RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

Realizzazione di un Parco Agrivoltaico Avanzato di potenza nominale pari a 36 MWp denominato "MORES 2" sito nei Comuni di Bonnanaro e Mores (SS) Località "Campu Marte"

e relative opere di connessione alla RTN che interessano i Comuni di Mores, Bonnanaro, Torralba e Bonorva (SS)

PROPONENTE:

Energia Pulita Italiana 9 s.r.l.

Rev00	*Emissione per procedura di VIA*	Data ultima elaborazione: 10/05/2023
Redatto		Approvato
Dott. Geol. Nicola Pili		**ENERLAND ITALIA s.r.l.**
Codice Elaborato		Oggetto
MRS2-IAR10		**PROGETTO DEFINITIVO**

TEAM ENERLAND:

Ing. Annamaria PALMISANO
Dott.ssa Ilaria CASTAGNETTI
Ing. Emanuele CANTERINO
Dott. Claudio BERTOLLO
Dott. Guglielmo QUADRIO
Dott. Giovanni CARBONE

PROFESSIONISTA INCARICATO:

Dott. Geol. Nicola PILI

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE SARDEGNA N. 761 Dott. Geol. NICOLA PILI

Nicola Pili
10.05.2023
17:22:10
GMT+00:00

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE
NICOLA PILI
GEOLOGO
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA
GEOTECNICA AMBIENTE

Via Arbarei n° 16
09026, San sperate - CA
Cel. 3477160465
e-mail dott.geol.nicolapili@tiscali.it
e-mail nicola.pili@pec.it
P.I. 03660890926

Comune di MORES
Provincia di Sassari

REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO AVANZATO DI POTENZA NOMINALE PARI A 36 MWP DENOMINATO "MORES 2" SITO NEI COMUNI DI BONNANARO E MORES (SS) LOCALITÀ "CAMPU MARTE"
e relative opere di connessione alla RTN che interessano i Comuni di Mores, Bonnanaro, Torralba e Bonorva (SS)

MORES2-IAR10
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

INDICE

PREMESSA 2
1. GENERALITÀ 3
1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE 3
1.2. RIFERIMENTI NORMATIVI 5
2. PROGRAMMA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE 6
2.1.1. RICERCA BIBLIOGRAFICA 6
2.1.2. RILEVAMENTO GEOLOGICO DI CAMPAGNA 7
3. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO 8
3.1. CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI DELL'AREA VASTA 8
3.2. CARATTERI STRATIGRAFICI 13
3.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI 20
3.4. INQUADRAMENTO METEO CLIMATICO 34
3.5. CARATTERI IDROLOGICI 35
3.6. CARATTERI IDROGEOLOGICI 38
4. MACROZONAZIONE SISMICA 39
CONCLUSIONI 43

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 36 MWP DENOMINATO "MORES 2" SITO NEI COMUNI DI BONNANARO E MORES (SS) LOCALITÀ "CAMPU MARTE" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN CHE INTERESSANO I COMUNI DI MORES, BONNANARO, TORRALBA E BONORVA (SS)".

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

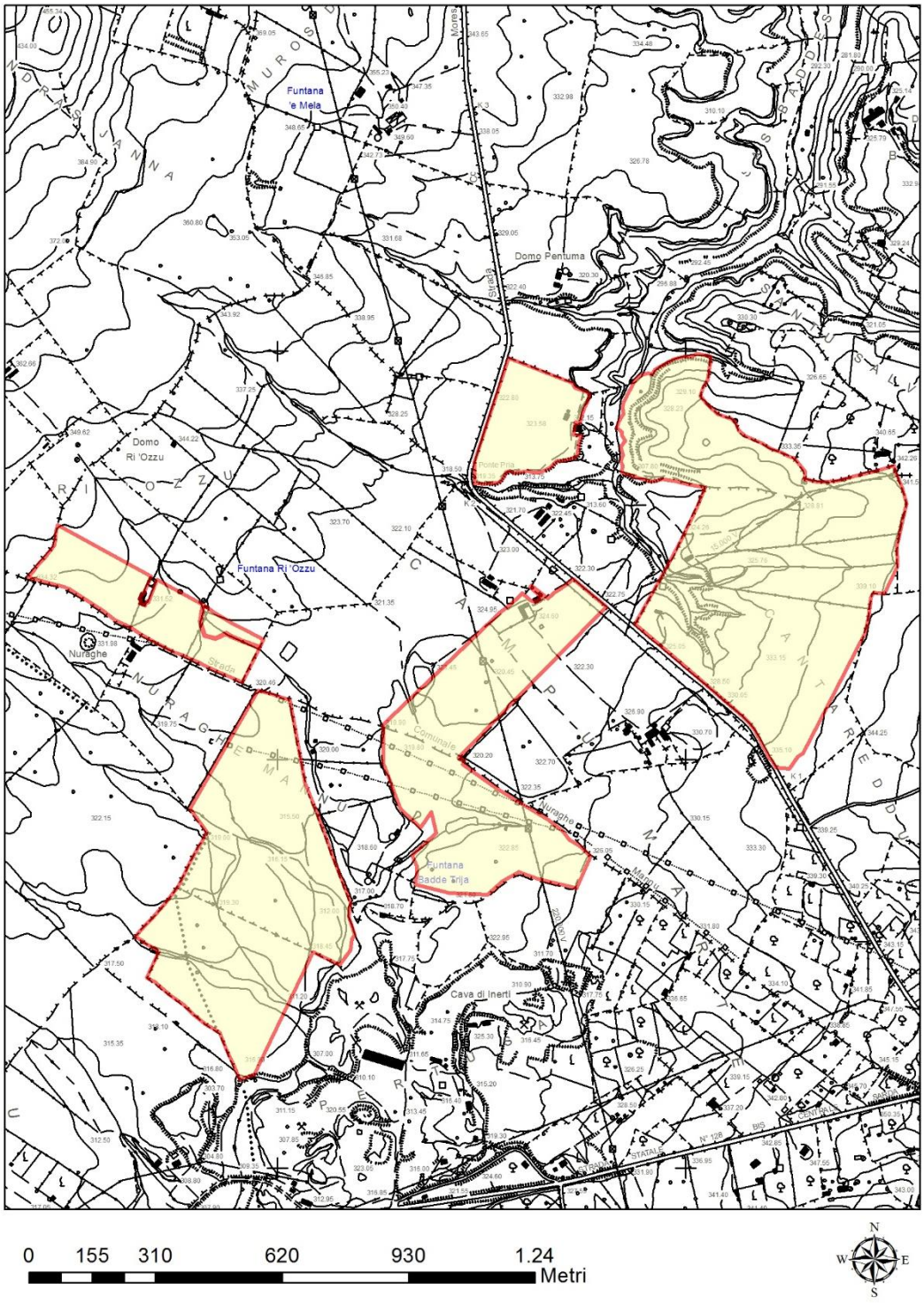


FIGURA 1- Stralcio Carta Tecnica Regionale–n° 480020 "MONTE SANTO", in scala 1:10.000

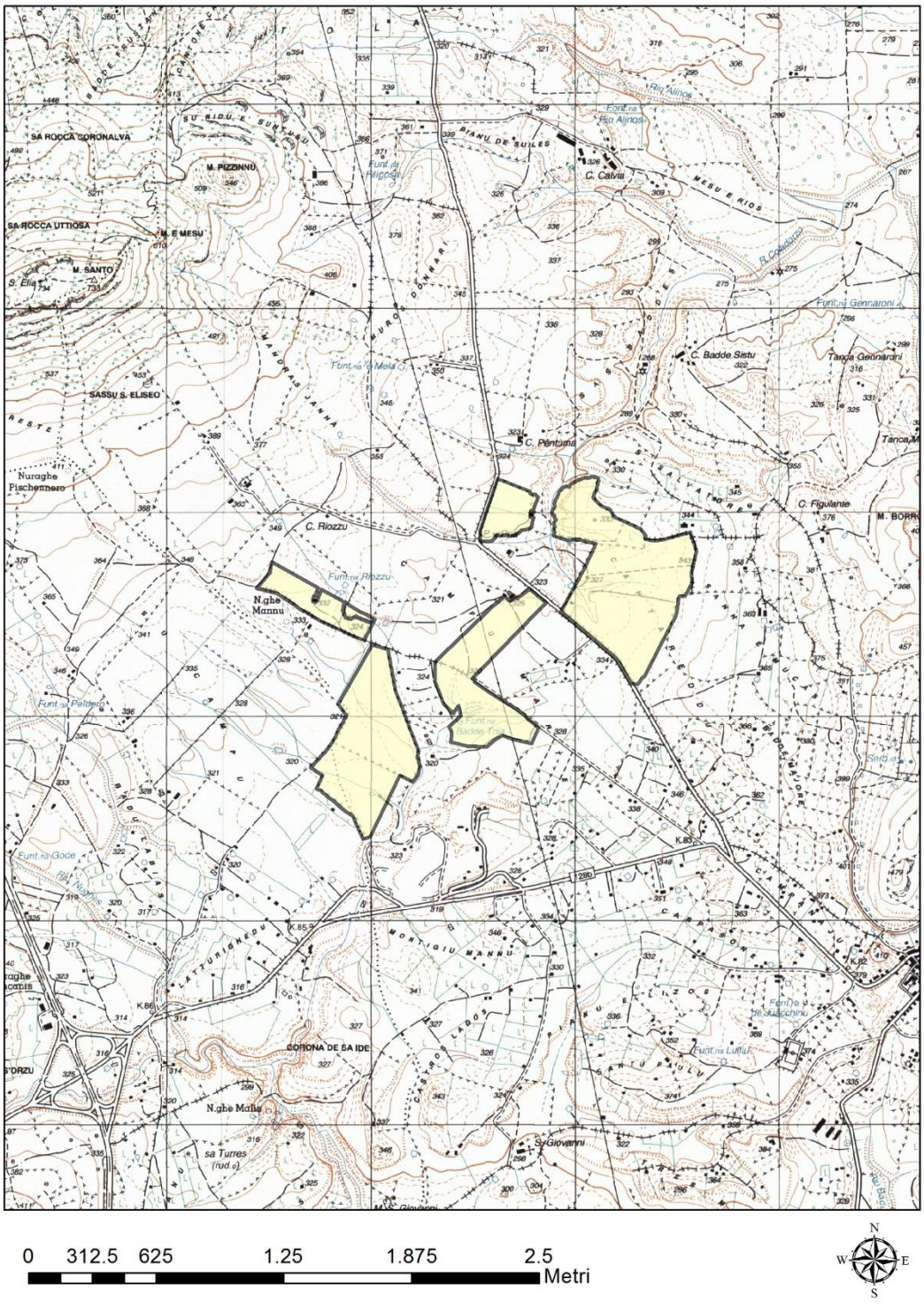


FIGURA 2- Stralcio Carta IGM scala 1:25000 foglio 480 tavoletta IV "THIESI"

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 = 480 "PLOAGHE",
- Tavoletta IGM 1:25000 = FOGLIO 480 SEZIONE IV "THIESI",
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10000 = n° 480020 "MONTE SANTO"

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 maggio 2023. 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 1:35.000 portando a termine una ricerca bibliografica delle carte geologiche esistenti che interessano il territorio in esame, in particolare:

- carta geologica del Logudoro (Sardegna Settentrionale) 1:50.000 redatta da Funedda, Oggiano, Pasci – Boll. Soc. Geol. It., 119
- 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 1:35.000 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 1:35.000 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 PSFF estratte da Sardegna geoportale (revisione 2020);

- Delimitazione delle aree di pericolosità idraulica del PAI estratte da Sardegna geoportale (revisione 59 del 2020);

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

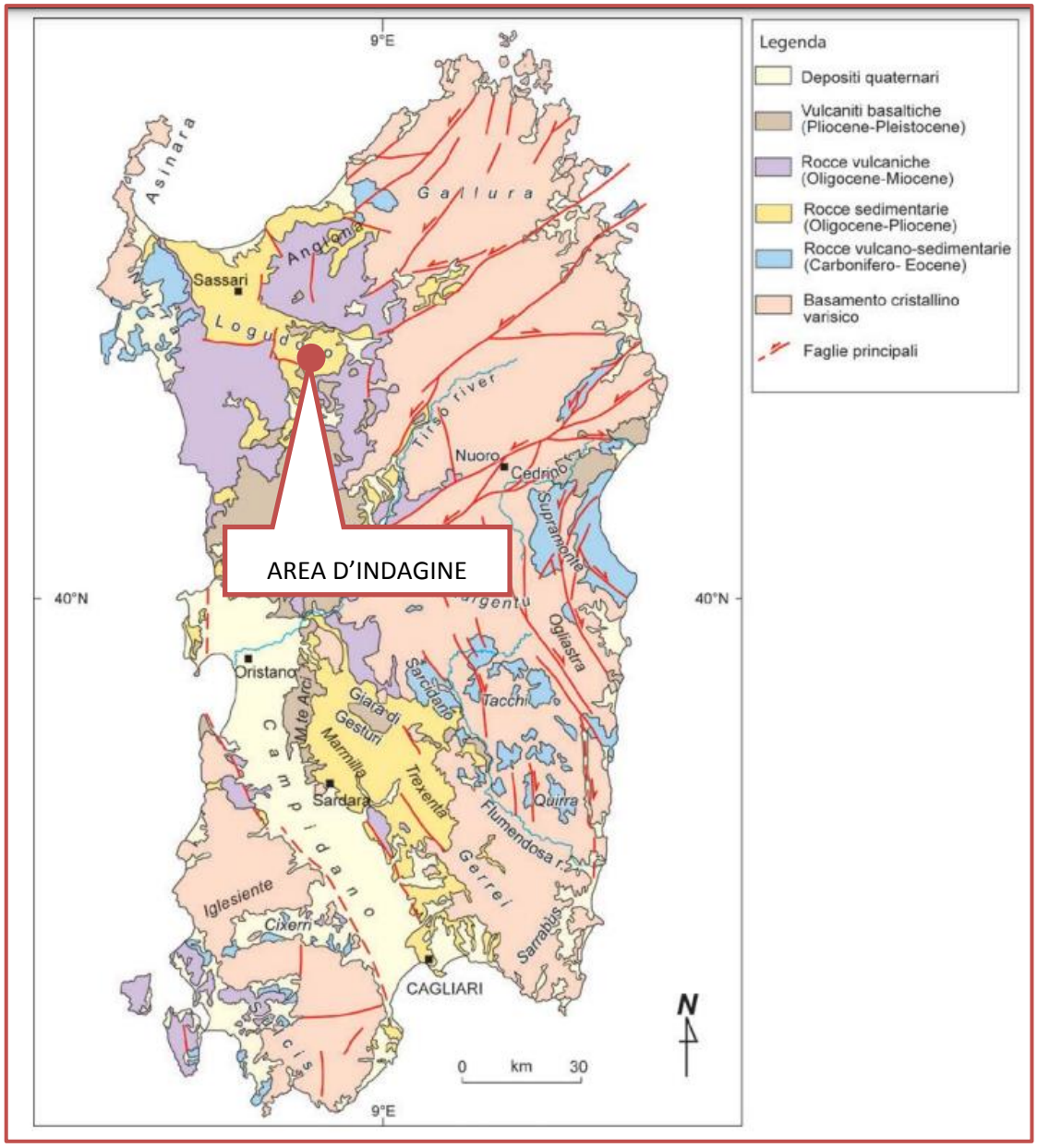


FIGURA 4- Schema geologico semplificato della Sardegna

Il settore di studio si caratterizza da un punto di vista geologico come un'areale di ricoprimento post-ercinico (fig.4), che interessa un periodo relativamente recente che va dall'epoca oligo-miocenica sino all'Olocene (circa 25 milioni di anni). Tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano (?) Messiniano la Sardegna settentrionale (Funedda et. al 2003), 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 al Oligocene superiore (fig.5).

