato		Oggetto		
SIL-IAR10		VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE		

TEAM ENERLAND:

Dott. Agr. Patrick VASTA
Ing. Annamaria PALMISANO
Dott.ssa Iliara CASTAGNETTI

Ing. Emanuele CANTERINO
Dott. Claudio BERTOLLO
Dott. Guglielmo QUADRIO

GRUPPO DI LAVORO:

Dott. Geol. Nicola PILI
Dott. Rosario PIGNATELLO
Ing. Fabio Massimo CALDERARO
Ing. Vincenzo BUTTAFUOCO
**Dott. Biol. Agnese Elena Maria
CARDACI**

Dott. Agr. Gaetano GIANINO
Ing. Gianluca VICINO



Comune di SILIGO
Provincia di Sassari

REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO AVANZATO DI POTENZA
NOMINALE PARI A 30 MWP DENOMINATO "SILIGO"
SITO NEL COMUNE DI SILIGO (SS) LOCALITÀ "LAZZAREDDU"

SILIGO-IAR10
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

INDICE

PREMESSA	2
1. GENERALITÀ	3
1.1. <i>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</i>	3
1.2. <i>RIFERIMENTI NORMATIVI</i>	6
2. PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	7
2.1.1. <i>RICERCA BIBLIOGRAFICA</i>	7
2.1.2. <i>RILEVAMENTO GEOLOGICO DI CAMPAGNA</i>	8
3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO	9
3.1. <i>CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI DELL'AREA VASTA</i>	9
3.2. <i>CARATTERI STRATIGRAFICI</i>	13
3.3. <i>CARATTERI GEOMORFOLOGICI</i>	20
3.4. <i>CARATTERI IDROLOGICI</i>	34
3.5. <i>CARATTERI IDROGEOLOGICI</i>	37
4. MACROZONAZIONE SISMICA	38
CONCLUSIONI	42



PREMESSA

La presente RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA si redige su incarico della ditta ENERLAND ITALIA SRL ad opera dello scrivente dott. NICOLA PILI iscritto all'albo dei Geologi della Sardegna con il N° 761, in riferimento allo Studio di Impatto Ambientale del progetto di REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO AVANZATO DI POTENZA NOMINALE PARI A 30 MWP DENOMINATO "SILIGO" SITO NEL COMUNE DI SILIGO (SS) LOCALITÀ "LAZZAREDDU".

L'elaborato redatto ai sensi delle NTC 2008 e delle NTC 2018 definisce il MODELLO GEOLOGICO del terreno, da recepire come schema delle condizioni litologiche, stratigrafiche, strutturali, geomorfologiche, idrologiche, idrogeologiche generali e del sito, finalizzato all'analisi quantitativa delle pericolosità geologiche nella valutazione di impatto ambientale.

1. GENERALITÀ

1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

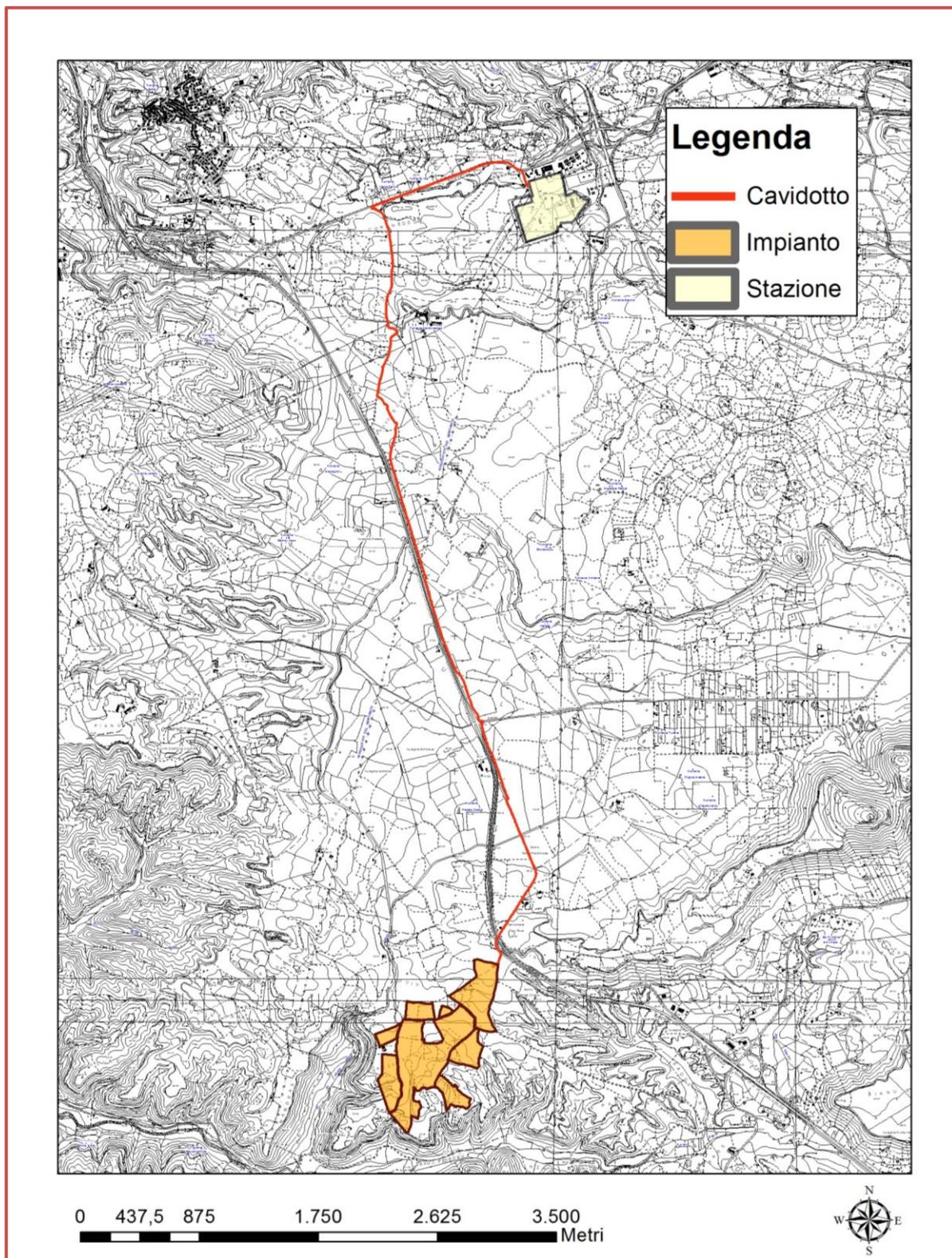


FIGURA 1- Stralcio Carta Tecnica Regionale– n° 460130 "MONTE LISARI", 460140 "ARDARA" e 460090 "PLOGAGHE"

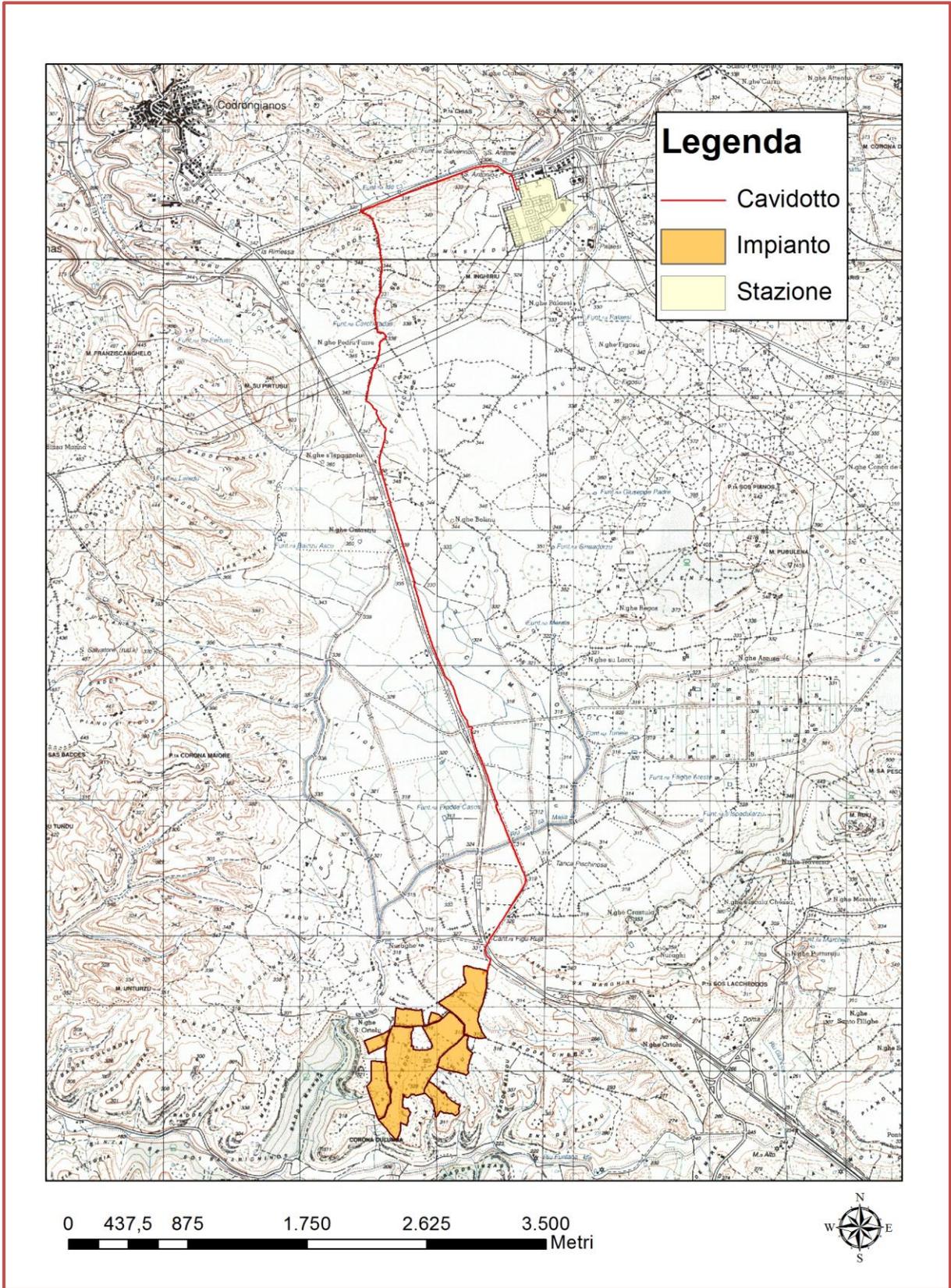


FIGURA 2- Stralcio Carta IGM scala 1:25000 foglio 460 tavoletta III "PLOGHE"



FIGURA 3- Stralcio fotografia aerea dell'area di progetto

L'areale di progetto geograficamente ricade all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- ❖ Foglio IGM scala 1:50000 = 460 "PLOAGHE", 480 "BONORVA";
- ❖ Tavoletta IGM 1:25000 = FOGLIO 460 SEZIONE III "PLOAGHE", FOGLIO 480 SEZIONE IV "THIESI";
- ❖ Carta Tecnica Regionale scala 1:10000 = n° 460090 "PLOAGHE", n° 460130 "CAMPU LASARI", n° 480010 "BANARI".

1.2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'elaborato è redatto ai sensi del DM 17-01-2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

Le NTC 18 definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo di tutti i tipi di costruzione rispetto alle prestazioni richieste in termini di sicurezza, regolare utilizzo e durabilità. Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici deve articolarsi secondo diverse fasi, partendo da una CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO contenuti nella relazione geologica, così come riportato al capitolo 6.2.1 NTC 18.

2. PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'indagine geologica è stata compiuta nel mese di ottobre 2022. La definizione della stessa ha tenuto conto della conoscenza pregressa dei terreni presenti nell'intorno e della tipologia di opere da realizzarsi. Sono state effettuate le seguenti indagini:

- ❖ **Ricerca bibliografica**
- ❖ **Rilevamento geologico di campagna**

2.1.1. RICERCA BIBLIOGRAFICA

La conoscenza geologica – geomorfologica e la realizzazione di una cartografia tematica rappresentativa, costituiscono la base di lavoro del presente studio al fine di definire il modello geologico del sito.

La **carta geolitologica** è stata realizzata in scala 1:20.000 portando a termine una ricerca bibliografica delle carte geologiche esistenti che interessano il territorio in esame, in particolare:

- ❖ La carta litologica 1:25.000 costruita a partire dalla Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 e aggiornamenti successivi derivati dal CARG (CARTografia Geologica - Progetto di realizzazione della cartografia geologica nazionale);
- ❖ Carta geologica 1:50000 Foglio 459 Sassari (progetto CARG).

La **carta geomorfologica** è stata realizzata in scala 1:20.000 prendendo spunto dai seguenti documenti:

- ❖ Carta geomorfologica della Sardegna in scala 1:500.000 (A. Ulzega, 1988).

La **carta idrologica** è stata realizzata in scala 1:25.000 prendendo spunto dai seguenti documenti:

- ❖ strato informativo **04_ELEMENTO_IDRICO.shp** del DBGT_10k_Versione 0.1 (Data Base Geo Topografico 1:10.000) della regione Sardegna.