Dall'Aquitaniano al Burdigaliano Sup., la microplacca sardo corsa, si muove verso il centro del Mediterraneo (Carminati et al., 2010) per effetto della migrazione verso est del fronte collisionale delle Alpi e la conseguente apertura del bacino balearico. (Fig. 1C, D).

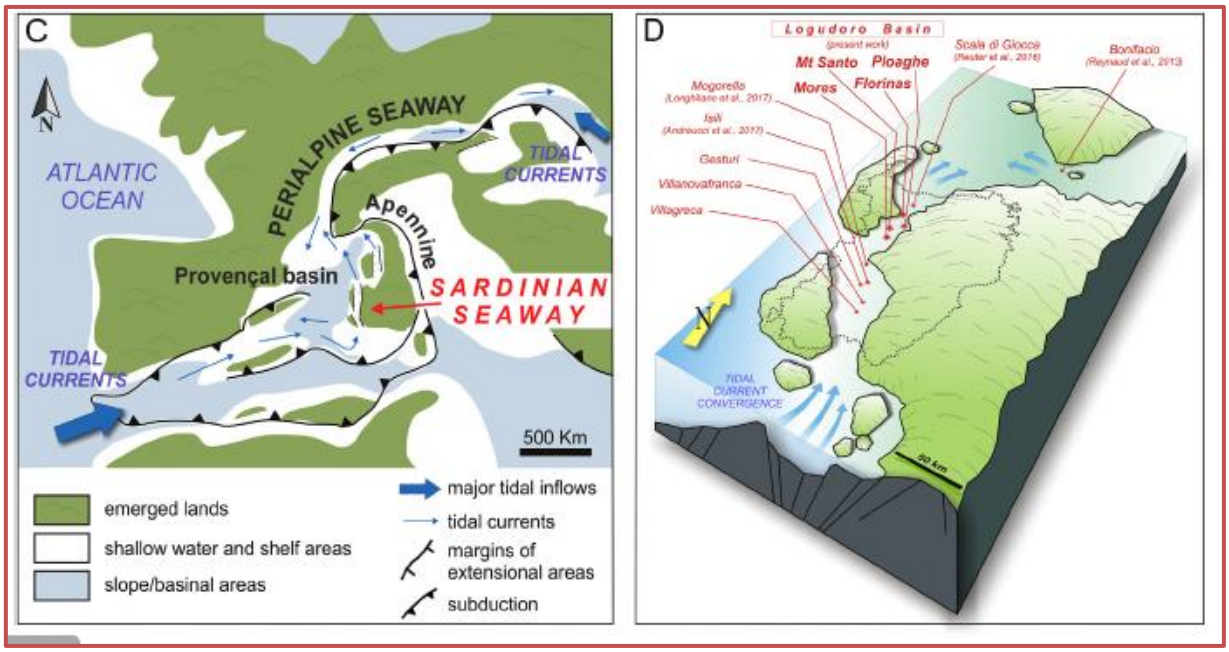


Fig. 5 - Evoluzione geodinamica della Sardegna a partire dall'Oligo-Miocene - Telesca et al. 2020

Questi movimenti geodinamici portano alla compartizione strutturale di differenti bacini: si riconoscono (Funedda et al. 2003) i così detti *Bacini transtensivi aquitaniani* di età Oligocene superiore-Aquitaniano orientati prevalentemente N60° (bacini di Chilivani-Berchidda, Anglona e Ottana) e i *Bacini burdigaliani di* età Burdigaliano-Tortoniano? / Messiniano, orientati *NNW (bacini del Logudoro (LB) e di Porto Torres (PT).*

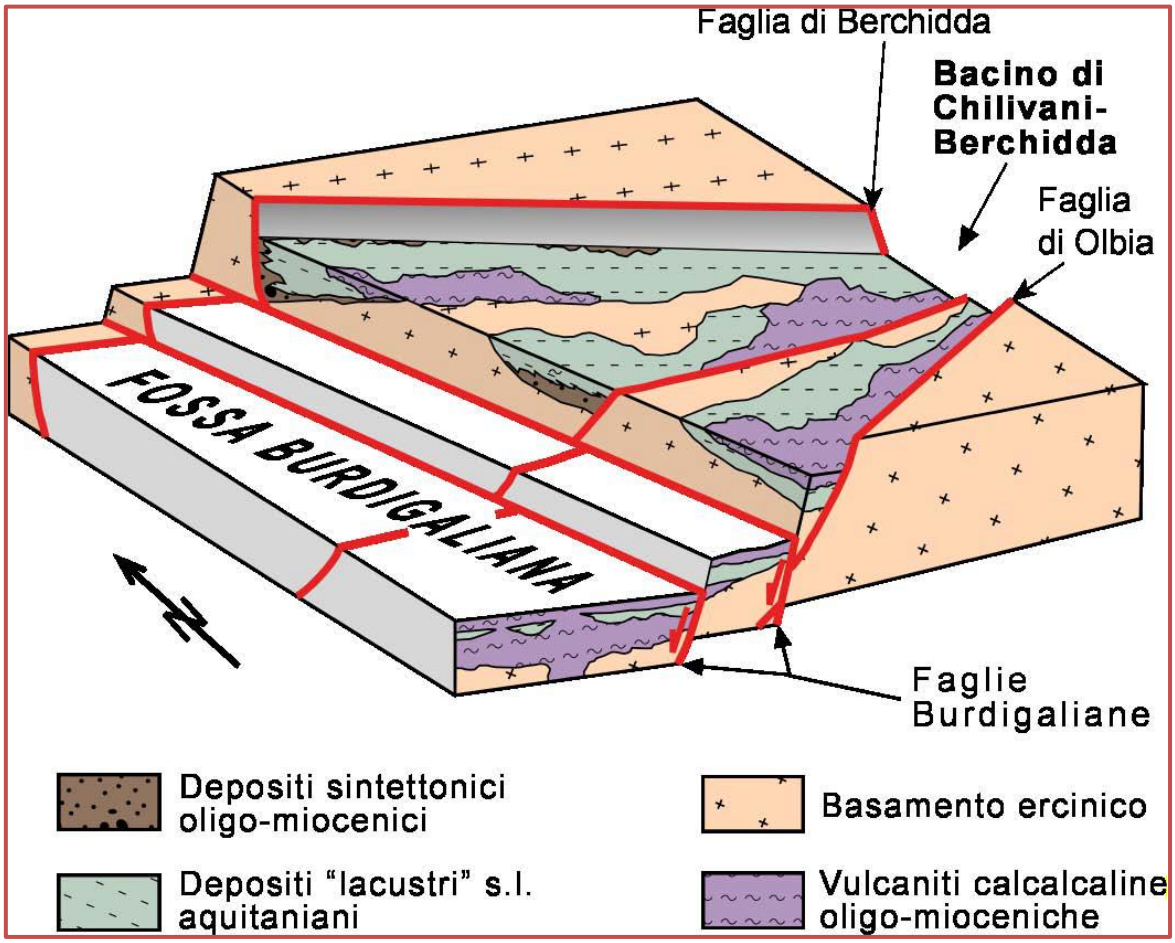


FIGURA 6 - Schema delle relazioni tra i bacini transtensivi ad orientazione N60 di età aquitaniana ed i bacini estensionali burdigaliani ad andamento N160 nella Sardegna settentrionale (da Oggiano et al., 1995).

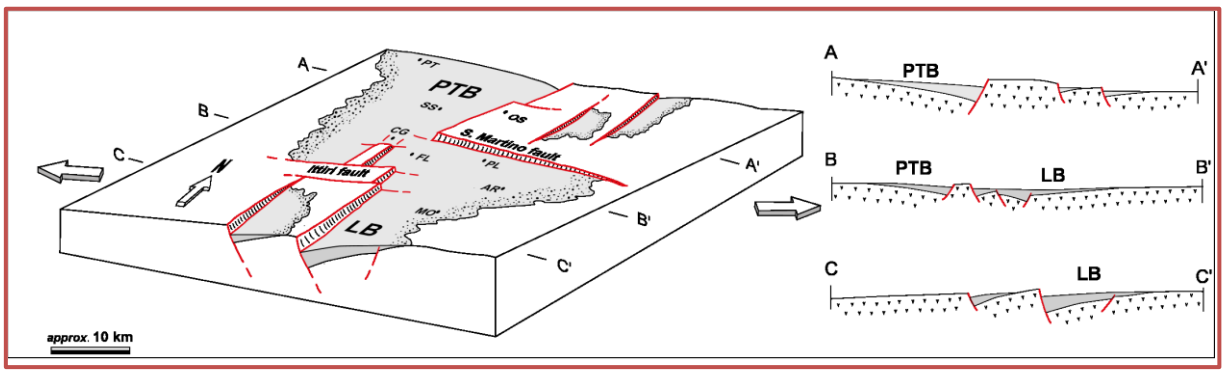


FIGURA 7 - Blocco diagramma schematico dei bacini burdigaliani del Logudoro e di Porto Torres - Funedda et al. 2003

Il bacino burdigaliano del Logudoro, oggetto dell'area di studio, si configura come un semi graben largo 10km e lungo 20km, che ospita una successione sedimentaria di depositi da continentali a marini in discordanza sulla base vulcano-sedimentaria oligo-miocenica. Il margine occidentale del bacino è bordato da alcune faglie con cinematica diretta, mentre quello orientale è caratterizzato dai depositi di trasgressione miocenica. I depositi sedimentari procedendo da est verso ovest, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali (Fig. 7).

Il riempimento del bacino è costituito da tre sequenze stratigrafiche principali (Geological Field Trips 2012 – 4(2.2): la più antica in quest'area è rappresentata esclusivamente da vulcaniti del Miocene inferiore e relative epiclastiti, ed è correlabile con i depositi dei bacini transtensivi che affiorano più ad est (1° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico). La seconda sequenza è una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente alluvionale, da conoide prossimale a delta, che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee epibatiali (2° ciclo tettono- sedimentario oligo-miocenico). Questa seconda sequenza ha un'età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia con rapporti di *onlap* sulle sottostanti vulcaniti ed epiclastiti ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. Su quest'ultima giace una terza sequenza deposizionale (3° ciclo tettono sedimentario oligo-miocenico) 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).

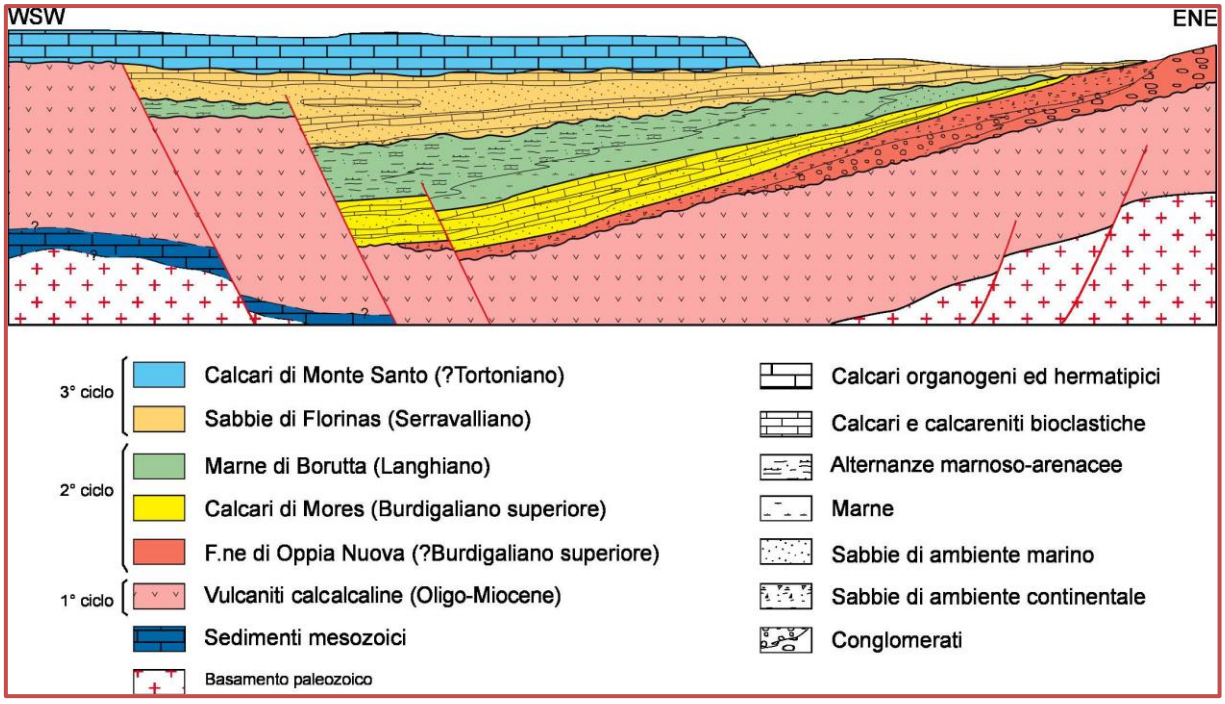


FIGURA 8 - Schema stratigrafico delle successioni mioceniche del Bacino del Logudoro (da Funedda et al., 2000).

Nell'area di studio, il primo ciclo tettono-sedimentario oligo miocenico è rappresentato da una successione vulcanica, di natura calcalcalina, principalmente costituita da flussi piroclastici con differenti gradi di saldatura appartenenti all'**Unità di Chilivani** e locali intercalazioni discontinue di epiclastiti **(F.ne Rio Minore**).

La prima sequenza sedimentaria appartenente al secondo ciclo, poggia in discordanza sulla successione vulcanica ed è formata alla base da conglomerati e sabbie poco cementate di ambiente continentale e deltizio (**F.ne di Oppia Nuova**), seguita verticalmente e lateralmente da un'alternanza di biocalcareniti trasgressivi e sabbie silicoclastiche regressive (**F.ne di Mores**). L'alternanza di marne e siltiti di ambiente marino profondo (**F.ne di Borutta**), marca la fine del secondo ciclo sedimentario.

Il terzo ciclo è caratterizzato da una sequenza costituita da sabbie silicoclastiche con alcuni livelli di biocalcareniti intercalati (**F.ne di Florinas**) seguiti da calcari di scogliera (**F.ne di M. Santo**). Questi ultimi depositi carbonatici sono localmente sormontati da espandimenti di lave basaltiche di età pleistocenica (Monte Santo e Monte Pelao), oggetto di diffusi processi franosi di crollo – ribaltamento.

La successione quaternaria è caratterizzata da depositi alluvionali terrazzati poco estesi realmente, i cui spessori sono spesso limitati al metro.

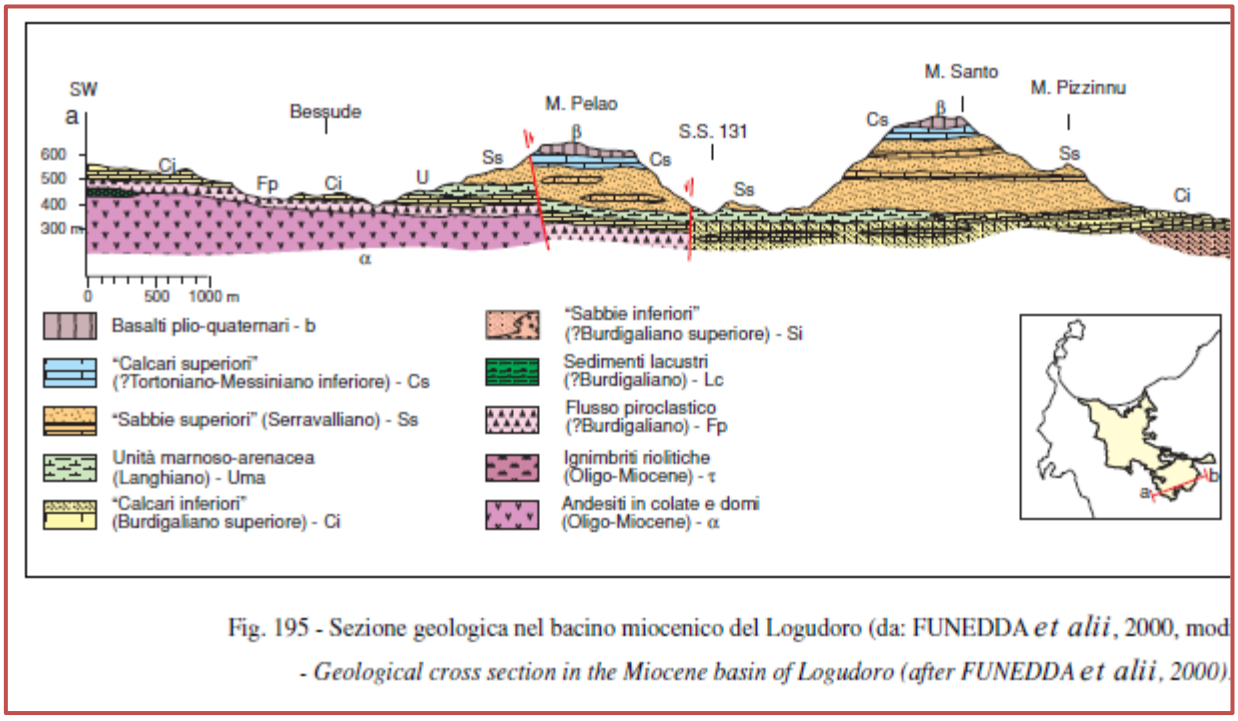


Fig. 195 - Sezione geologica nel bacino miocenico del Logudoro (da: FUNEDDA *et alii*, 2000, mod
- *Geological cross section in the Miocene basin of Logudoro (after FUNEDDA et alii, 2000)*

FIGURA 9- Sezione geologica nel bacino miocenico del Logudoro, (da FUNEDDA et alii, 2000)

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 VULCANO - SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA

Primo ciclo tettono-sedimentario oligo miocenico

L'**Unità di Chilivani (HVN)** rappresenta la porzione sommitale della successione vulcano-sedimentaria di riempimento del bacino, descritta da Cerri et al. 2002 come ignimbrite superiore. Si tratta di una sequenza piroclastica di composizione riolitica avente colore dal rosa al grigio chiaro, poggiante sopra le epiclastiti appartenenti alla F.ne del Rio Minore, affioranti nella porzione meridionale dell'area di indagine. Il grado di saldatura è variabile all'interno dell'unità: i termini sommitali risultano meno saldati rispetto alla base che a tratti presenta un buon grado di saldatura. L'Unità di Chilivani rispetto agli altri termini ignimbritici sottostanti, si distingue mineralogicamente per l'abbondante biotite, per la distribuzione omogenea di pomici e per i componenti litici di modeste dimensioni, raramente superiori al centimetro. Gli spessori sono variabili e localmente non definibili con dettaglio vista la copertura sedimentaria miocenica sovrastante.

FIGURA 10- Affioramento di piroclastiti dell'Unità di Chilivani

Secondo ciclo tettono-sedimentario oligo miocenico

1. **F.ne di Oppia Nuova (OPN)**. **BURDIGALIANO MEDIO SUP**. Discordante su HVN, poggia una successione continentale di ambiente alluvionale, rappresentata da depositi di conoide e di piana fluviale (*braided*). La base è costituita da conglomerati matrice-sostenuti ad elementi di basamento paleozoico e vulcaniti oligo-mioceniche (ignimbriti). Nell'area di studio dominano invece i depositi fluvio-deltizi rappresentati da sabbie quarzoso-feldspatiche e sabbie conglomeratiche etero metriche, affioranti procedendo verso la piana di Chilivani a est. La potenza della formazione raggiunge una trentina di metri in località Badu e Giaga e Chilivani, mentre si assottiglia progressivamente verso ovest procedendo verso la SS 131.

2. **F.ne di Mores (RES) 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. Nel comprensorio affiorano due facies (**RES_a e RES_b**) che localmente si alternano con spessori variabili.

   La litofacies **RES_a** è costituita da biocalcareniti e calcari bioclastici a banchi di ostree ed altri bivalvi, ed echinidi (*Amphiope*, *Scutella*, *Clypeaster*), spesso con evidenti clinostratificazioni. Localmente dominano i termini calcarenitici, debolmente fratturati in prossimità delle faglie di minore entità riconosciute lungo l'asse della SS 131 a ovest e in prossimità di Lachesos a est.

   La litofacies **RES_b** è caratterizzata da depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro. Si riconoscono talvolta intercalazioni di sabbie da fini a finissime. Nell'area di studio non sono presenti i termini arenacei a cemento carbonatico.

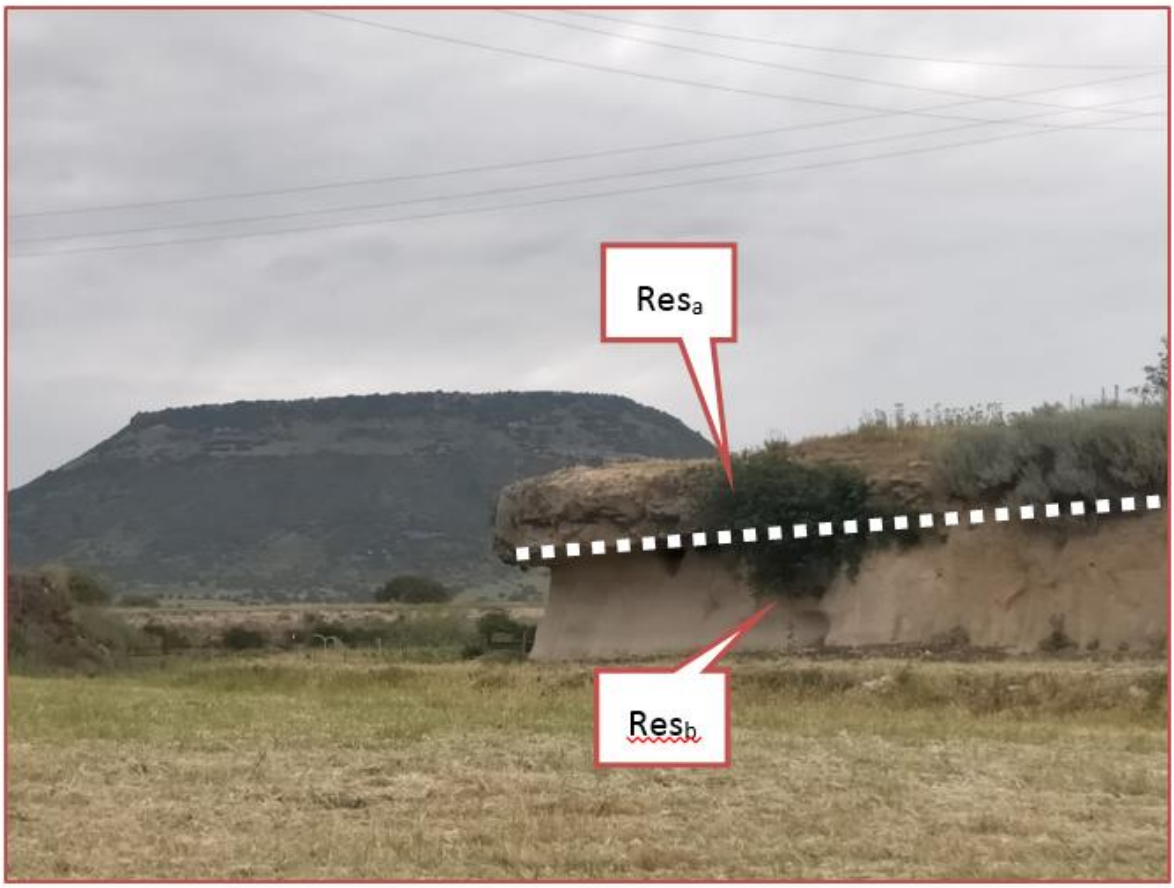


FIGURA 11- Affioramento della Formazione di Mores, in cui si osserva il contatto stratigrafico tra le biocalcareniti (Res$_a$) e i depositi sabbioso arenacei (Res$_b$)

3. **F.ne di Borutta (RTU) LANGHIANO**. Marne, marne arenacee bioturbate e calcari marnosi, localmente riconoscibili siltiti debolmente marnose. L'ambiente deposizionale definito dall'associazione faunistica, è da riferire alla piattaforma esterna. La formazione è estesa a tutti i bacini del sassarese con spessori che possono superare i 100 m. Non si hanno evidenze di depositi attribuibili alla RTU nell'area di progetto.

FIGURA 12- Affioramento delle marne della Formazione di Borutta

Terzo ciclo tettono-sedimentario oligo miocenico

1. **F.ne di Florinas (LNS**) **SERRAVALIANO**. Poggia sulle marne della formazione di Borutta (RTU) ed è ricoperta in concordanza, talora con passaggi eteropici, dalla formazione di Monte Santo (NST). Nei pressi di Monte Santo raggiunge il massimo spessore di circa 300m non registrato in altri bacini.

   Si tratta principalmente di sabbie silicee di colore bianco, 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 le sabbie della formazione di Florinas sono coltivate 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 alle sabbie si intercalano delle biocalcareniti con spessori variabili affioranti nel comprensorio a Monte Santo e Lachesos (**LNSb**) in cui si rinvengono tracce di fossili e di bioturbazione.

FIGURA 13- Affioramento delle sabbie della Formazione di Florinas

2. **F.ne di Monte Santo (NST) SERRAVALIANO.** Calcari bioclastici di piattaforma interna, con rare intercalazioni silicoclastiche ed episodi biohermali. Questa formazione è rappresentata nell'area di indagine da spessori minimi circoscritti solamente al Monte Santo.

VULCANISMO PLIO PLEISTOCENICO

Basalti del Logudoro – PLIO PLEISTOCENE (BGD_4)

Espandimenti basaltici pleistocenici ricoprono la successione tettono-sedimentaria oligo miocenica che nel Monte Pelao e nel Monte Santo sigillano gli ultimi termini carbonatici della successione (calcari di Monte Santo NST). I caratteri giaciturali riflettono un'attività essenzialmente fessurale, legata a direttrici tettoniche con orientazione N-S.

Nel settore nord occidentale, la mesa di Monte Santo presenta in affioramento la **Sub Unità di San Matteo** (**BGD_4**), costituita da trachibasalti olocristallini, porfirici per fenocristalli di Pl, Cpx, Ol, con noduli gabbrici e peridotitici, e xenoliti quarzosi.

FIGURA 14- Blocco Basaltico della Sub Unità di San Matteo

Nel settore sud orientale, affiora invece diffusamente la Sub Unità di Monte Ruju (**BGD3**), rappresentata da basalti alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, frequenti xenocristalli di Opx e rari xenoliti quarzosi a struttura granoblastica.