La **carta di inquadramento del PAI e del PSFF** è stata realizzata in scala 1:30.000 prendendo spunto dai seguenti documenti:

- ❖ Delimitazione delle aree di pericolosità idraulica del PAI estratte da Sardegna geoportale (revisione 59 del 2020);
- ❖ Delimitazione delle aree di pericolosità idraulica del scenari stato attuale del PGRA e del PSFF estratte da Sardegna geoportale (revisione del 2020);
- ❖ Delimitazione delle aree di pericolosità idraulica del PAI estratte da Sardegna geoportale (revisione 42 del 2018);

2.1.2. RILEVAMENTO GEOLOGICO DI CAMPAGNA

La campagna d'indagine ha permesso di definire con maggior dettaglio i limiti tra i litotipi e di osservare sul posto gli affioramenti descritti in bibliografia.

3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

3.1. CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI DELL'AREA VASTA

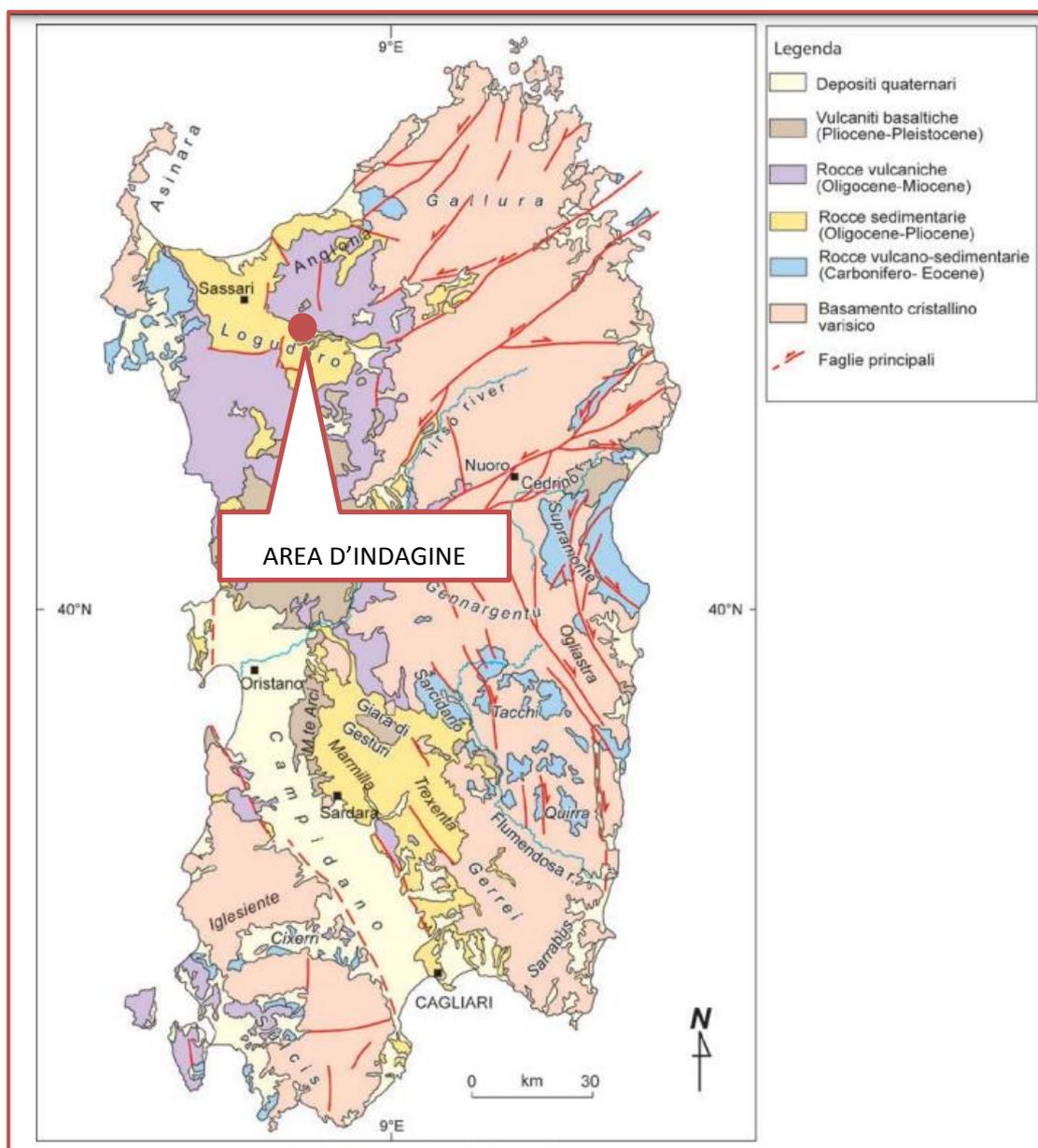


FIGURA 4- Schema geologico semplificato della Sardegna

Il settore di studio si caratterizza da un punto di vista geologico come un'areale di ricoprimento post-ercinico, che interessa un periodo relativamente recente che va dall'epoca oligo-miocenica sino all'Olocene (circa 25 milioni di anni).

Nell'Eocene medio inizia in Sardegna un periodo di grande instabilità tettonica connesso alla formazione del rift sardo.

L'evento del rift sardo comincia e progredisce in più stadi e soprattutto non omogeneamente in tutta la Sardegna; secondo LECCA ET AL. (1997) la sua evoluzione può essere sintetizzata in 3 fasi evolutive:

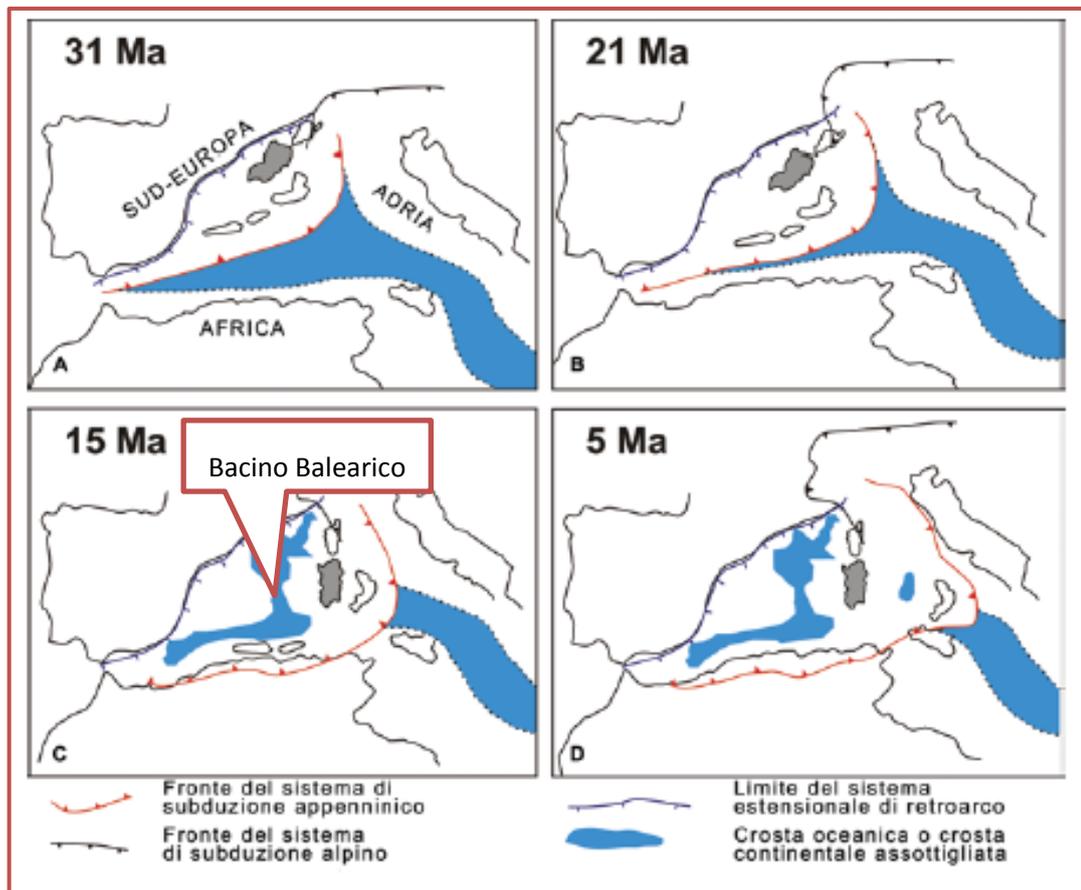


FIGURA 5- Evoluzione geodinamica della Sardegna a partire dall'Oligo-Miocene

1. **Stadio pre-rift** caratterizzato da faglie trascorrenti con componente compressiva durante un regime collisionale (Eocene superiore - Oligocene).
2. **Prima fase del rift** in cui, da una tettonica di trascorrenza a componente compressionale, si passa ad una componente di estensione, spesso di riattivazione di precedenti strutture erciniche. (Aquitaniense - Burdigaliano). A questo stadio viene associata una fase vulcanica esplosiva e una diffusa continentalità, testimoniate da un'importante attività vulcanica, dall'assenza di sedimenti marini, dall'energico ringiovanimento dei rilievi e dalla conseguente deposizione di potenti sequenze sedimentarie [*primo ciclo sedimentario oligo-miocenico*] sia clastiche [conglomerato di Cuccuru e Flores], che di ambiente lacustre ["Lacustre" Auct.].

Nell'area di studio, il primo ciclo sedimentario oligo miocenico è rappresentato dalla **FORMAZIONE DI OPPIA NUOVA**, di ambiente fluvio deltizio.

La successione sedimentaria è contemporanea ad un'importante attività vulcanica calca-alcalina riferibile al Burdigaliano e delineata nel territorio di Ploaghe dal **DISTRETTO VULCANICO DI OSILO-CASTELSARDO** rappresentato da vulcaniti andesitiche e depositi di flusso piroclastico.

3. **Seconda fase del rift** caratterizzata da una condizione di collasso e dell'instaurarsi di una tettonica disgiuntiva collegata alla formazione del fronte del thrust appenninico Sardo – Corso; si assiste all'impostazione di faglie con direttrici ad andamento N - S, concomitante ad un regime di distensione di retroarco sfociato nell'apertura del bacino balearico (BOCCALETTI & GUAZZON, 1973) e di un'importante fossa tettonica che attraversa la Sardegna, nella parte centro occidentale, da Nord a Sud (CHERCHI & MONTADERT, 1982) che ha permesso la deposizione di abbondanti spessori di sedimenti da marini a epicontinentali in particolare nel Nord Sardegna [*secondo ciclo sedimentario oligo-miocenico*], ben rappresentati nell'area indagata dalla **FORMAZIONE DI MORES, FORMAZIONE DI BORUTTA E FORMAZIONE DI FLORINAS**.

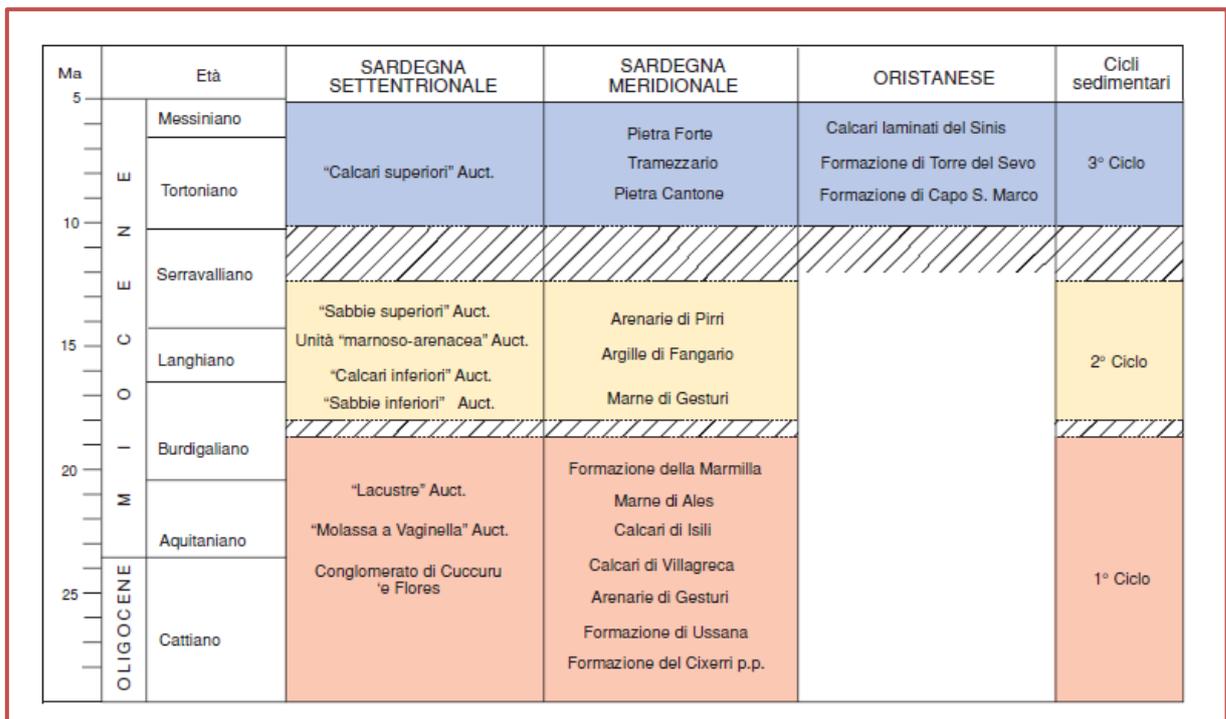


FIGURA 6- Schema delle unità litostatigrafiche dei tre cicli sedimentari oligo-miocenici della Sardegna, estratto da memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, note illustrative della Carta Geologica della Sardegna)

I sedimenti correlati a questa fase tettonica hanno un'età che va dal Burdigaliano superiore al Serravalliano e comprende sabbie alla base, seguite da calcari litorali e da marne di ambiente marino più profondo; tale sequenza poggia con contatto trasgressivo sulle vulcaniti sottostanti ed è interrotta superiormente da una superficie di erosione.