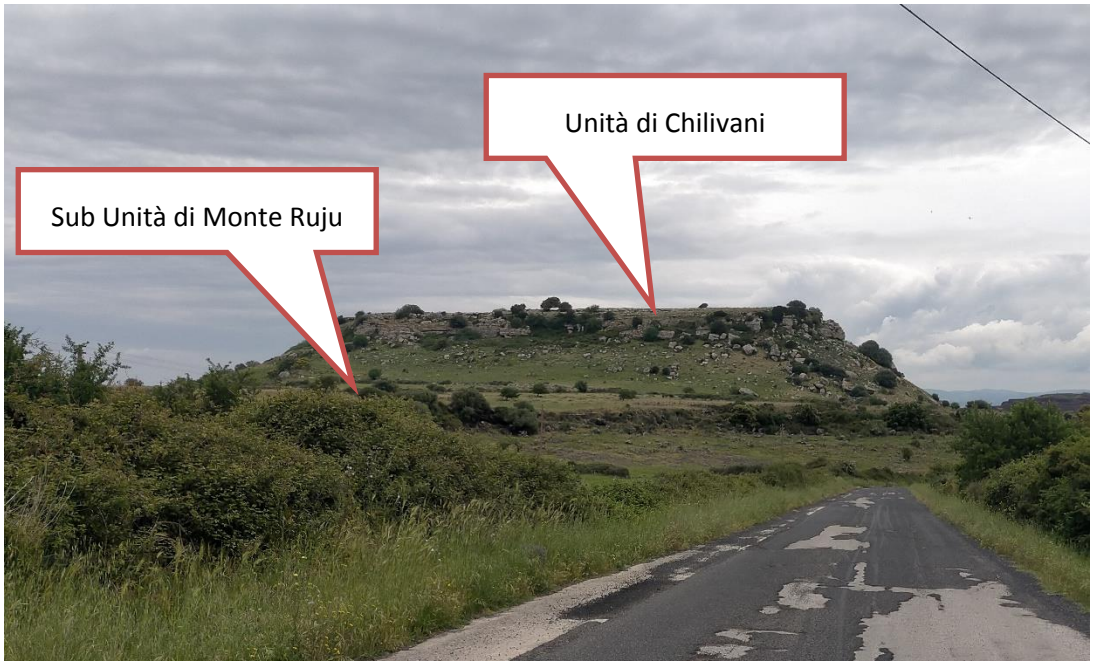


FIGURA 15- Affioramento delle piroclastiti oligo mioceniche (Unità di Chilivani) e dei basalti del Logudoro (Sub Unità di monte Ruju)

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:

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. Lo spessore è in genere esiguo, di solito inferiore al metro.

FIGURA 16- Affioramento delle coltri eluvio colluviali (b2)

3.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area occupa una porzione del Meilogu, sub-regione del Logudoro, e presenta una morfologia sub pianeggiante, delimitata ai margini dalla presenza di *mesas basaltiche* (Monte Santo a nord ovest) e *tacchi (a est)*, laddove i più erodibili sedimenti miocenici sono protetti da livelli di calcare più duro e compatti (Calcareniti della Formazione di Mores).

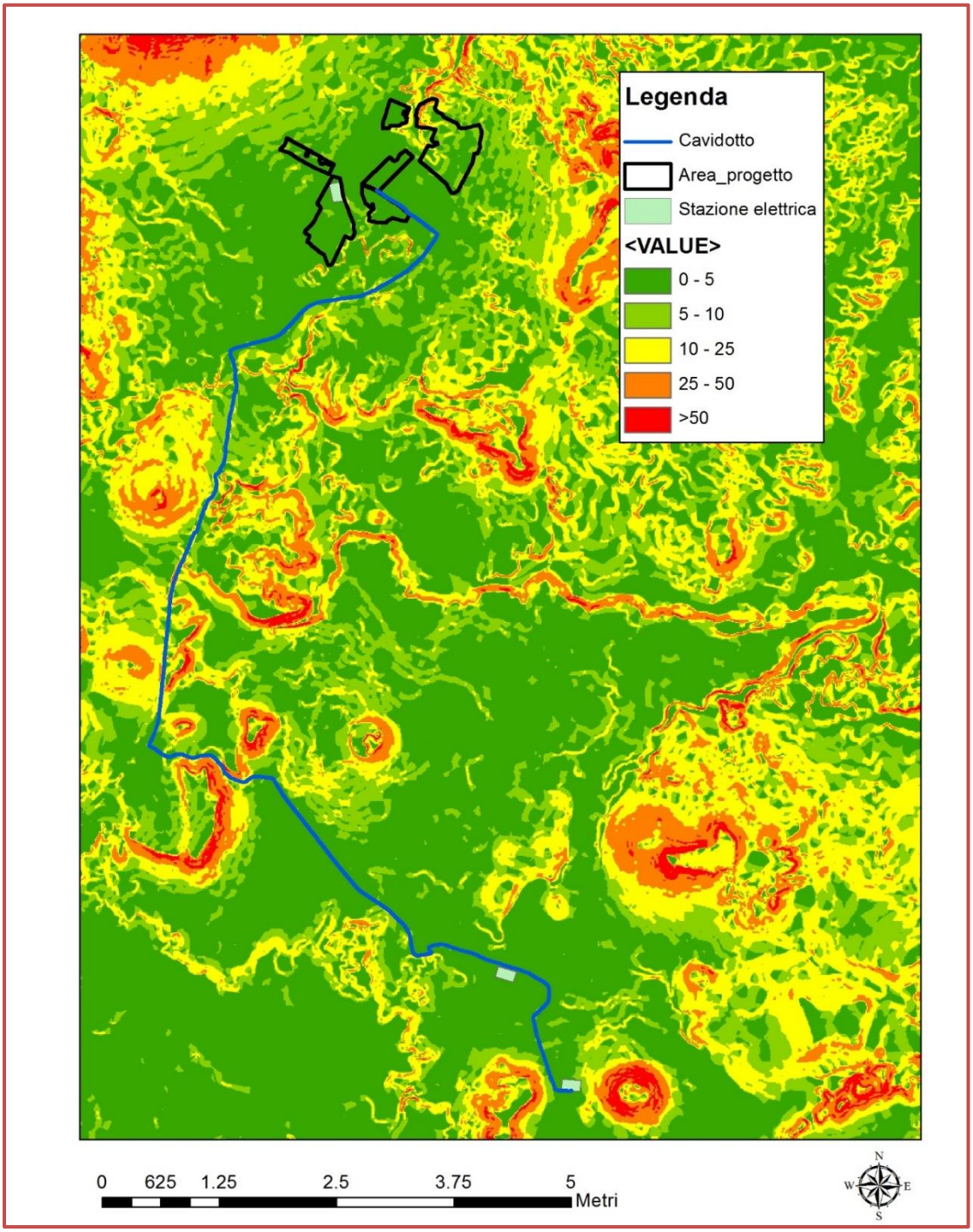


FIGURA 17- Carta delle pendenze

Le quote più elevate si raggiungono negli altipiani di Monte Pelao (710 m) di Monte Santo (733 m) e nell'alto strutturale di Lachesos (510 m). Mentre i primi due rilievi rappresentano delle *mesas* messesi in posto a seguito della tettonica distensiva plio-pleistocenica poggianti sui depositi sedimentari dell'oligo-miocene, l'origine di Monte Lachesos è da ricercare nell'attivazione di faglie con cinematica diretta orientate circa N-S, riconducibili all'attività tettonica pleistocenica, la stessa che ha influenzato localmente anche gli espandimenti basaltici.

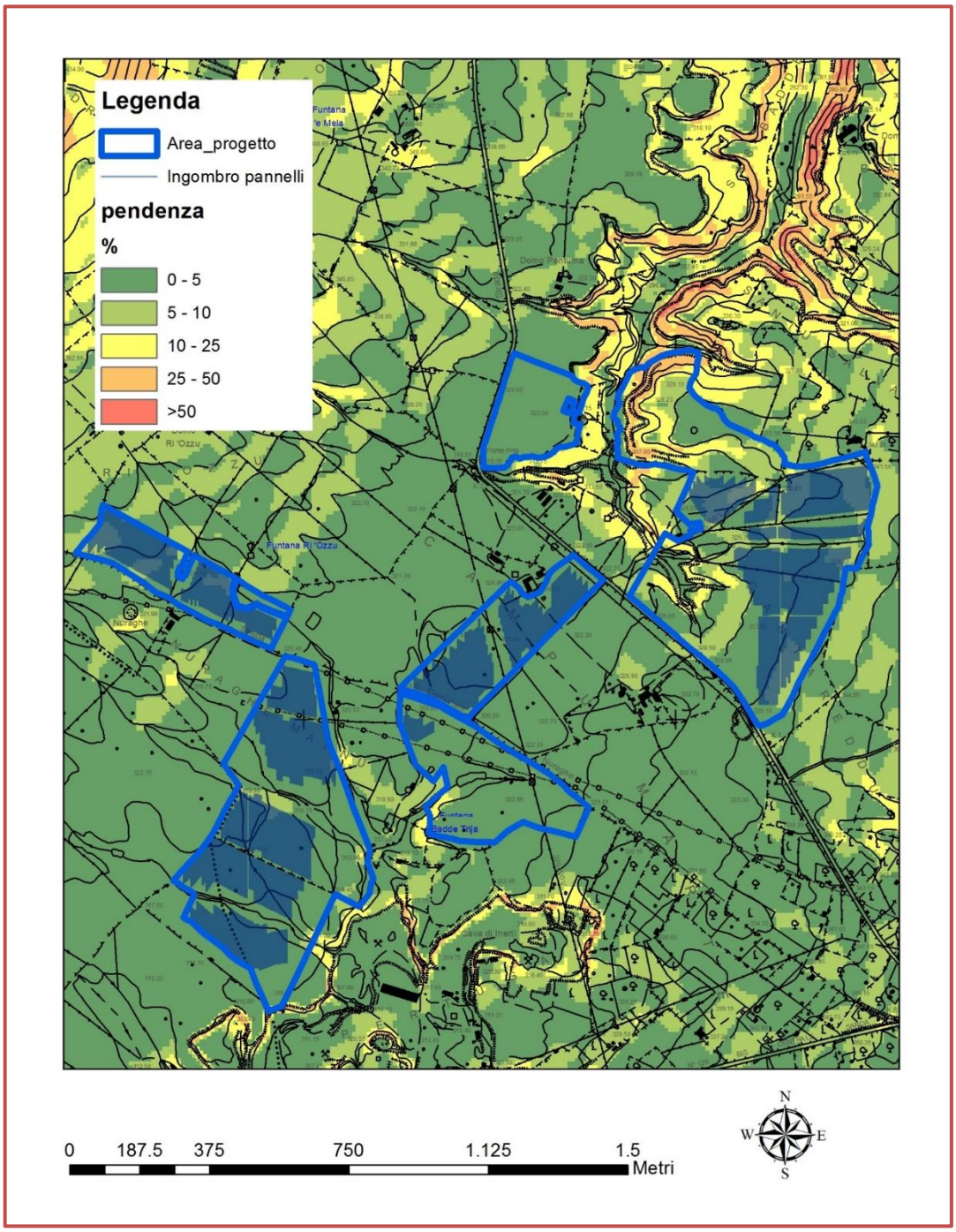


FIGURA 18- Dettaglio carta delle pendenze

Come si può osservare in figura 17 e 18 nell'area di progetto le pendenze sono perlopiù inferiori al 5% e non superano il 10%.

Nelle zone ove la pendenza supera il 10% (incisione fluviale del Rio Badde Dianesu) non è prevista l'installazione dei pannelli.

Nel complesso l'area si presenta come una superficie smantellamento della piattaforma strutturale basaltica, la cui evoluzione porta alla formazione di colline a cima piatta dalla tipica struttura a "*butte*" e a *"Mesa"* (es. Monte Santo).

FIGURA 19 - Rappresentazione grafica di delle morfologie prodotte dallo smantellamento di un tavolato basaltico e confronto la Mesa di Monte Santo

A valle dei tavolati basaltici affiorano le coperture sedimentarie oligo mioceniche, le cui forme sono principalmente associate all'erosione differenziale tra le coperture carbonatiche e le coperture sabbioso arenacee.

Laddove affiorano ***le coperture sabbioso arenacee***, quali la formazione di Florinas o la litofacies sabbiosa della formazione di Mores, l'acqua che scorre sulla superficie del suolo si concentra su piccoli canali (***rill erosion***) provocando un tasso di perdita di suolo più elevato rispetto al deflusso laminare.

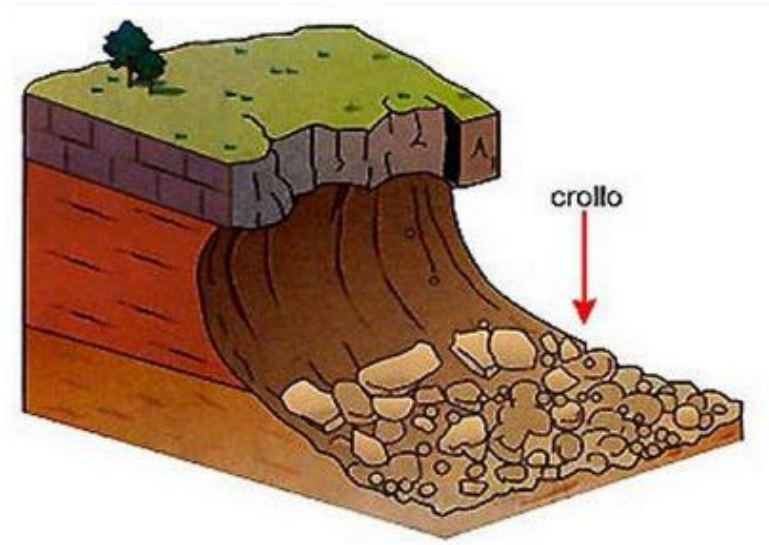
FIGURA 20 – erosione concentrata in rivoli

FIGURA 21 – erosione concentrata in solchi

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***); l'azione della pioggia battente (***splash erosion***) e il **ruscellamento diffuso (*sheet erosion*)** causano altresì distacco della porzione corticale del terreno, dando luogo a trasporto e accumulo a valle.