Il **terzo ciclo sedimentario**, che arriva fino al Tortoniano-Messiniano, inizia anch'esso con sabbie di ambiente fluvio-marino e prosegue con calcari bioclastici di piattaforma interna.

Nel bordo orientale del graben si innesta anche il bacino di *pull apart* di Chilivani-Berchidda, legato a zone di taglio trascorrenti NE-SW, associato a strutture (faglie dirette, trascorrenti, inverse e pieghe) coerenti con tale regime deformativo e colmato da prodotti vulcano-sedimentari sintettonici di età compresa tra l'Oligocene medio-superiore e l'Aquitano.

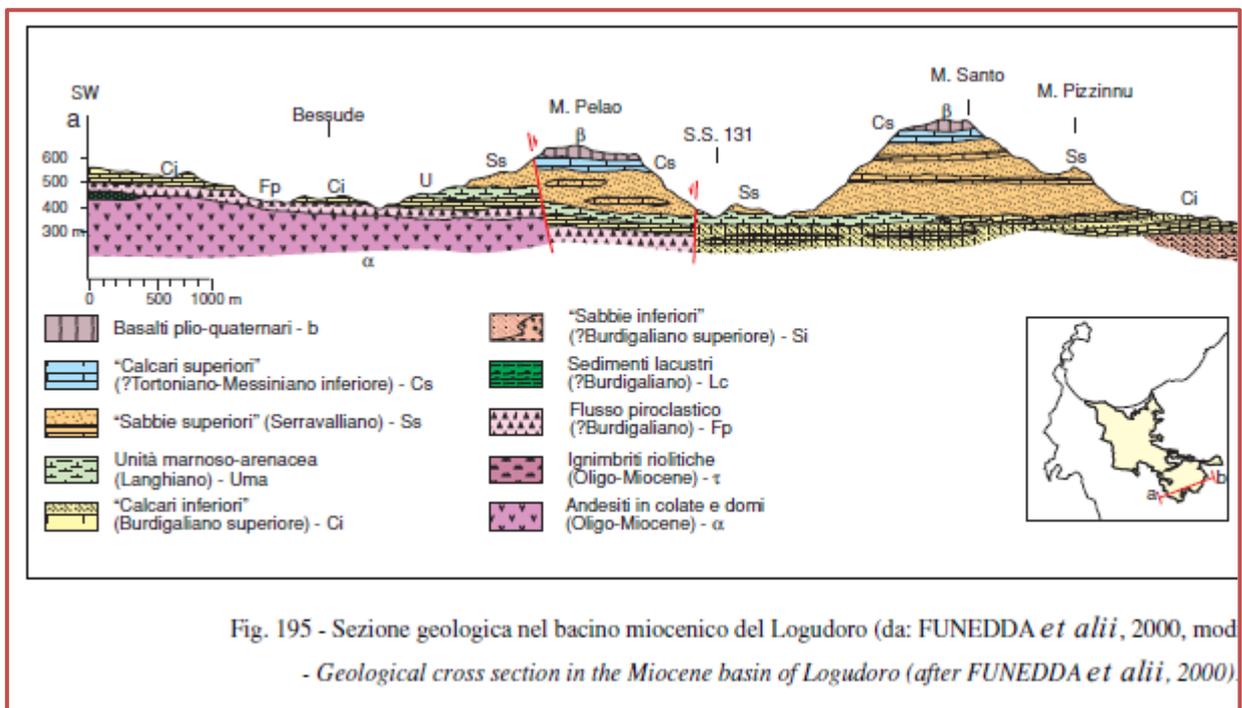


FIGURA 7- Sezione geologica nel acino miocenico del Logudoro, (da FUNEDDA et alii, 2000)

Durante il Pliocene medio, all'interno di una nuova fase tettonica distensiva, si ebbe la formazione del graben campidanese, con direzione Nord/Ovest – Sud/Est e conseguente parziale riattivazione delle faglie oligo-mioceniche lungo il borgo orientale.

La ripresa dell'attività vulcanica plio-pleistocenica è successiva alla trasgressione marina burdigaliano-langhiana, che ha colmato la depressione strutturale oligo-miocenica (Rift sardo Auct.), e concomitante alle strutturazioni ed al vulcanismo intraplacca del bacino tirrenico (SAVELLI, 1984). Secondo i dati paleomagnetici, la Sardegna in questo periodo aveva ormai raggiunto l'attuale posizione rispetto al

marginale continentale europeo (DE JONG et alii, 1969; CARG1973; MANZONI et alii, 1972; ALVAREZ et alii, 1974; COULON et alii, 1974). Il vulcanismo plio-pleistocenico è ben rappresentato in tutta l'area di studio dai **BASALTI DEL LOGUDORO** nelle **SUB-UNITÀ DI MONTE RUJU** E **SUB-UNITÀ DI SOS PIANOS**.

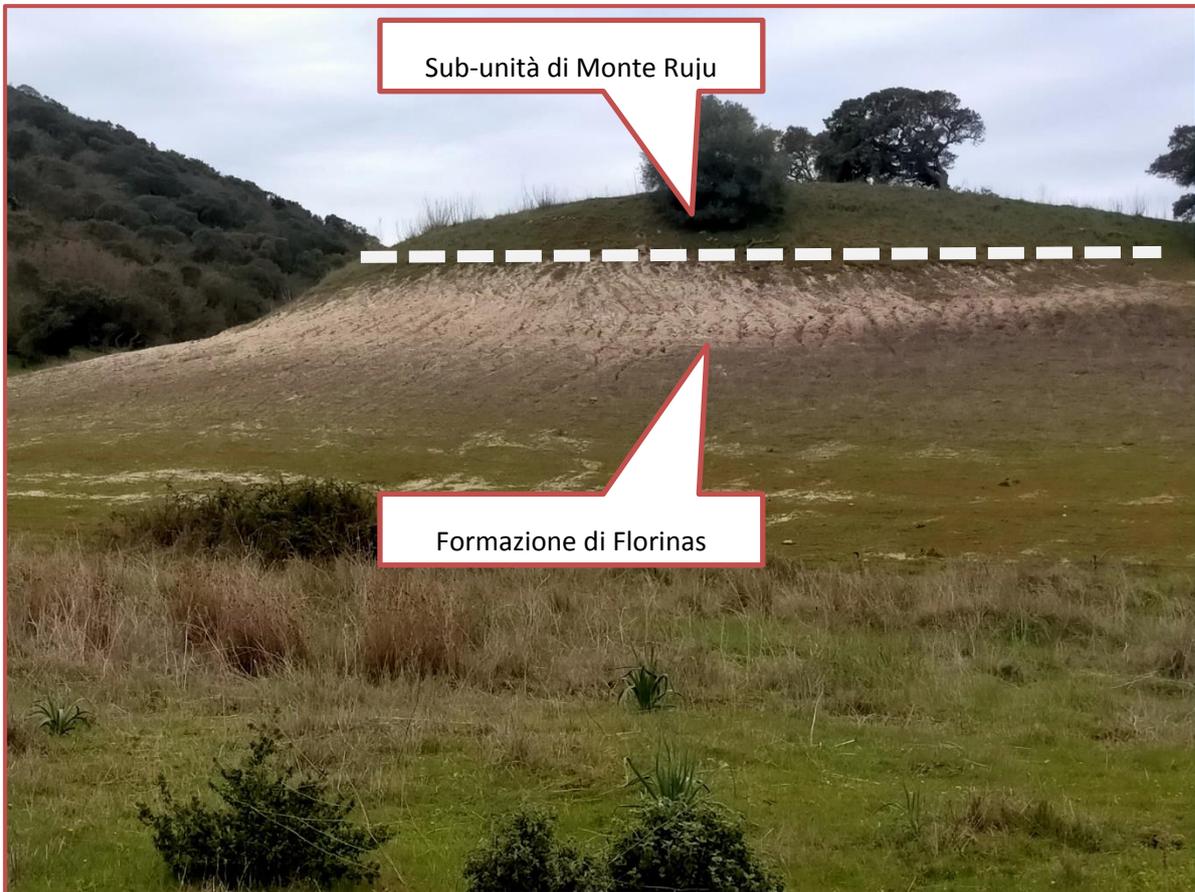


FIGURA 8- Monte Ruju: contatto stratigrafico tra la formazione di Florinas e la sub-unità di Monte Ruju

I processi erosivi di modellamento dei versanti pliocenici hanno dato origine alle coltri di ricoprimento quaternarie, localmente rappresentate da dei **corpi di frana** ubicati alla base delle colate laviche e da una **coltre eluvio-colluviale** su cui si è impostato il **suolo**.

Nell'ambito di tale quadro geodinamico si inseriscono le formazioni geologiche presenti nel territorio studiato e descritte nel capitolo 3.2.

3.2. CARATTERI STRATIGRAFICI

Di seguito sono schematicamente descritte, dalle più antiche alle più recenti, le principali formazioni geologiche presenti nell'area facendo riferimento alla successione stratigrafica codificata dalla RAS (Luglio 2008):

SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA

Le litologie appartenenti a tale successione sono da ricollegare alla fase di rifting, che ha generato l'ampia depressione nota in letteratura come Fossa Sarda (Cerchi & Montadert 1982) e durante la quale si sono messe in posto potenti coltri di ricoprimento del bacino comprendenti termini sia di ambiente continentale (fluviale e lacustre) che di ambiente marino: i primi sono rappresentati prevalentemente da arenarie, sabbie, conglomerati, siltiti e marne, ma anche tufiti e tufi; i secondi sono rappresentati prevalentemente da termini calcareo-calcarenitici.

Primo ciclo sedimentario oligo miocenico

Tale successione è presente nell'area studiata con i termini di ambiente continentale della **FORMAZIONE DI OPPIA NUOVA (BURDIGALIANO)**, costituita dai prodotti granulari di origine continentale riconducibili al bacino fluvio deltizio impostatosi nel half-graben di Chilivani. Si tratta di depositi del Burdigaliano medio che chiudono l'ultima fase del ***primo ciclo sedimentario oligo miocenico*** e precedono la trasgressione del Burdigaliano superiore (secondo ciclo). E' costituita da arenarie e depositi conglomeratici in matrice sabbiosa e argillosa, massivi o con strutture tipo cut-and-fill (FUNEDDA et alii, 2003); localmente prevalgono depositi limoso-argillosi senza evidenze di stratificazione. I ciottoli, in genere ben elaborati, di dimensioni sino a decimetriche, sono rappresentati soprattutto da calcari della serie mesozoica della Nurra e da vulcaniti terziarie, con evidenti apporti dai quadranti occidentali. Il letto della formazione è costituito da calcari mesozoici o da ignimbriti burdigaliane, mentre a tetto è presente la Formazione di Mores. L'ambiente di sedimentazione è da ricollegare ad una vasta conoide alluvionale con canali intrecciati tipo braided.



FIGURA 9- Affioramento della Formazione di Oppia Nuova lungo la SP68

Secondo ciclo sedimentario oligo miocenico

- ❖ **FORMAZIONE DI MORES (RES) (“sabbie e calcari inferiori”) BURDIGALIANO SUP.**– Nel Sassarese è la formazione miocenica che affiora con maggiori estensioni ed una notevole varietà di facies in relazione ai diversi contesti deposizionali che accompagnano l’evoluzione del bacino di sedimentazione (Rift sardo). La litofacies **RESa** è costituita da biocalcareniti e calcari bioclastici a banchi di ostree ed altri bivalvi, ed echinidi (*Amphiope*, *Scutella*, *Clypeaster*), spesso con evidenti clinostratificazioni, più raramente si vedono strutture tipo dune sottomarine come ad esempio a Badde Mulinu presso Ponte Zunchi . La litofacies **RESb** è prevalentemente costituita da conglomerati, con ciottoli e ghiaie silicoclastiche, con cemento carbonatico da abbondante a scarso; i clasti, in genere ben arrotondati, presentano dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche talvolta decimetriche, e sono principalmente costituiti da quarzo e localmente da vulcaniti terziarie e rocce del basamento paleozoico.



FIGURA 10- Affioramento delle calcareniti della Formazione di Mores

❖ **FORMAZIONE DI BORUTTA (RTU) (“unità marnoso arenacea”) LANGHIANO-** In base all’associazione faunistica, l’ambiente deposizionale è da riferire alla piattaforma esterna. Gli spessori in affioramento poggiano sulla Formazione di Mores e possono superare i 100 m.