Più in generale, i processi di disfacimento meteorico del plateau basaltico e delle coperture oligo mioceniche hanno dato luogo all'**accumulo** di un'estesa **coltre colluviale** ubicata nel settore centrale dell'area.

FIGURA 22 - Rappresentazione grafica di una frana di crollo, raffrontata ai crolli presenti in località Latturighedu



Laddove la successione litostratigrafica è composta dalle calcareniti della Formazione di Mores (RESa) poggianti sulle più facilmente erodibili sabbie dell'omonima formazione (RESb) possono svilupparsi delle **frane di crollo**.

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

La stessa successione stratigrafica dà luogo a importanti incisioni fluviali come quella del Rio Pizzinnu, a sud dell'area destinata agli impianti agrivoltaici.

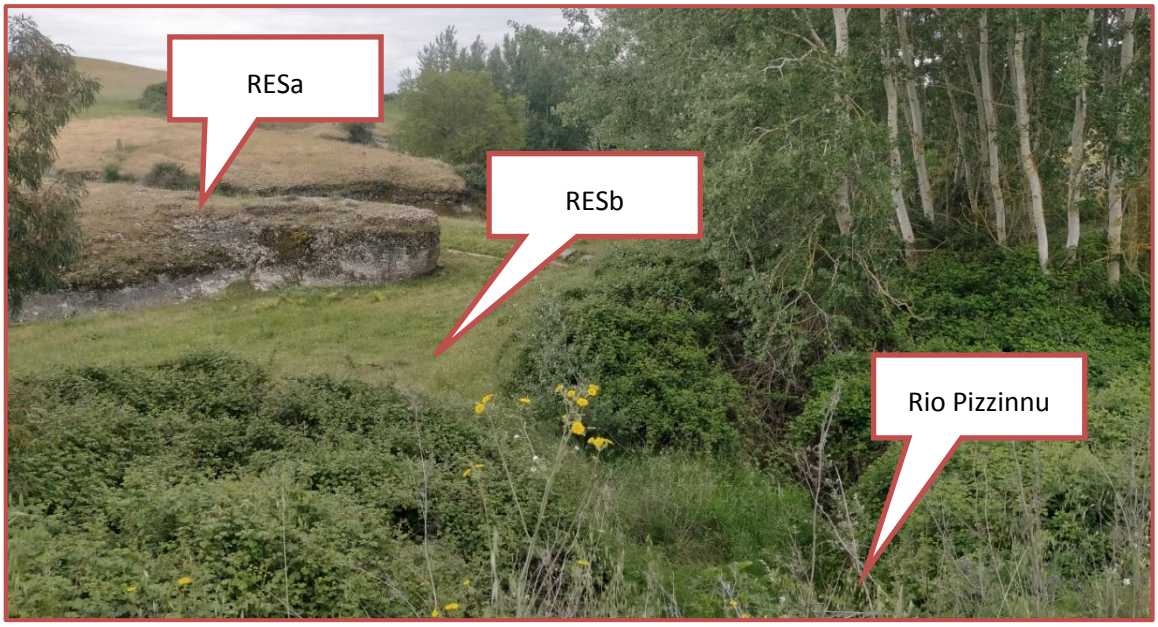


FIGURA 23 – Erosione fluviale del Rio Pizzinnu

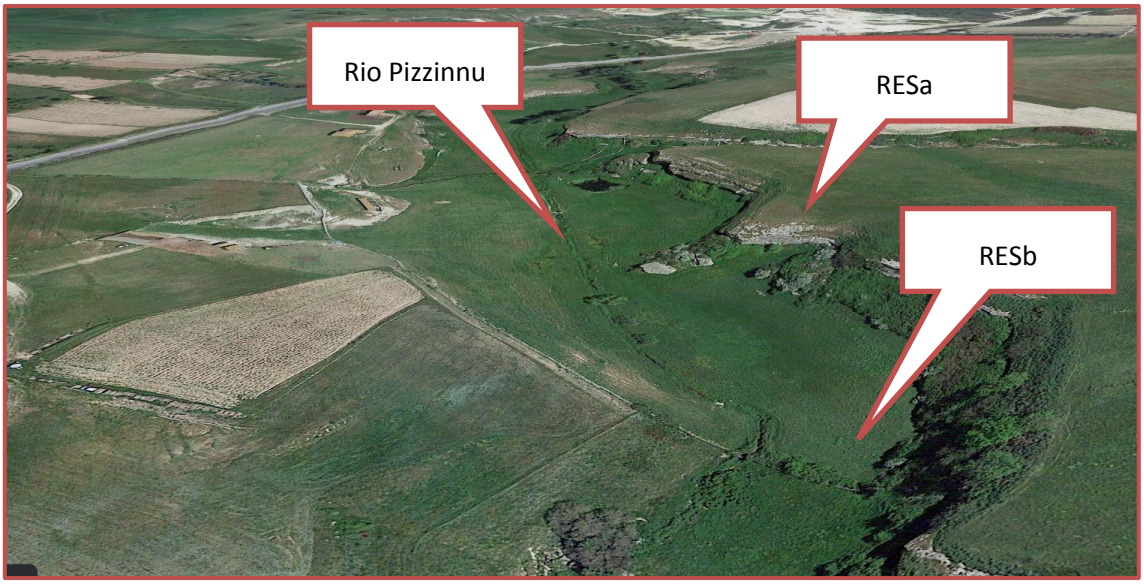
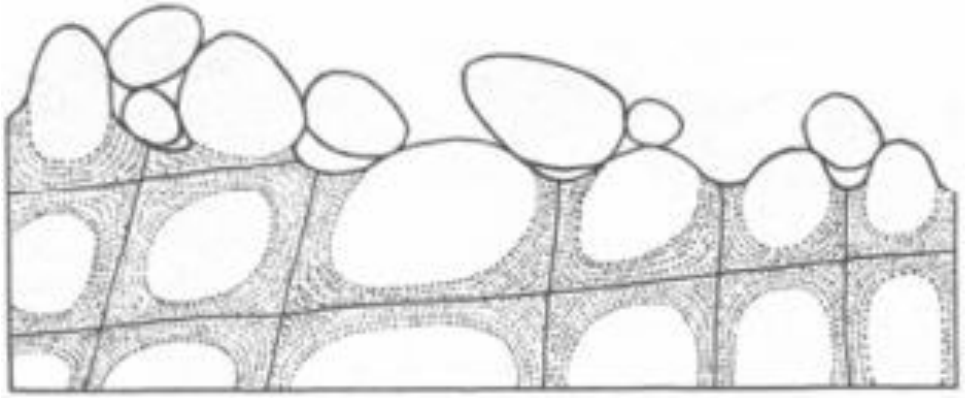


FIGURA 24 –Stralcio foto aerea: Erosione fluviale del Rio Pizzinnu

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 25 - Genesi di blocchi sferoidali a partire dal basalto fratturato in blocchi parallelepipedi: schema grafico e immagine acquisita dal rilievo in campagna (loc. Mandras Janna)



Ove si registrano le maggiori pendenze, l'agente morfogenetico dominante è **la gravità**; si tratta di zone potenzialmente soggette a rotolamento di blocchi: nei basalti infatti, a seguito della fratturazione della roccia e la successiva alterazione chimica si possono produrre dei blocchi sferoidali isolati e liberi di muoversi.

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 figura26 si osserva che l'impianto non è ubicato in aree a pericolosità geomorfologica.

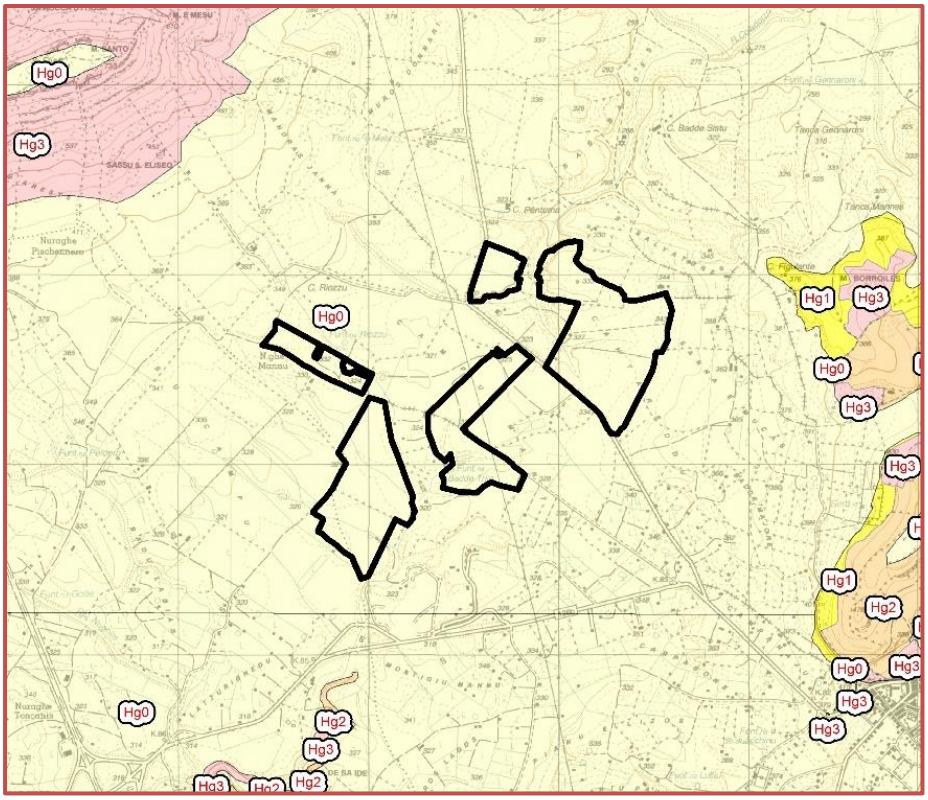


FIGURA 26– Carta della pericolosità geologica e geotecnica PAI

Dalle carta di pericolosità idraulica non si evidenzia nessuna criticità riferita ad eventi di piena di 2, 50, 100, 200, 500 anni così come previsto dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) e dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

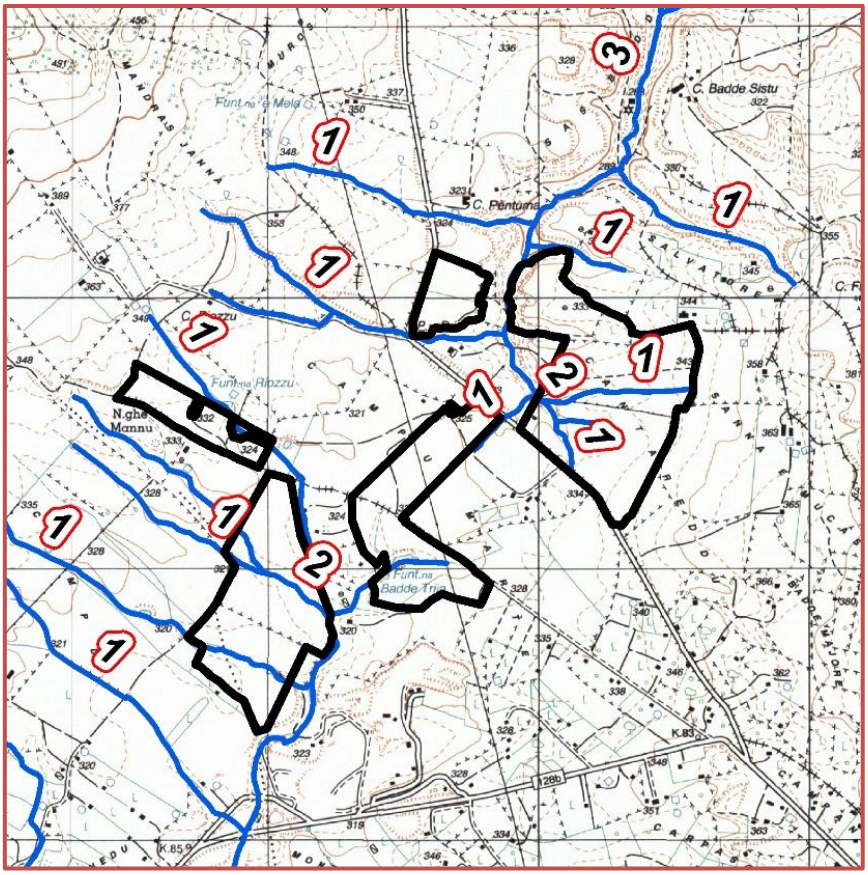


FIGURA 27– Carta della pericolosità idraulica PAI e ordine gerarchico Horton Strahler dei corpi idrici

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

TABELLA1– 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).