Nella parte alta sono presenti anche livelli più francamente carbonatici; negli strati marnosi si osservano talvolta nuclei più compatti e duri che presumibilmente rappresentano prodotti da diagenesi differenziata. Le facies più arenacee contengono elementi di quarzo e muscovite e sono molto ricche in bioturbazioni, sia sui singoli piani di strato che ortogonalmente a questi. Il contenuto fossilifero è abbondante ed è rappresentato soprattutto da echinidi (*Opissaster* sp., *Echinometra* sp., *Spatangus* sp., *Schizaster* sp.) in prevalenza spatangoidi, bivalvi (*Chlamys* e *Amusium*), gasteropodi (*Conus* sp.), pteropodi, foraminiferi planctonici e ostracodi. Verso l’alto si passa alle arenarie quarzoso-feldspatiche della formazione di Florinas (M. Mannu, Scala di Giocca), o direttamente ai calcari della formazione di Monte Santo come evidente nell’area tra Tissi, Ossi e Usini. In base al nannoplancton calcareo della zona a *Sphenolithus heteromorphus* - *Helicosphaera ampliapertura*, MAZZEI & OGGIANO (1990) riconoscono il

Langhiano basale e probabilmente il Burdigaliano superiore nell'area di Florinas. La datazione è confermata da FRANCOLINI (1994) che individua nelle marne e nelle marne arenacee presso Sennori, il Langhiano basale (parte basale della zona a *Sphenolithus heteromorphus*) e forse il Burdigaliano superiore (parte superiore della zona a *Sphenolithus heteromorphus* - *Helicospaera ampliapertura*).

- ❖ **FORMAZIONE DI FLORINAS (LNS) ("sabbie superiori") SERRAVALIANO** – Poggia sulle marne della formazione di Borutta (RTU) ed è ricoperta in concordanza, talora con passaggi eteropici, dalla formazione di Monte Santo (NST). Presenta uno spessore variabile che può raggiungere 80 m.

Si tratta principalmente di arenarie silicee di colore bianco, da poco a nulla cementate, con siltiti scure alla base, di ambiente fluvio marino (**LNSa**). La composizione mineralogica di queste sabbie è formata esclusivamente da quarzo, feldspato potassico e da una matrice caolinica derivata probabilmente dall'alterazione dei feldspati in clima caldo ed in ambiente ben drenato. I clasti sono generalmente rappresentati da granuli monofasici con rare inclusioni. Per questi motivi questi depositi sono coltivati come materia prima per l'industria vetraria e ceramica.

Come le sabbie della formazione di Oppia Nuova, anche queste sono prive di fossili; solamente nelle porzioni sommitali dei depositi nelle sabbie si intercalano strati decimetrici di microconglomerati a cemento carbonatico (**LNSb**) in cui si rinvencono tracce di fossili e di bioturbazione.

Terzo ciclo sedimentario oligo miocenico

Non si registrano affioramenti afferenti al terzo ciclo sedimentario oligo-miocenico.

BASALTI DEL LOGUDORO

I caratteri giacitureali dell'UNITÀ **DEI BASALTI DEL LOGUDORO (PLIO-PLEISTOCENE)** riflettono un'attività essenzialmente fessurale, legata a direttrici tettoniche con orientazione submeridiana, lungo le quali si allineano colate di piccole dimensioni associate a modesti edifici isolati (Monte Pubulena, Punta Sos Pianos).

Le vulcaniti di questo ciclo affiorano nella porzione centrale (SUB-UNITÀ DI SOS PIANOS) e meridionale (SUB-UNITÀ DI MONTE RUJU) dell'area indagata.

- ❖ La **SUB-UNITÀ DI SOS PIANOS (BGD6)** è costituita da basalti alcalini generalmente olocristallini, debolmente porfirici per fenocristalli di olivina, plagioclasti e pirosseni con xenoliti quarzosi.



FIGURA 11- Basalti del Logudoro, affioramento della sub-unità di Sos Pianos

- ❖ La **SUBUNITÀ DI MONTE RUJU (BGD3)** è rappresentata da basalti alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, frequenti xenocristalli di Opx e rari xenoliti quarzosi a struttura granoblastica.



FIGURA 12- Basalti del Logudoro, affioramento della sub-unità di Monte Ruju

DEPOSITI DELL'AREA CONTINENTALE

Le coperture quaternarie recenti, che ricoprono i substrati più antichi, comprendono i depositi legati alla gravità sviluppati nei fondovalle secondari e nelle aree pianeggianti:

- a) **DEPOSITI DI FRANA (A1) (OLOCENE)**– Si tratta principalmente di scoscendimenti che riguardano le sabbie della Formazione di Florinas, messa a nudo dall'erosione delle coperture basaltiche
- b) **COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI (b2) (OLOCENE)**- Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. L'elevata presenza della frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. Il locale rinvenimento di frammenti di resti ceramici al loro interno conferma questa attribuzione. Lo spessore in genere esiguo, di solito inferiore al metro, localmente può arrivare fino a qualche metro.



FIGURA 13- Depositi colluviali su cui si è impostato un suolo (loc. Riu Resa)

3.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area occupa una porzione del Logudoro di Sassari e presenta una morfologia collinare articolata, le cui quote più elevate si raggiungono negli edifici vulcanici di Monte Ruju (536 m), Monte Sa Pescia (500 m), Monte Pubulena (459 m) e Punta Sos Pianos (442 m).

Questi rilievi rappresentano dei centri di emissione messi in posto a seguito della tettonica distensiva plio-pleistocenica, ascrivibili a un ciclo effusivo verificatosi negli ultimi 3 milioni di anni e poggianti sui depositi sedimentari dell'oligo-miocene. Il **M.te Ruju** e il **M.te Pescia** fanno parte di un unico condotto vulcanico che ha dato luogo a 2 distinte effusioni, che oggi si mostrano separate probabilmente a causa di una faglia o a causa di erosione differenziale dovuta alla differente resistenza delle rocce vulcaniche. Il progressivo disfacimento degli edifici vulcanici ha messo infatti in risalto il contrasto di forme dovuto dalla diversa resistenza delle litologie. I terreni incoerenti vengono rapidamente asportati dagli agenti esogeni dando rilievo alle masse laviche seppellite all'interno dei cono vulcanici. Nella sommità del Monte Pubulena, isolata dall'erosione, si osserva la lava di un **condotto vulcanico emergente (Nek)**; allo stesso modo, lungo il versante si può osservare la lava di un **filone sub-orizzontale (dicco)**, in rilievo come il rudere di un muro.

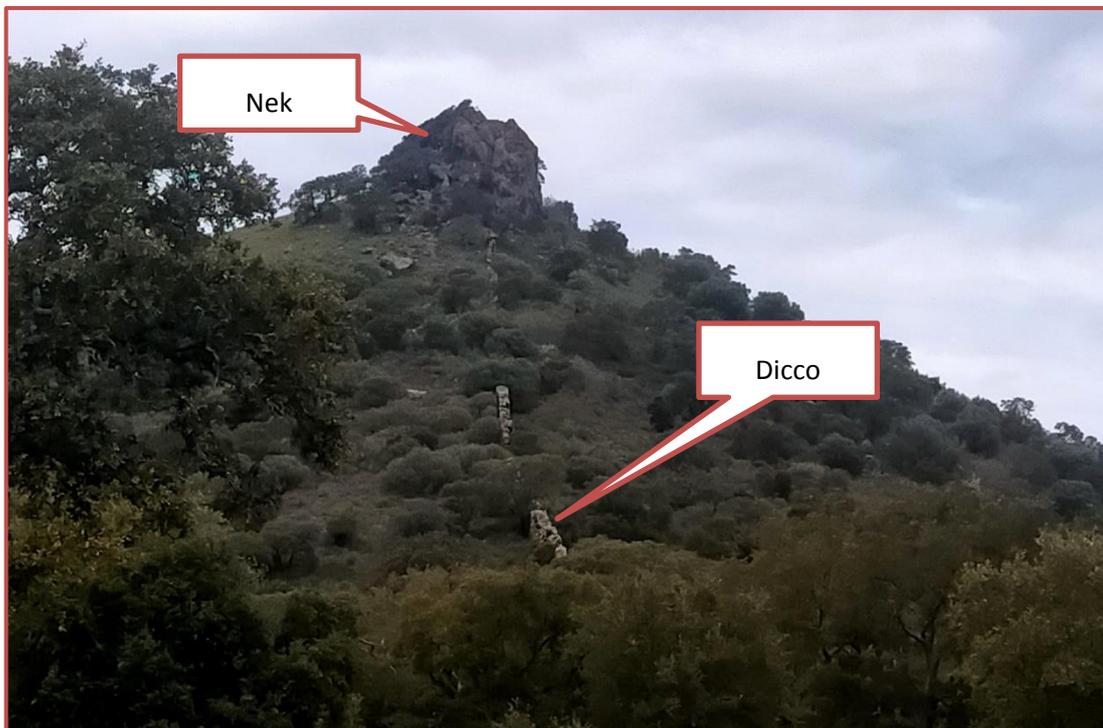


Figura 14 - Edificio Vulcanico di Monte Pubulena che si erge sulla piana dei depositi sedimentari oligo-miocenici

L'attività fessurale dei basalti del Logudoro è ben evidente nel settore meridionale e centrale dell'area d'indagine; essa corrisponde alla superficie deposizionale delle colate e costituisce i resti dell'antico

fondo vallivo al cui interno si era incanalata la colata basaltica. Si tratta di un classico esempio di **inversione del rilievo**, che com'è noto, ha giocato un ruolo chiave nel modellare la topografia delle regioni vulcaniche in tutta la Sardegna (es. Funedda et al., 2000; Duncan et al., 2011; Deiana et al., 2015). Essa confermerebbe non solo i fenomeni di sollevamento in atto ma anche la velocità dei processi di incisione durante il Pleistocene medio e superiore.

Nel caso di **P.ta Sos Pianos**, l'età recente della colata (0,14 Ma) fa sì che l'inversione di rilievo sia soprattutto visibile in prossimità del condotto effusivo. Più a sud nell'intorno di M.te Ruju e il M.te Pescia le colate assumono un andamento allungato secondo la morfologia delle valli preesistenti.

I plateaux sono caratterizzati da una tipica **piattaforma strutturale** continua leggermente ondulata, generata dalla sovrapposizione delle colate basaltiche, talora resa evidente dalla presenza di gradini morfologici nelle aree incise dai corsi d'acqua, che hanno fissato le forme planari preesistenti preservandone l'erosione.

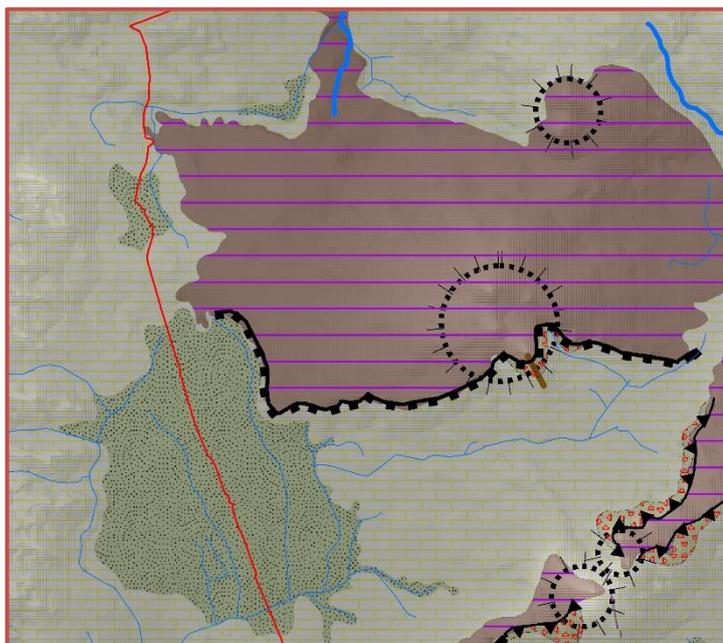


FIGURA 15 - Le aree marroni con le strisce viola indicano le piattaforme strutturali delle colate basaltiche, resti dell'antico fondo vallivo in cui si sono incanalate le colate, ora in rilievo. Il gradino morfologico al margine dell'altopiano basaltico è il risultato di un'inversione di rilievo tra strati più facilmente erodibili e le più resistenti litologie basaltiche. I cerchi neri indicano i centri di emissione.



FIGURA 16 – Piattaforma strutturale dei basalti del Logudoro

I gradini morfologici sono ben visibili nella carta delle pendenze di figura 15; ad una geometria nel complesso sub pianeggiante, con pendenze inferiori ai 10 %, si interpongono diverse aree ad elevata pendenza, con valori compresi tra il 20÷50%.



FIGURA 17 – immagine scattata dalla strada sita in località "Scala di Frisciu"

Oltre alla rottura di pendio dei tavolati basaltici, nel settore meridionale dell'area, si rilevano elevate acclività originate dall'azione erosiva del **ruscellamento superficiale diffuso e concentrato**.