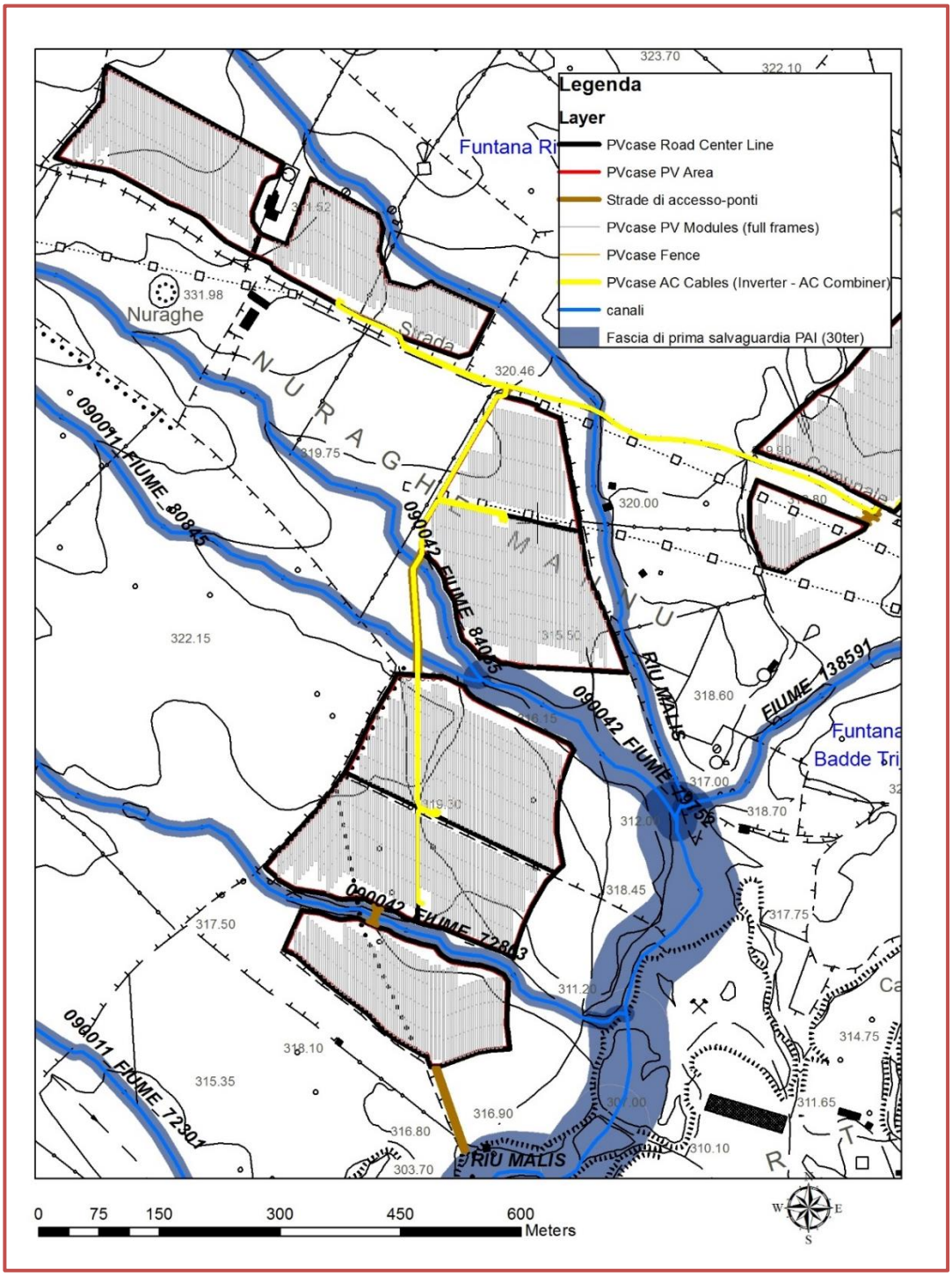


FIGURA 28- Dettaglio delle tavole progettuali sovrapposte alle fasce di prima salvaguardia (art. 30ter del PAI)

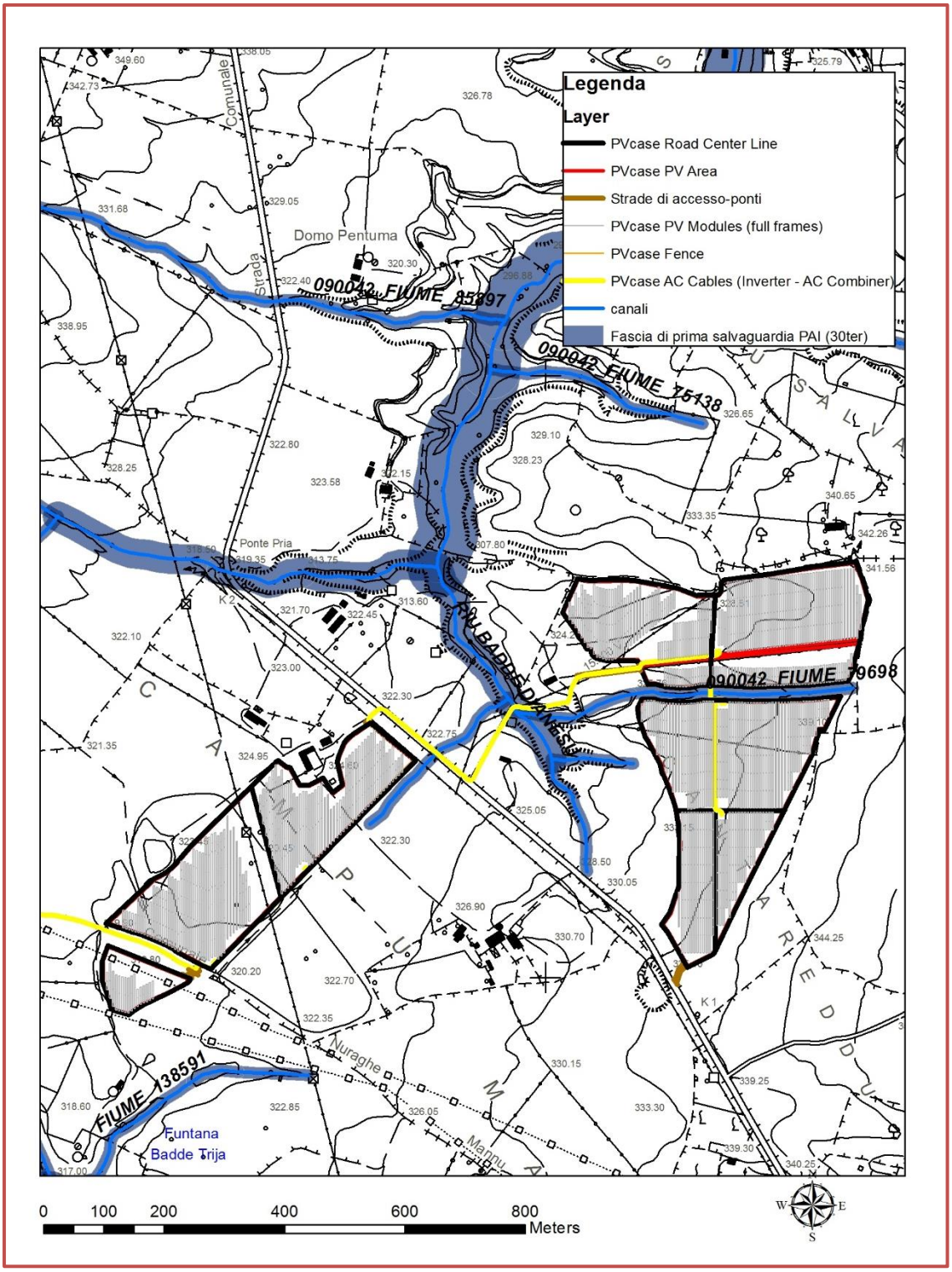


FIGURA 29- Dettaglio delle tavole progettuali sovrapposte alle fasce di prima salvaguardia (art. 30ter del PAI)

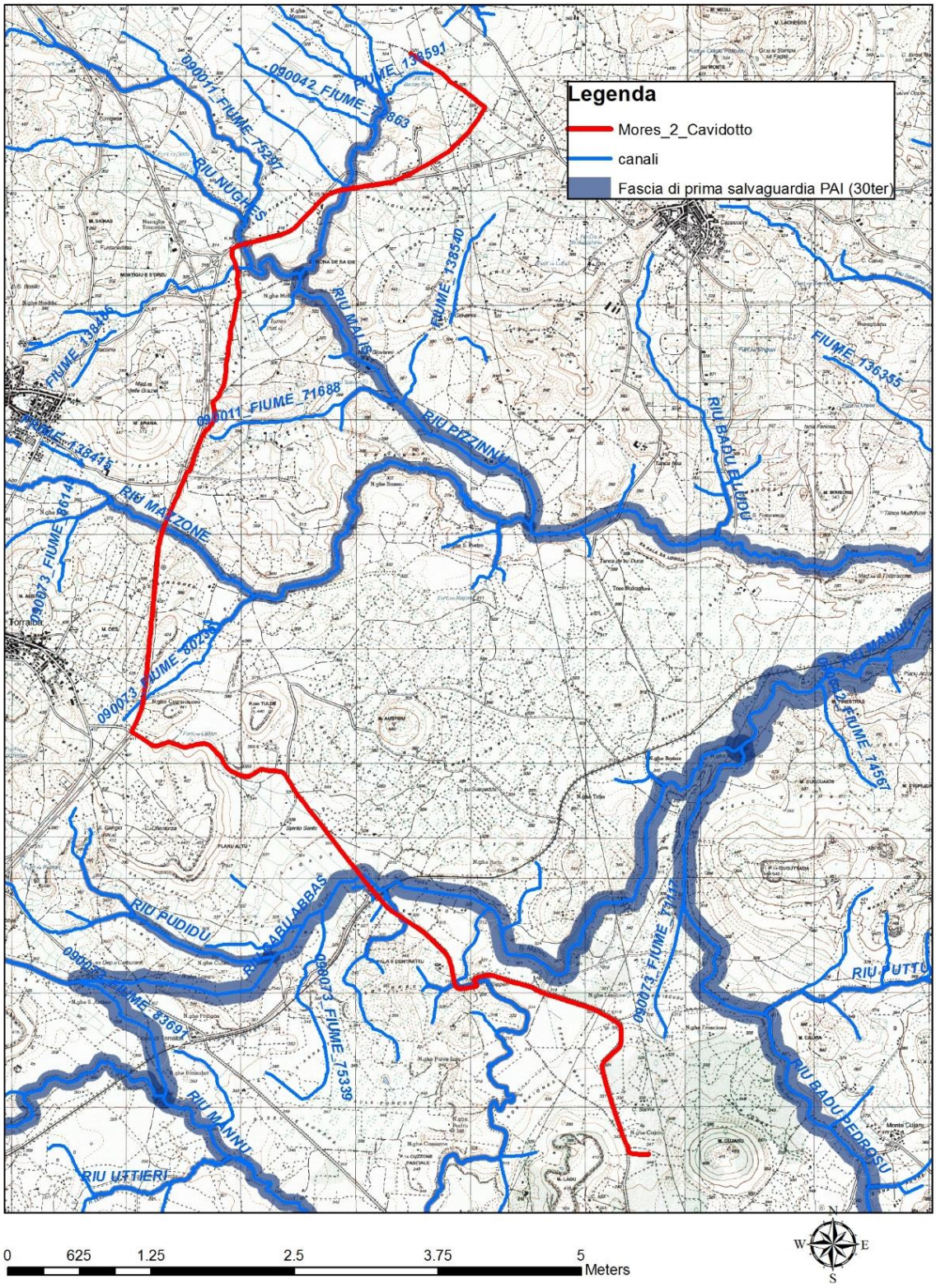


FIGURA 30- Dettaglio tracciato cavidotto sovrapposto alle fasce di prima salvaguardia (art. 30ter del PAI)

Le mappe di figura28-29-30 rappresentano lo shape fornito dalla regione e le relative aree di prima salvaguardia (**Hi4**). Come si può osservare tutti i pannelli sono posti al di fuori delle aree di prima salvaguardia, mentre sono altresì presenti intersezioni dei cavidotti e di nuove reti viarie.

Per quanto concerne gli **attraversamenti trasversali del cavidotto** è bene precisare che sono considerati ammissibili ai sensi **dell'art. 27 comma 3 lettera g:** *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 a condizione che, con apposita* ***relazione asseverata del tecnico incaricato*** *venga dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; che eventuali manufatti connessi alla gestione e al funzionamento delle condotte e dei cavidotti emergano dal piano di campagna per un'altezza massima di un metro e siano di ingombro planimetrico strettamente limitato alla loro funzione; che i componenti tecnologici, quali armadi stradali prefabbricati, siano saldamente ancorati al suolo o agli edifici, in modo da evitare scalzamento e trascinamento, abbiano ridotto ingombro planimetrico e altezza massima strettamente limitata alla loro funzione tecnologica e, comunque, siano tali da non ostacolare, in maniera significativa il deflusso delle acque; che, nelle situazioni di parallelismo, le condotte e i cavidotti non ricadano in alveo, né in area golenale; 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.*

Per quanto concerne le eventuali interferenze tra le opere e i corsi d'acqua, esse saranno gestite nel rispetto della *Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché delle altre opere interferenti***, redatto dalla regione Sardegna ai sensi dell'art. 22 delle norme di attuazione del PAI.**

Eventuali attraversamenti di strade nelle aree in **Hi4** (aree di prima salvaguardia 30ter), sono considerati ammissibili ai sensi **dell'art. 27 comma 3 lettera g:** *sono ammesse esclusivamente…. le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili,* previa redazione di apposito **studio di compatibilità idraulica**.

Eventuali recinzioni nelle aree in **Hi4** sono considerate ammissibili ai sensi **dell'art. 27 comma 2 lettera L**: *sono consentiti esclusivamente …. le opere di sistemazione e manutenzione di superfici*

inedificate o scoperte di edifici, compresi rampe di accesso, recinzioni, muri a secco, contenimenti in pietrame, terrazzamenti, siepi, impianti a verde, pergole e coperture a condizione che, con apposita ***relazione asseverata del tecnico incaricato****, si dimostri che le opere non modificano significativamente il regolare deflusso della corrente.*

3.4. INQUADRAMENTO METEO CLIMATICO

Il clima dell'isola è tipicamente mediterraneo, ovvero le temperature presentano un massimo estivo e un minimo invernale, mentre le precipitazioni seguono una tendenza esattamente opposta, concentrandosi in due periodi di massima a fine autunno e in primavera, separati da un periodo moderatamente piovoso. Gli annali della banca dati ARPAS consentono di elaborare le serie storiche dei dati pluviometrici.

REGIME PLUVIOMETRICO

Nel comprensorio la stazione pluviometrica prossima alla zona di indagine, provvista di un set di dati continui nel tempo e non lontani temporalmente all'anno corrente, è quella di Ardara, municipalità poco distante che mantiene le medesime caratteristiche morfologiche del territorio di Mores.

La disponibilità dei dati pluviometrici copre 14 anni dal 2007 al 2021. Come viene mostrato dal grafico in fig 31 , la media delle precipitazioni mensili è più alta nel mese di novembre, mentre i minimi di piovosità si registrano nei mesi estivi di giugno, luglio ed agosto.