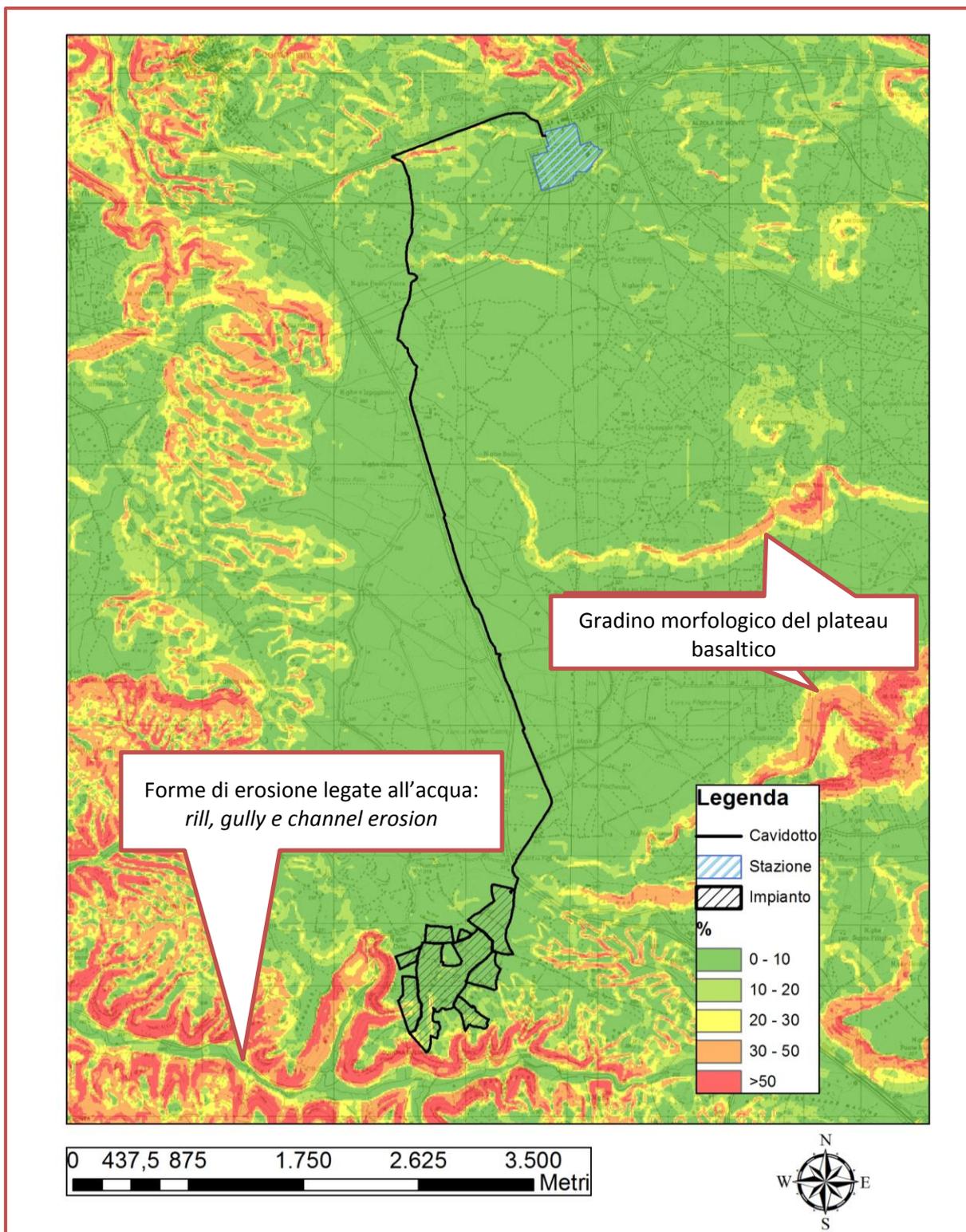
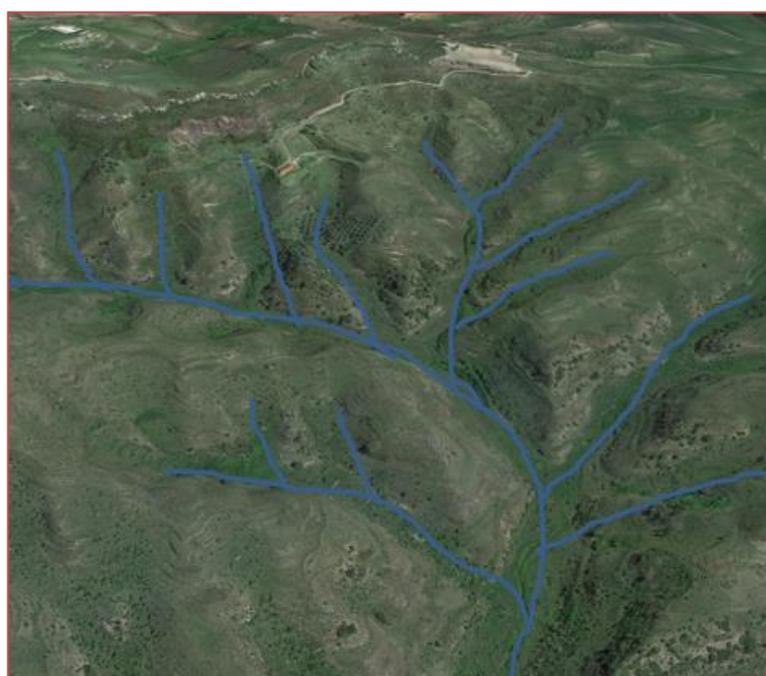
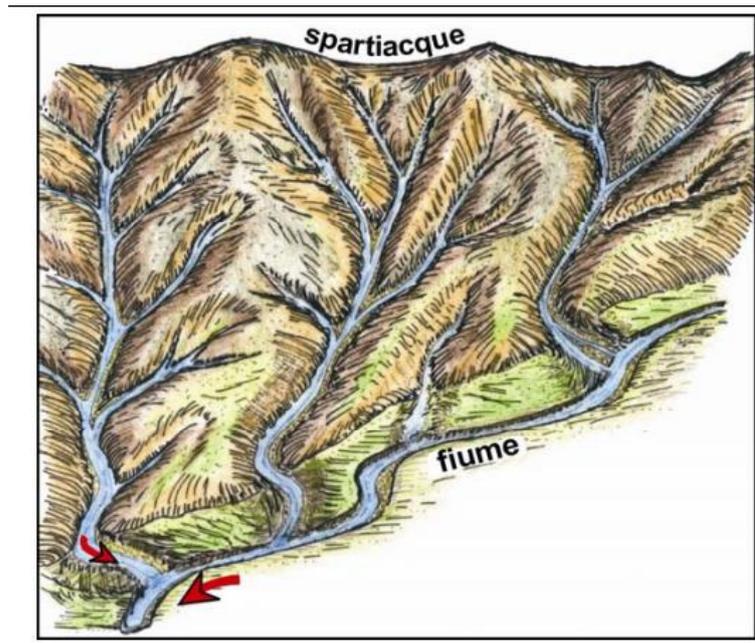


FIGURA 18 – Carta delle pendenze

Da quanto osservato si desume che i **processi morfogenetici dominanti sono quelli di degradazione meteorica per azione dell'acqua**. I processi erosivi sono ben evidenti nel reticolo idrografico del Rio Fontana, ubicato a sud rispetto all'impianto.

In quest'area, la demolizione progressiva delle successioni sedimentarie oligo-mioceniche ha consentito l'affioramento e l'osservazione in **finestra tettonica** dei più antichi depositi piroclastici del Burdigaliano appartenenti all'unità di Monte Sa Silva.

FIGURA 19 - Rappresentazione grafica del reticolo idrografico del Rio Fontana: i processi erosivi legati al distacco e trasporto di frammenti di terreno da parte dell'acqua, formano dei rivoli, dei solchi e dei canali che nel loro insieme formano il reticolo idrografico



In quest'area, l'azione della pioggia battente (*splash erosion*) e il ruscellamento diffuso (*sheet erosion*) causano distacco e trasporto del materiale di copertura, perlopiù di suolo e di coltri eluviali oloceniche, dando luogo a trasporto e accumulo a valle. In questo tipo di processo il terreno risulta coperto da una lama d'acqua con conseguente erosione areale accentuata.

Nei settori a maggiore acclività, l'acqua che scorre sulla superficie del suolo si concentra su piccoli canali con profondità inferiore ai 30 cm (*rill erosion*) provocando un tasso di perdita di suolo più elevato rispetto al deflusso laminare.



FIGURA 20 – erosione concentrata in rivoli

Sui pendii si formano aperture verticali che presto si trasformano in «tunnel» o grossi solchi di erosione (*Gully erosion*) sino a divenire dei veri e propri canali (*channel erosion*).



FIGURA 21 – erosione concentrata in solchi

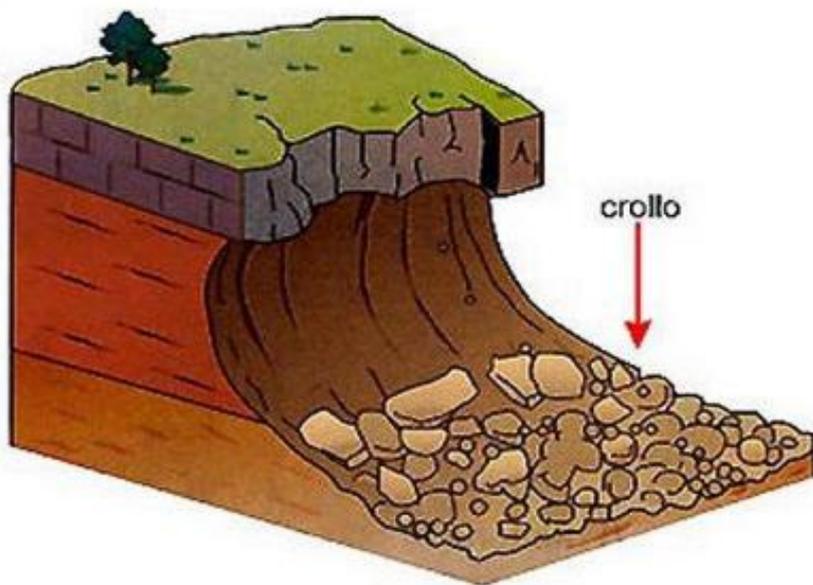


FIGURA 22 – Canali di erosione

La successione litostratigrafica rappresenta un fattore predisponente per le frane; in tutta l'area infatti si può osservare la cornice generata al contatto tra i basalti del Logudoro e le formazioni sedimentarie oligo-mioceniche. Le stesse differenze litologiche tra le calcareniti della Formazione di Mores e le più facilmente erodibili sabbie della Formazione di Florinas hanno favorito la genesi e lo sviluppo di fenomeni franosi per **frane di crollo e di scorrimento**.

È tuttavia importante sottolineare che le aree di progetto non sono interessate da queste dinamiche.

FIGURA 23 - Rappresentazione grafica di una frana di crollo, raffrontata ai crolli presenti nell'area del Rio Fontana



Il distacco delle sabbie della Formazione di Florinas comporta uno scalzamento alla base del contatto con le calcareniti, che sono quindi indotte a dare luogo a **frane di crollo e di ribaltamento**, con rotolamento di blocchi e arretramento della cornice.

Nel tavolato dove si trovano il Monte Ruju e il Monte Sa Pescia, laddove affiora la formazione di Florinas, costituita perlopiù da sabbie poco o nulla cementate, si osservano delle **frane di scorrimento**, in cui è ben distinguibile il coronamento con la scarpata principale e il terrazzo di frana. I fattori scatenanti sono per certo riconducibili alle precipitazioni atmosferiche, che saturano le sabbie, comportando un aumento del peso di volume, un incremento delle pressioni neutre e un superamento della resistenza al taglio che porta al superamento delle forze resistenti e alla rottura del terreno. Nei terreni incoerenti si possono altresì generare delle **frane di colamento**.

Tra i processi erosivi non sono da trascurare i processi di degradazione chimica, ascrivibili all'**idrolisi dei silicati** sulla porzione corticale del basalto: gli ioni H^+ e OH^- contenuti nell'acqua piovana, attaccano i silicati della roccia portando, quale prodotto dell'alterazione, alla formazione di minerali argillosi (Al, Si) e ossidi di ferro.

Da evidenziare anche l'**azione di muschi e licheni**: essi riescono con le proprie radici a penetrare nella roccia rilasciando sostanze organiche di decomposizione legate alle normali funzioni vitali (acidi umici) dando luogo a processi di degradazione chimica.



FIGURA 24 – Stralcio Carta geomorfologica in cui sono rappresentati i depositi colluviali

Più in generale, i processi di disfacimento meteorico hanno dato luogo all'**accumulo** di un'estesa **coltre colluviale** ubicata nel settore centrale dell'area, attraversata dal cavidotto.



FIGURA 25 – Accumulo colluviale

Lo studio geomorfologico di dettaglio è stato integrato dall'analisi delle informazioni fornite dagli strumenti di pianificazione noti. Essi riguardano:

- ❖ Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, è stato approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006.
- ❖ Piano Stralcio Fasce fluviali, DELIBERAZIONE n° 1 del 20.06.2013.

Dalla carta di figura 21 si osserva che sia l'impianto che il cavidotto non sono ubicati in aree a pericolosità geomorfologica.

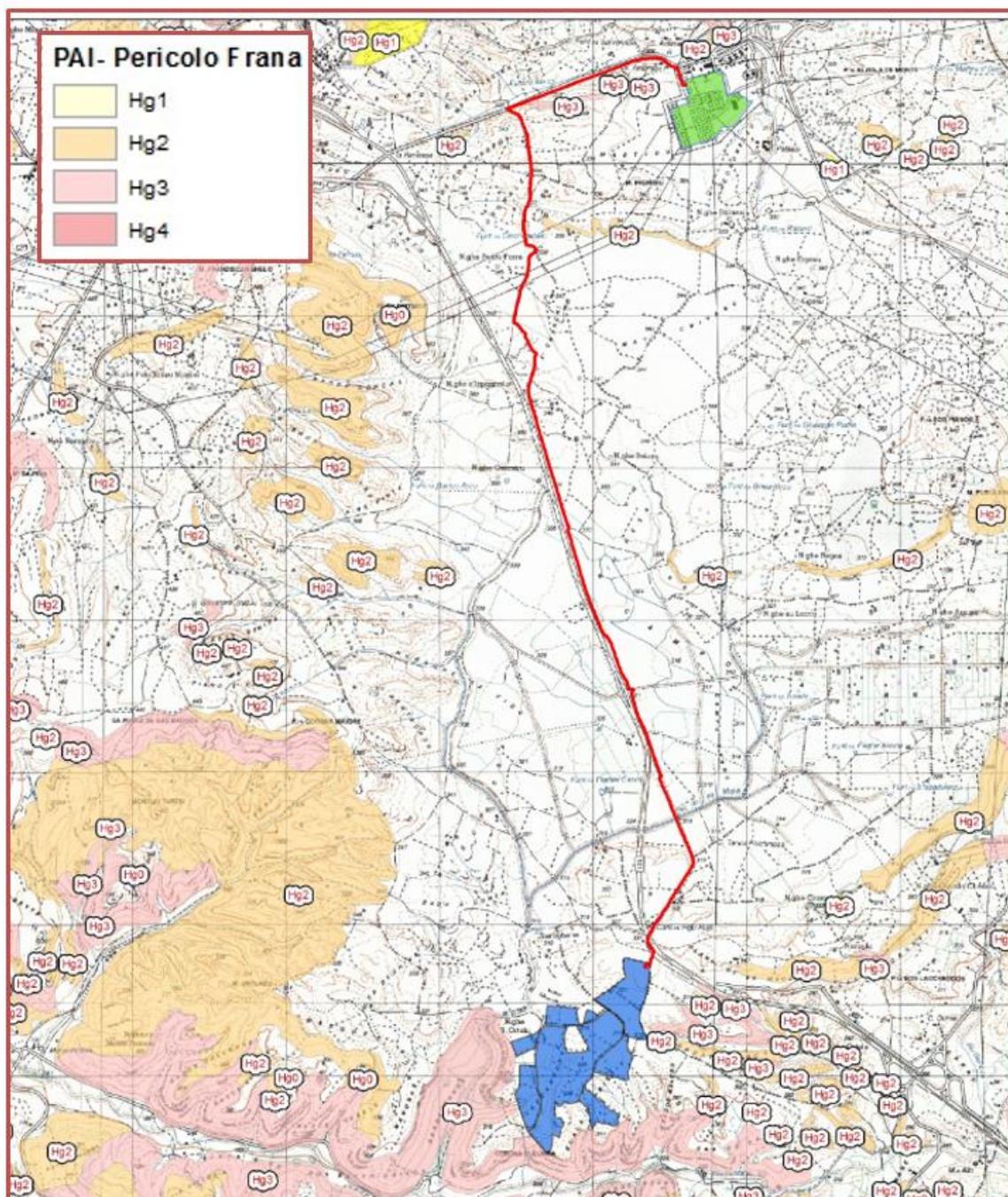


FIGURA 26 – Carta della pericolosità geologica e geotecnica PAI

Le opere in progetto non intersecano aree a pericolosità idraulica.

Secondo quanto disposto dall'art. 30ter delle norme di attuazione del PAI, per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale di cui all'articolo 30 quater, per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

TABELLA 1 – Ordine gerarchico e fascia di prima Salvaguardia

Con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 30.07.2015 per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e delle relative Direttive, è stato identificato quale reticolo idrografico di riferimento per l'intero territorio regionale l'insieme degli elementi idrici contenuti nell'ultimo aggiornamento dello strato informativo **04_ELEMENTO_IDRICO.shp** del DBGT_10k_Versione 0.1 (Data Base Geo Topografico 1:10.000).

Lo shape file fornito dalla regione identifica diversi impluvi non studiati dal PAI che attraversano l'area impianti, con ordine gerarchico 1 e con fascia di prima salvaguardia (Hi4) pari a 10 m su entrambi i lati.

All'interno delle aree di prima salvaguardia non saranno ubicati impianti fotovoltaici.

Il cavidotto interseca altresì un corso d'acqua di ordine 3 con fascia di prima salvaguardia (Hi4) pari a 50 m e un corso d'acqua di ordine 1 (figura 27).

Nelle aree **Hi4** le norme di attuazione stabiliscono una verifica della coerenza del progetto con le finalità del PAI indicate nell'art. 23 comma 6 lettera B *(Gli interventi, le opere e le attività ammissibili nelle aree di pericolosità idrogeologica molto elevata, elevata e media sono effettivamente realizzabili soltanto subordinatamente alla presentazione, alla valutazione positiva e all'approvazione dello studio di compatibilità idraulica o geologica e geotecnica di cui agli articoli 24 e 25, nei casi in cui lo studio è espressamente richiesto dai rispettivi articoli prima del provvedimento di approvazione del progetto, tenuto conto dei principi di cui al comma 9)*, attraverso uno studio di compatibilità idraulica disciplinato dall'art.24 e redatto secondo i contenuti indicati nell'ALLEGATO E delle norme di attuazione (per le aree in Hi4).

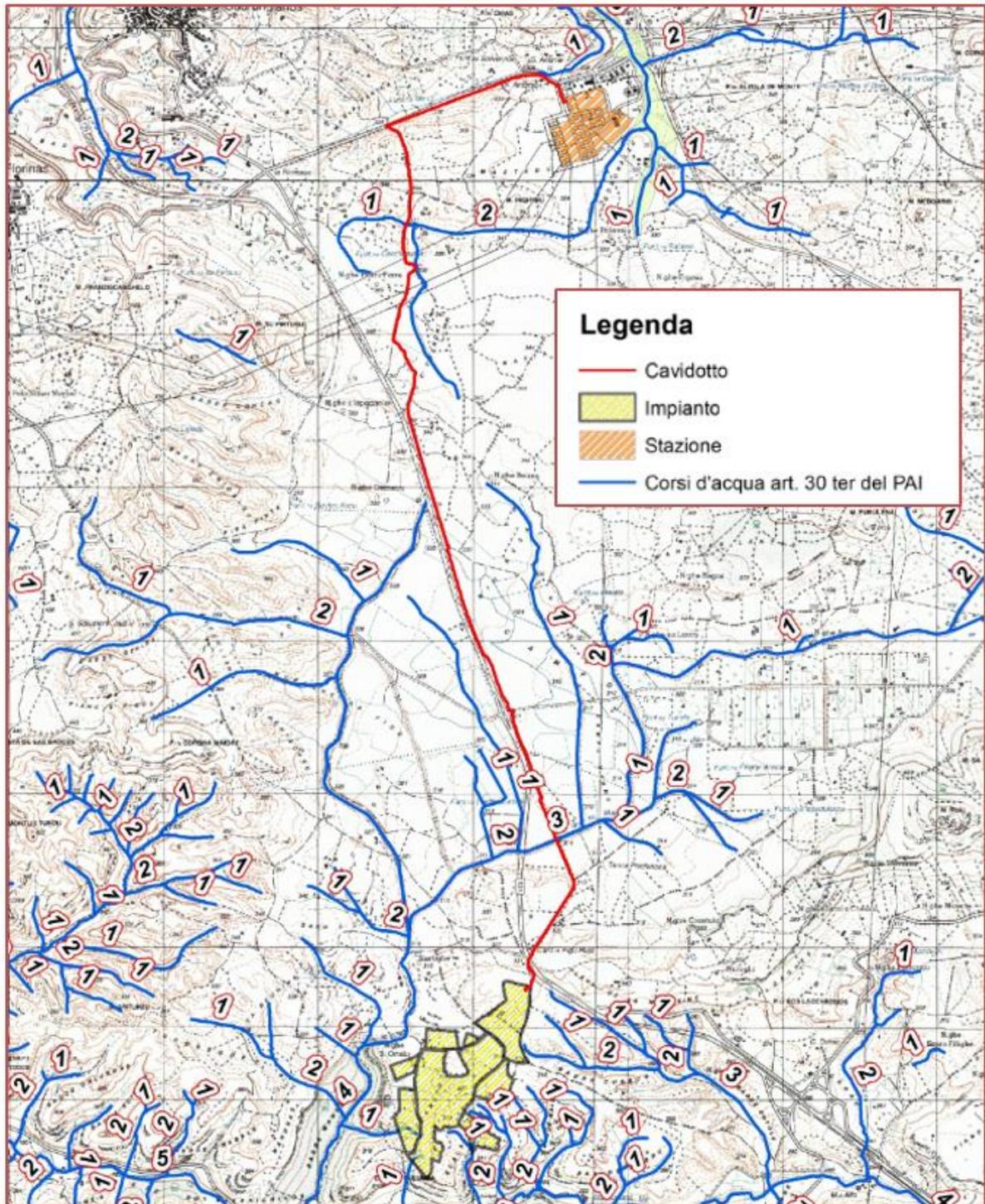


FIGURA 27 – Stralcio dello strato informativo 04_ELEMENTO_IDRICO.shp che identifica la rete idrografica regionale

Tuttavia, per quanto concerne gli **attraversamenti trasversali del cavidotto** è bene precisare che le norme tecniche del PAI all'art. 21 comma 2 lettera c prevedono l'attraversamento degli alvei naturali ed artificiali e delle aree di pertinenza da parte di condotte in sotterraneo a profondità compatibile con la dinamica fluviale, con la condizione che tra fondo alveo e estradosso della condotta ci sia almeno un

metro di ricoprimento. Per tali attraversamenti in sub-alveo non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme e il soggetto attuatore è tenuto a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese le condotte qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

Ciò è ribadito dall'art. 27 comma 3 lettera g secondo cui sono ammesse esclusivamente.... le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.

3.4. CARATTERI IDROLOGICI

L'idrografia superficiale è contraddistinta da corsi d'acqua che hanno un bacino idrografico assai più esteso dell'areale di studio, identificati all'interno del **bacino del Mannu di Porto Torres** (RAS, PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE - PIANO STRALCIO DI SETTORE DEL PIANO DI BACINO-LINEE GENERALI, 2000).

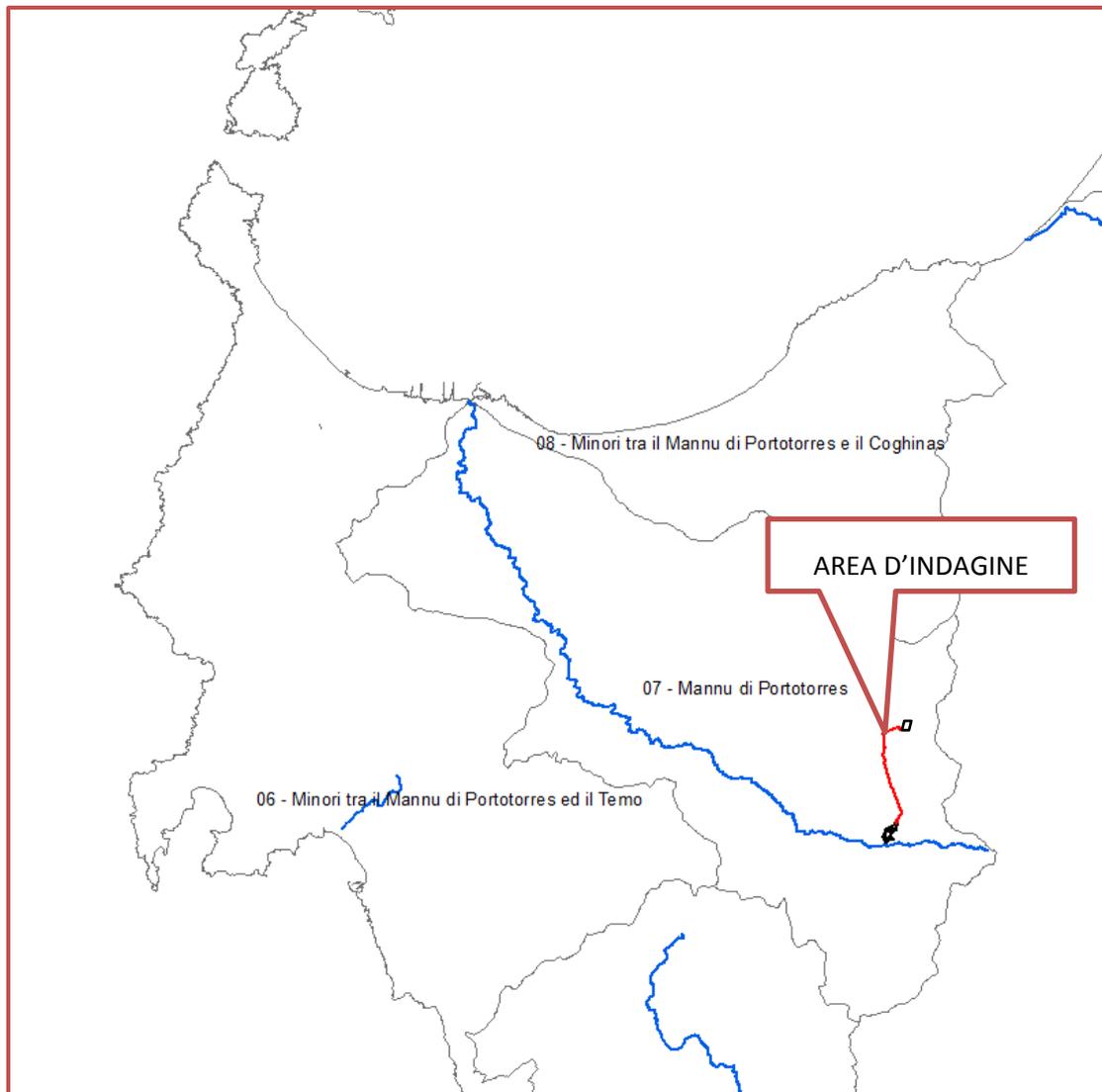


FIGURA 28 – Stralcio bacini idrografici della Sardegna settentrionale

Come descritto nella sezione di geomorfologia il pattern di drenaggio si presenta da sub-dendritico a sud a radiale al centro.