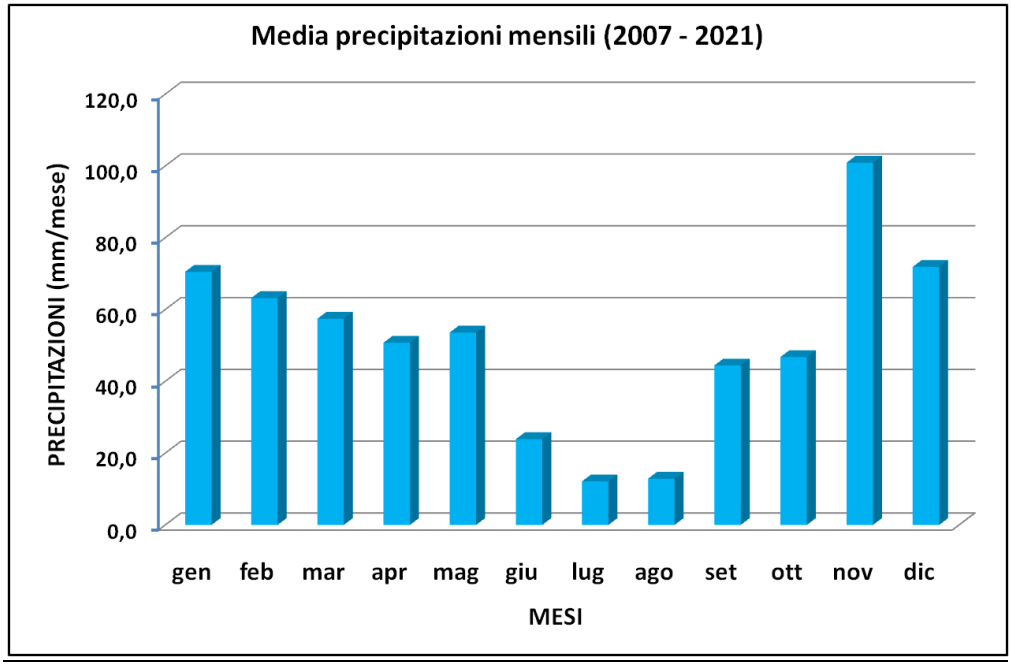


FIGURA 31 – Media delle precipitazioni mensili espresse in mm/mese nell'arco di 14 anni (2007-2021) presso la stazione pluviometrica di Ardara (Fonte ANNALES – ARPAS).

3.5. CARATTERI IDROLOGICI

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

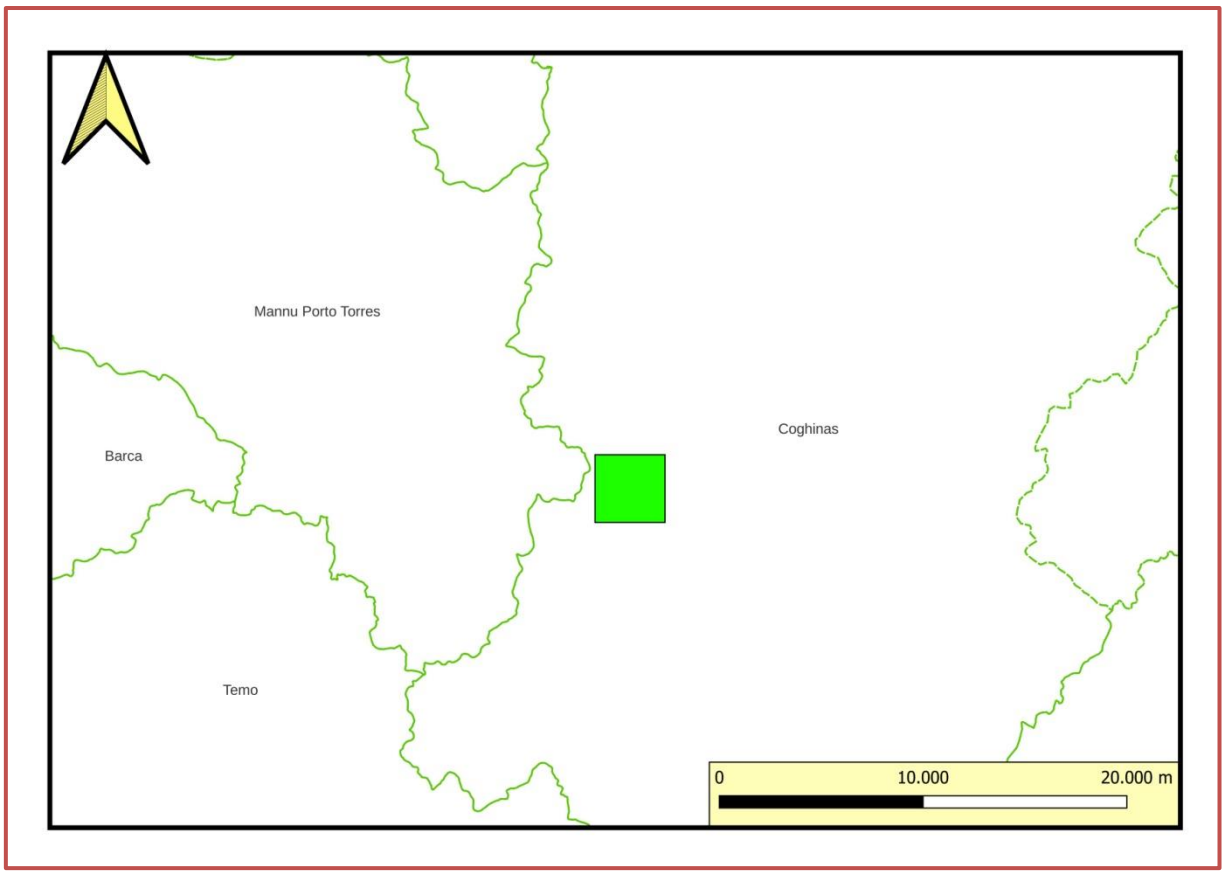


FIGURA 32– Stralcio bacini idrografici della Sardegna settentrionale. Il quadrato verde individua la posizione dell'area di studio

Nel dettaglio si distinguono 2 bacini imbriferi minori socchiusi immediatamente a valle dell'area di progetto:

- Il sub-bacino del Rio Pizzinnu, di 53,29 km^2 che interessa la porzione nord;
- Il sub-bacino del Rio Cannazzu, di 32,45 km^2 che interessa la porzione orientale;

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.

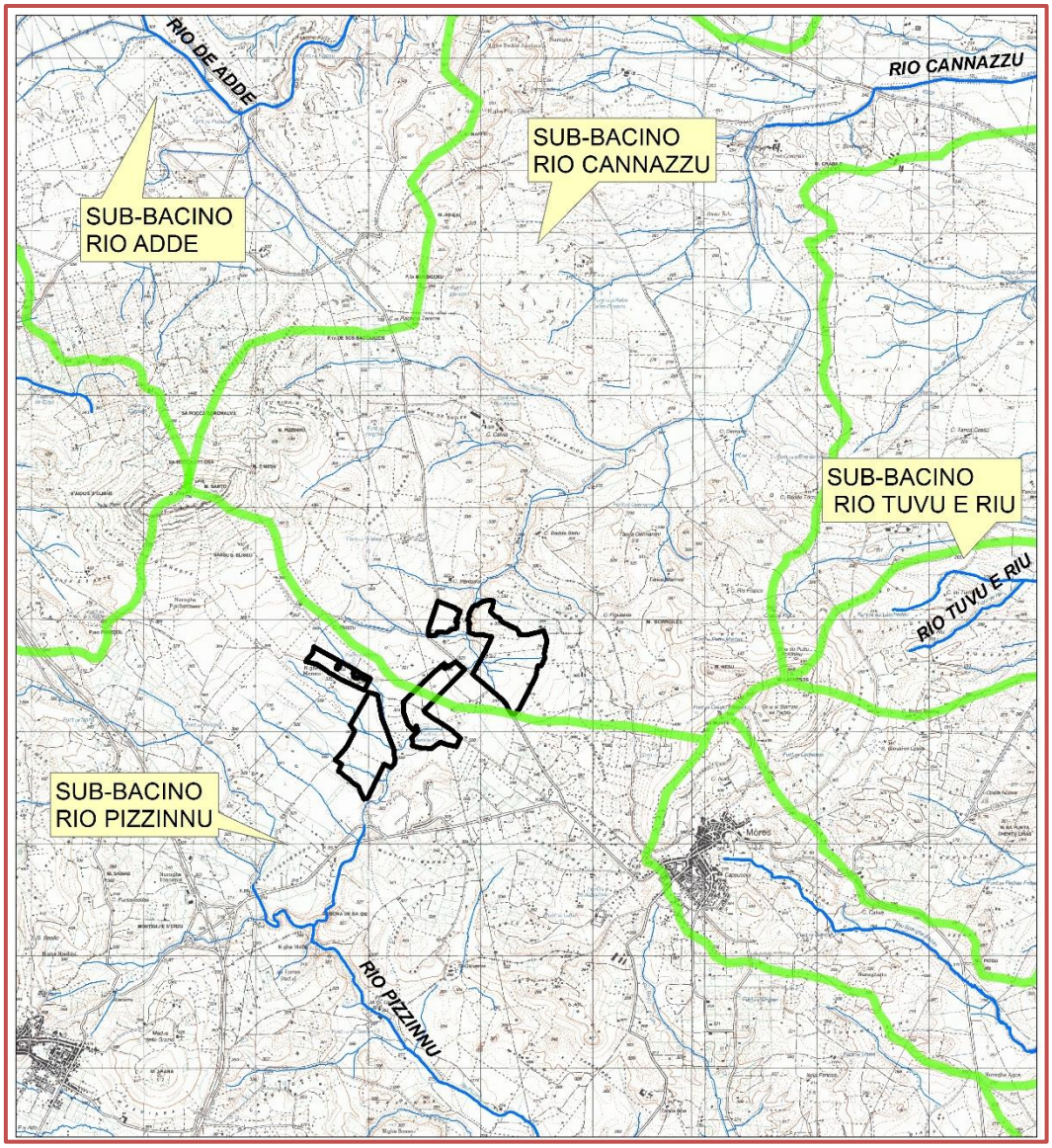


FIGURA 33– Suddivisione dell'area d'indagine nei sub-bacini imbriferi di riferimento

Stando a quanto sopra si comprende che l'area ove andranno posizionati gli impianti è posta su una sella che disegna la linea spartiacque tra il sub-bacino del Rio Pizzinnu e il sub-bacino del Riu Cannazzu.

La carta di figura 34 mostra come le acque di ruscellamento provenienti dal versante di Monte Santo (nord ovest) e di Monte Mesu – Su Monte (est) convergono nell'area d'indagine per poi essere convogliate verso il Rio Pizzinnu a sud e verso il Riu Cannazzu a nord.

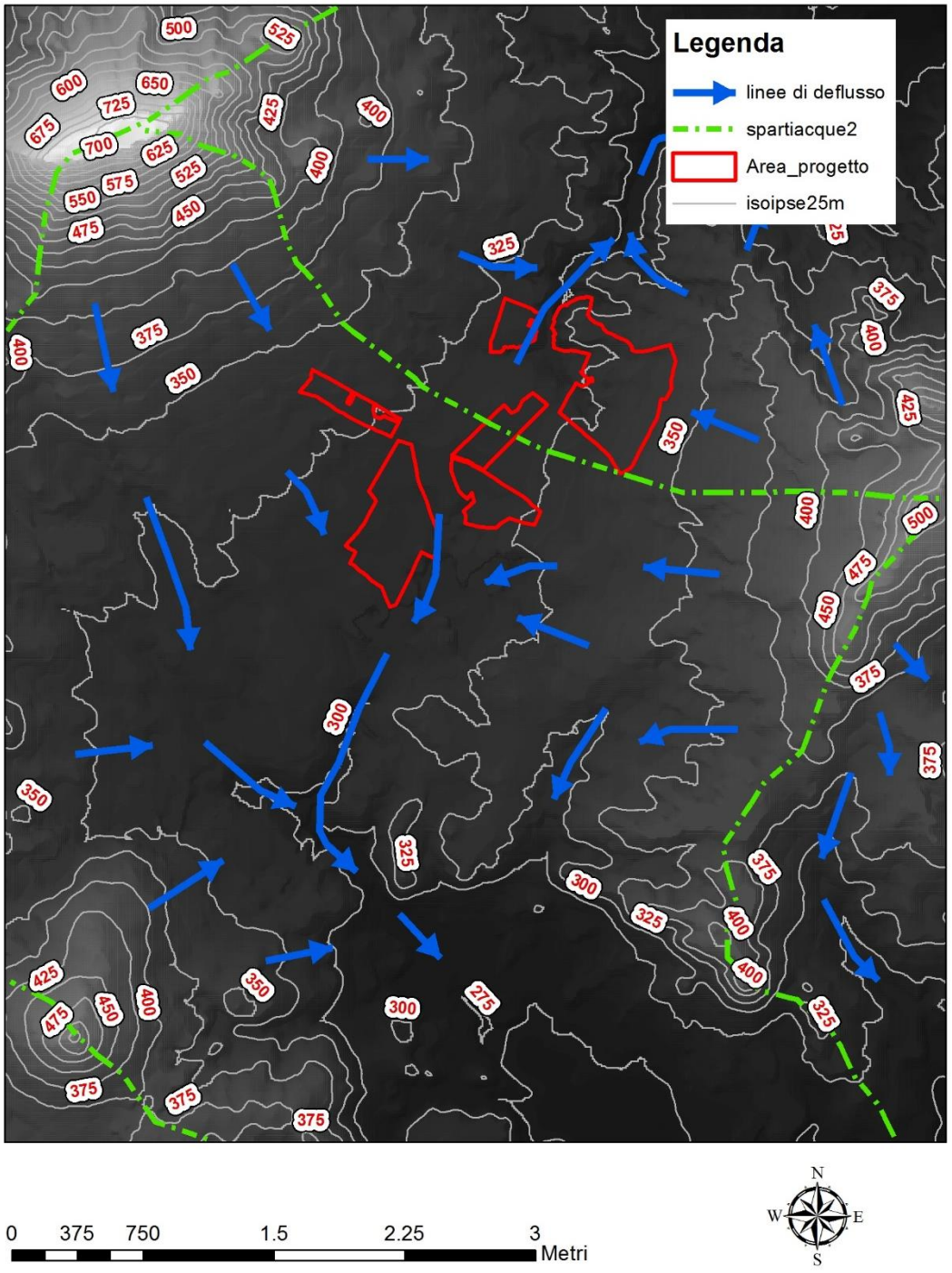


FIGURA 34- Modello digitale del terreno e direzione di deflusso delle acque di ruscellamento superficiale

3.6. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area in studio sono presenti 3 unità acquifere principali:

- L'unità **Acquifera della successione vulcanica appartenente al I ciclo oligo miocenico**
- L'unità **Acquifera sedimentaria terziaria appartenenti al II ciclo oligo miocenico**
- L'unità **Acquifera delle vulcaniti Plio-Quaternarie**

L'acquifero della successione vulcanica oligo miocenica, è costituito da flussi piroclastici più o meno saldati, talora intervallati da depositi cineritici poco permeabili, permeabili per porosità e fessurazione. La permeabilità primaria è generalmente medio bassa e dell'ordine di **10^{-7} m/s=k=10^{-8} m/s**, variabile in funzione del grado di saldatura delle ignimbriti e della tessitura.