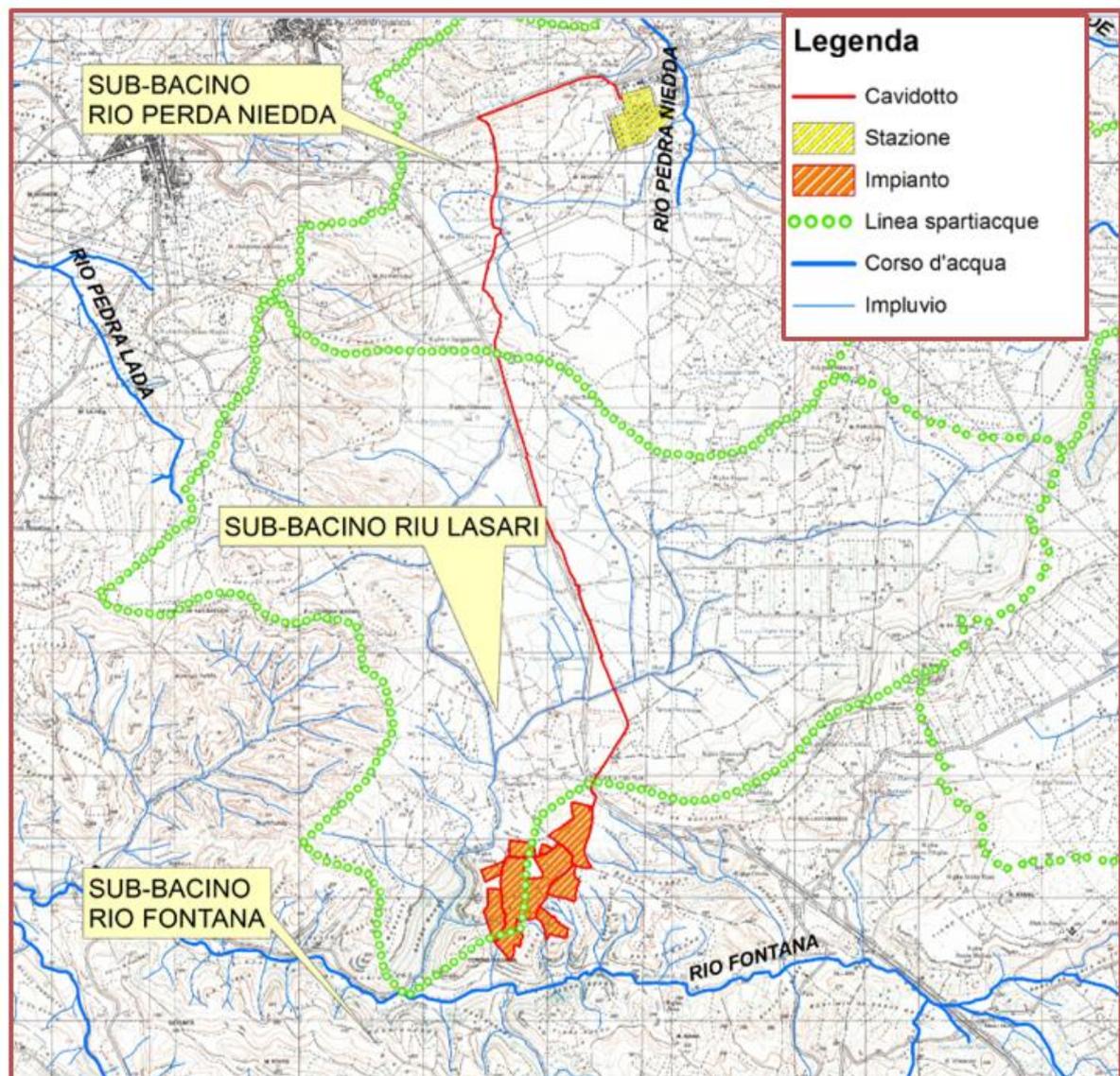


FIGURA 29 – Suddivisione dell'area d'indagine nei sub-bacini imbriferi di riferimento

Nel dettaglio si distinguono 4 bacini imbriferi minori socchiusi immediatamente a valle dell'area di progetto:

- ❖ Il sub-bacino del Rio Perda Niedda, di 14,90 km² che interessa la porzione nord;
- ❖ Il sub-bacino del Rio Congiari, di 6,20 km² che interessa la porzione orientale;
- ❖ Il sub-bacino del Rio Lasari, di 20,40 km² che interessa la porzione meridionale.
- ❖ Il sub-bacino del Rio Fontana, di 33,08 km² che interessa la porzione meridionale.

Questi corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio con portate generalmente limitate o nulle e piene violente ed improvvise in occasione di precipitazioni intense che avvengono con una frequenza abbastanza ravvicinata.

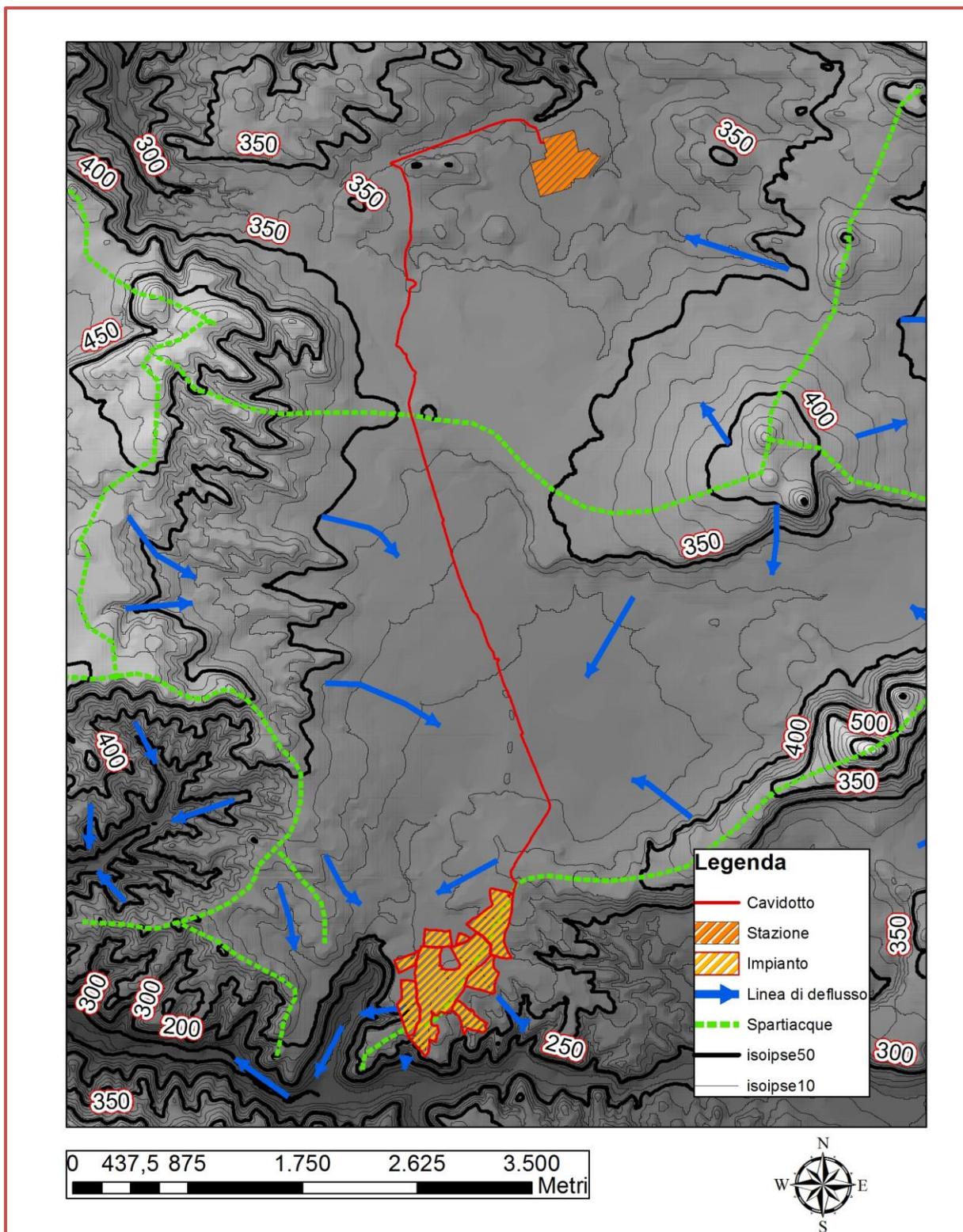


FIGURA 30 – Modello digitale del terreno con rappresentate le direzioni di flusso del ruscellamento superficiale

Il modello digitale del terreno (FIGURA 30), mostra che i centri eruttivi sono intercettati dalla linea spartiacque, il che suggerisce che la geometria della rete di drenaggio si sia sviluppata in risposta alla variazione topografica causata dalle effusioni magmatiche.

Nell'intorno all'edificio vulcanico di Punta Sos Pianos-M.te Pubulena si è sviluppato un pattern di drenaggio radiale, mentre nell'intorno al tavolato dove sorgerà l'impianto agrivoltaico, si osservano 2 reticoli idrografici con pattern sub-dendritico e convergenti verso il Rio Lasari (settore nord) e verso il Rio Fontana (settore sud).

3.5. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area in studio sono presenti 2 unità acquifere:

- ❖ L'unità **Acquifera delle sedimentaria terziaria;**
- ❖ L'unità **Acquifera delle vulcaniti Plio-Quaternarie.**

L'**acquifero sedimentario terziario** è localmente rappresentato dalle litologie sabbioso conglomeratiche, talora a matrice carbonatica, delle formazioni di Oppia Nuova, Borutta e Mores, permeabili per porosità e per fessurazione. La permeabilità primaria è generalmente medio bassa e dell'ordine di 10^{-6} m/s= $k=10^{-7}$ m/s, variabile in funzione della tessitura del terreno e del grado di cementazione.

L'unità **Acquifera delle vulcaniti Plio-Quaternarie** presenta una permeabilità per porosità dell'ordine di $k= 10^{-9}$ m/s, mentre la permeabilità secondaria è strettamente legata al riempimento nei giunti di frattura: si hanno bassi valori di conducibilità per riempimenti a tessitura argillosa, elevati valori di conducibilità per giunti privi di riempimento o costituiti da ghiaie e ciottoli.

4. MACROZONAZIONE SISMICA

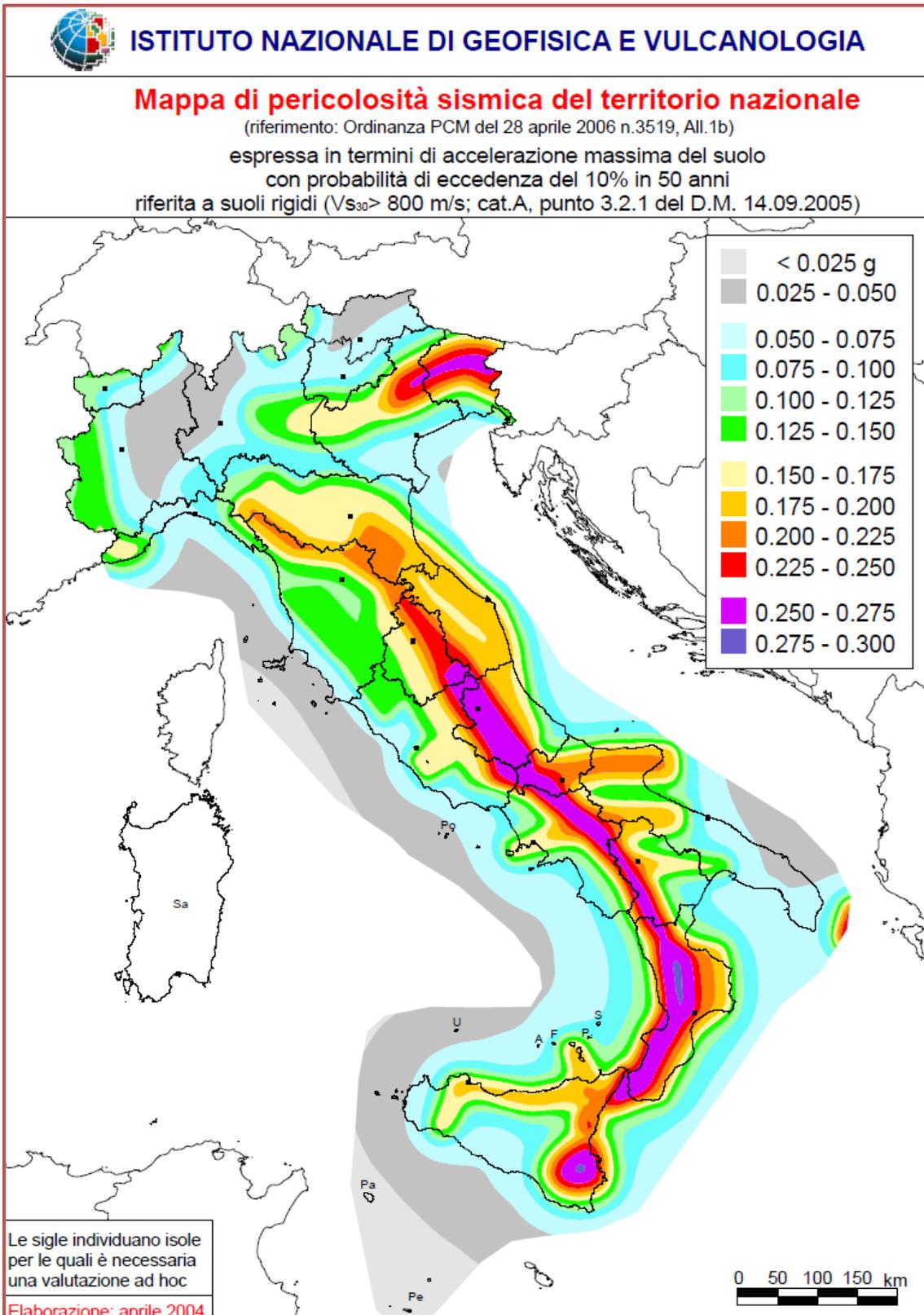


Figura 31 - Mapa di pericolosità sismica nazionale

La mappa di pericolosità sismica italiana è stata ricavata a partire dalla carta della zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale (In Figura 15), ottenuta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, in cui è possibile notare la totale assenza di zone sismogenetiche all'interno del territorio della Sardegna.

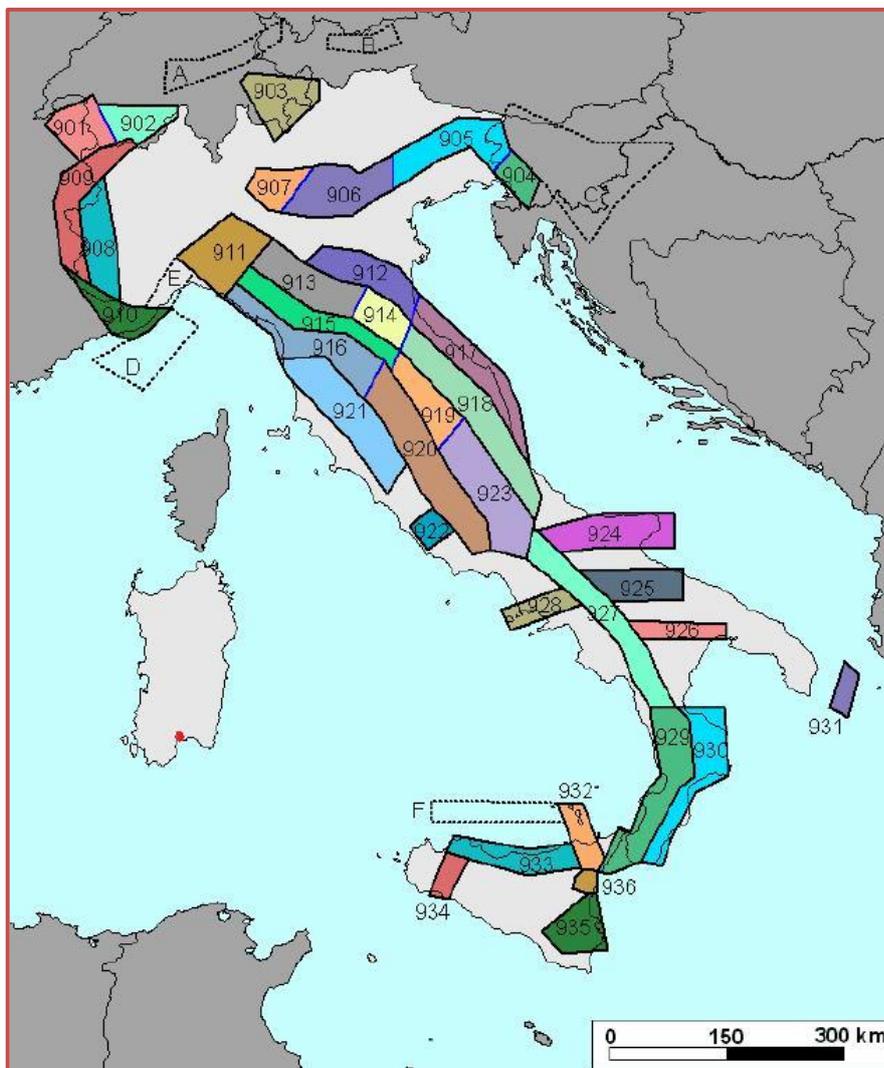


Figura 32 – Zonazione sismogenetica ZS9

Con l'applicazione della normativa antisismica nella progettazione (Ordinanza PCM n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica», Allegato 1, Tabella A), tutta l'Italia è considerata sismica e suddivisa in 4 zone alle quali si applicano norme tecniche differenziate.

Allo stato attuale l'attività tettonica nel settore considerato, come per tutta l'Isola, è molto bassa. Il catalogo CPTI04 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ avvenuti in Sardegna nel 1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della

Sardegna nordoccidentale. I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

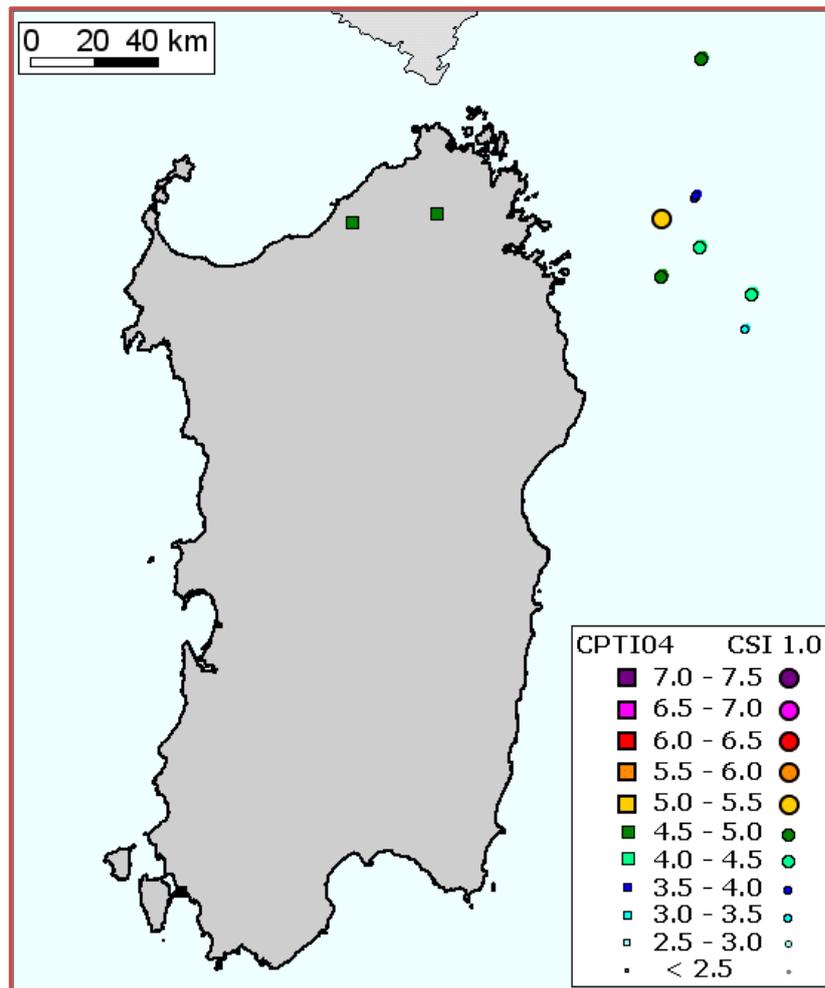


Figura 33 - Distribuzione dei terremoti in Sardegna e nei mari adiacenti.

Nel documento D1 (Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., 2007. Valutazione standard (10%, 475 anni) di a_{max} (16mo, 50mo e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D1, 0) al punto 2C.2 si sottolineano le caratteristiche di bassa sismicità della Sardegna, anche in relazione all'assenza di danni significativi in seguito ai rari eventi registrati, **si ritiene ragionevole inserire l'intera isola in Zona sismica 4** contraddistinta da un valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo pari o inferiore a 0,05g, zona a bassa sismicità evidenziata anche dai risultati degli studi condotti da diversi autori e sinteticamente riportati in tabella:

	<i>Slejko et al. (1999)</i>	<i>Albarelo et al. (2000) valore mappa</i>	<i>Albarelo et al. (2000) valore capoluogo</i>	<i>Romeo et al. (2000)</i>	<i>MPS04</i>	<i>Prestininzi et al. (2005)</i>
Sardegna Nord	0.040-0.080	<0.050	0.000	<0.050	<0.025	<0.050
Sardegna Sud	NC	<0.050	0.000	<0.050	<0.025	<0.050

Tabella 2 – Valori di amax forniti da diversi studi per la Sardegna

CONCLUSIONI

L'elaborato in argomento è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 14 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

Esso concerne la relazione geologica e geomorfologica, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito riguardante il progetto di REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO AVANZATO DI POTENZA NOMINALE PARI A 30 MWP DENOMINATO "SILIGO", SITO NEL COMUNE DI SILIGO (SS) LOCALITÀ "LAZZAREDDU". Le opere in progetto sono allocate all'interno **delle UNITÀ SEDIMENTARIE OLIGO-MIOCENICHE**, ricoperte, nel settore occidentale, da una **coltre colluviale olocenica**.

Da un punto di vista geomorfologico, a una morfologia sub-pianeggiante delle successioni sedimentarie terziarie si contrappongono i rilievi tabulari dei Basalti del Logudoro; questi corrispondono alla superficie deposizionale delle colate e costituiscono i resti dell'antico fondo vallivo al cui interno si era incanalata la colata basaltica. Il gradini morfologici al margine dei plateaux sono quindi il risultato di un'inversione di rilievo tra strati più facilmente erodibili e le più resistenti litologie basaltiche.

Oltre alla rottura di pendio dei tavolati basaltici, nel settore meridionale dell'area, si rilevano elevate acclività originate dall'azione erosiva del **ruscellamento superficiale diffuso e concentrato**.

Da quanto osservato si desume che **i processi morfogenetici dominanti sono quelli di degradazione meteorica per azione dell'acqua (*splash, rill, gully e channel erosion*)**.

La successione litostratigrafica rappresenta un fattore predisponente per le frane; in tutta l'area infatti si può osservare la cornice generata al contatto tra i basalti del Logudoro e le formazioni sedimentarie oligo-mioceniche. Le stesse differenze litologiche tra le calcareniti della Formazione di Mores e le più facilmente erodibili sabbie della Formazione di Florinas hanno favorito la genesi e lo sviluppo di fenomeni franosi per frane di crollo e di scorrimento. **È tuttavia importante sottolineare che le aree di progetto non sono interessate da queste dinamiche**.

L'area in studio è ubicata nel bacino del Rio Mannu di Porto Torres. Alla scala locale si distinguono 4 sub-bacini ascrivibili ai corsi d'acqua del Rio Fontana, del Rio Lasari, del Rio Perda Niedda e del Rio Congiari.

Dall'analisi delle informazioni fornite dagli strumenti di pianificazione si desume che:

- ❖ Le opere non ricadono in aree a pericolosità geomorfologica e a pericolosità idraulica del PAI.

- ❖ Il cavidotto interseca degli impluvi su cui vige l'art. 30 ter del PAI, intorno ai quali, come misura di prima salvaguardia, è istituita una fascia di rispetto **Hi4** di larghezza proporzionata all'ordine gerarchico del corpo idrico.

Per quanto concerne gli attraversamenti trasversali del cavidotto è bene precisare che le norme tecniche del PAI **all'art. 27 comma 3 lettera g** stabiliscono che *sono ammesse esclusivamente.... le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.*

Ciò premesso, si ritiene che le opere in progetto siano compatibili con i caratteri fisico-ambientali del territorio a contorno.

IL GEOLOGO

NICOLA PILI