L'acquifero sedimentario terziario appartenente al II ciclo oligo-miocenico, è localmente rappresentato dalle litologie sabbioso conglomeratiche, talora a matrice carbonatica, delle formazioni di Oppia Nuova e Mores, permeabili per porosità. La permeabilità primaria è generalmente medio alta e dell'ordine di **10^{-3} m/s=k=10^{-4} m/s**, variabile in funzione della tessitura del terreno. Al contrario delle calcareniti e delle arenarie carbonatiche appartenenti alla formazione di Mores, permeabili per porosità e per fessurazione la cui permeabilità è medio bassa e dell'ordine di **10^{-6} m/s=k=10^{-7} m/s.**

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

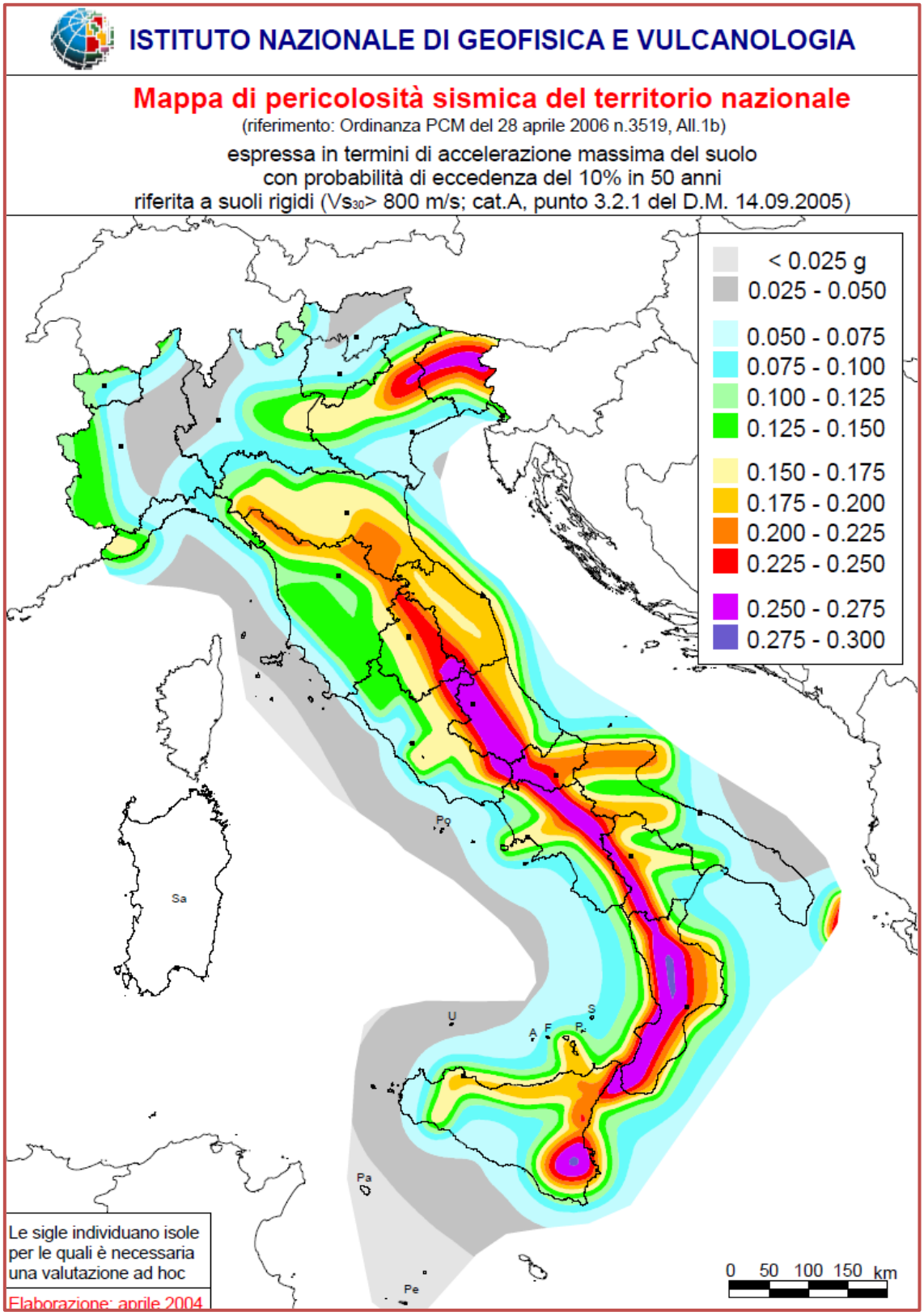


Figura 35 - Mappa di pericolosità sismica nazionale

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.

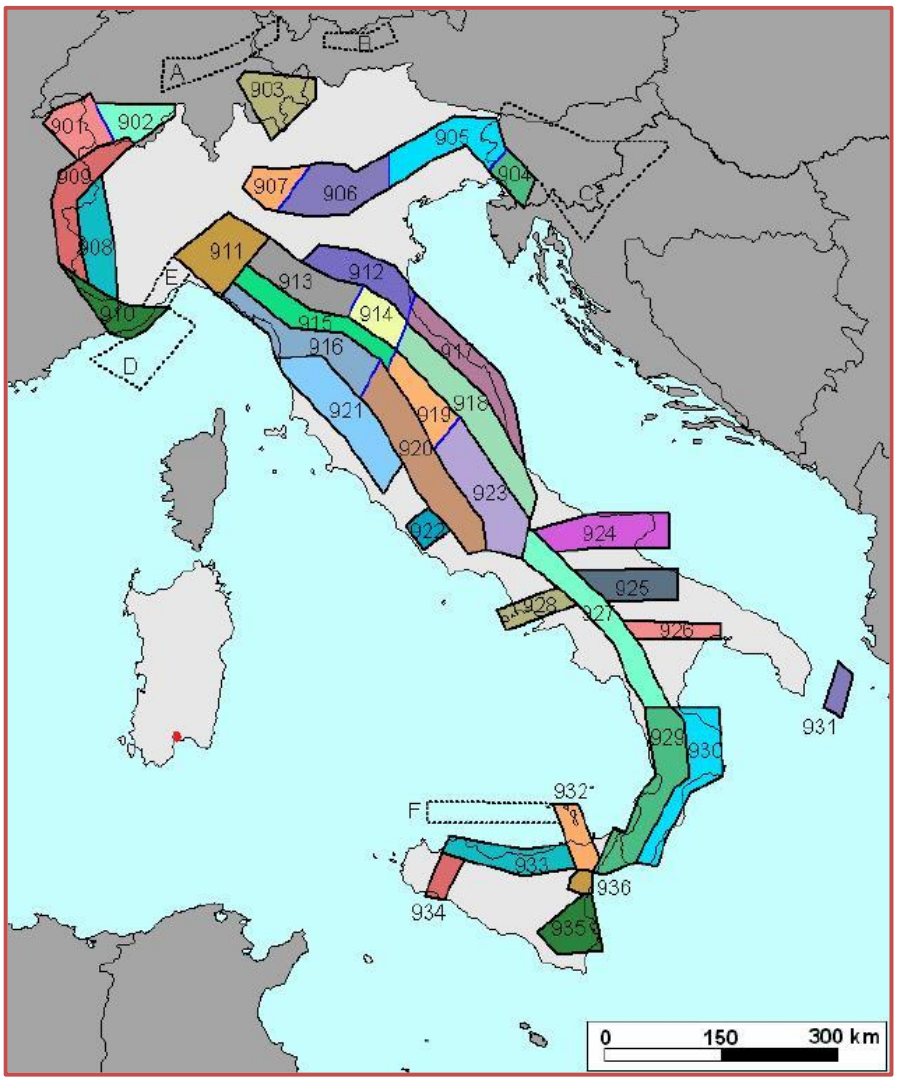


Figura 36– Zonazione sismogenetica ZS9

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 ≤ 5Mw 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 Mw<5 e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

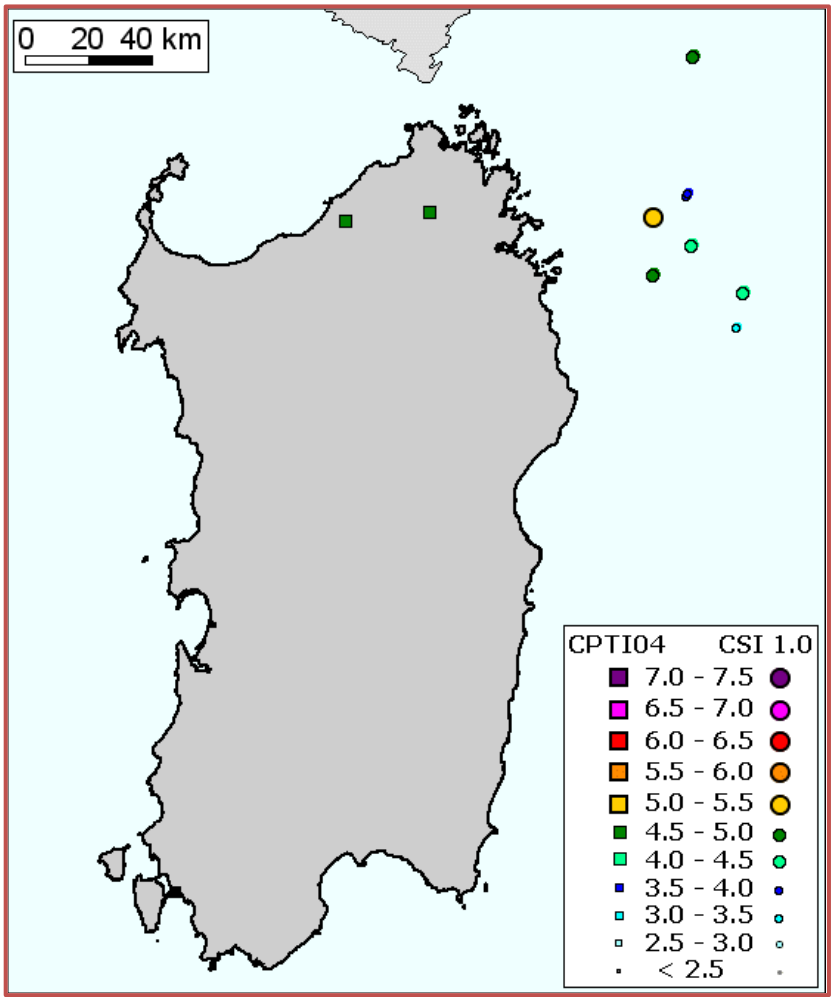


Figura 37 - Distribuzione dei terremoti in Sardegna e nei mari adiacenti.

Nel documento D1 (*Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., 2007. Valutazione standard (10%,475 anni) di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D1*, http://esse1.mi.ingv.it/d1.html) 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:

	Slejko et al. (1999)	*Albarello et al. (2000) valore mappa*	*Albarello et al. (2000) valore capoluogo*	*Romeo et al. (2000)*	*MPS04*	*Prestininzi et al. (2005)*
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 36 MWP DENOMINATO "MORES 2" SITO NEI COMUNI DI BONNANARO E MORES (SS) LOCALITÀ "CAMPU MARTE" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN CHE INTERESSANO I COMUNI DI MORES, BONNANARO, TORRALBA E BONORVA (SS)".

Le opere in progetto sono allocate all'interno delle **UNITÀ SEDIMENTARIE OLIGO-MIOCENICHE,** ricoperte marginalmente da una **coltre eluvio-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 plateux sono quindi il risultato di un'inversione di rilievo tra strati più facilmente erodibili e le più resistenti litologie basaltiche.

Da quanto osservato **i processi morfogenetici dominanti sono di erosione e trasporto dei sedimenti per azione del ruscellamento superficiale.**

L'area in studio è ubicata nel bacino idrografico del Coghinas. Alla scala locale si distinguono 2 sub-bacini ascrivibili ai corsi d'acqua del Rio Pizzinnu e del Rio Cannazzu.

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.
- Sia nell'impianto agrivoltaico che a intersezione con il cavidotto sono altresì presenti 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.

Ciò premesso, l'impianto agrivoltaico è stato opportunamente ubicato esternamente alle aree di prima salvaguardia.

Per quanto concerne gli **attraversamenti trasversali del cavidotto** è bene precisare che sono considerati ammissibili ai sensi **dell'art. 27 comma 3 lettera g.**

Per quanto concerne le eventuali interferenze tra le opere e i corsi d'acqua, esse saranno gestite nel rispetto della *Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché delle altre opere interferenti***, redatto dalla regione Sardegna ai sensi dell'art. 22 delle norme di attuazione del PAI.**

Eventuali recinzioni nelle aree in **Hi4** sono considerate ammissibili ai sensi **dell'art. 27 comma 2 lettera L**: *sono consentiti esclusivamente …. le opere di sistemazione e manutenzione di superfici inedificate o scoperte di edifici, compresi rampe di accesso, recinzioni, muri a secco, contenimenti in pietrame, terrazzamenti, siepi, impianti a verde, pergole e coperture a condizione che, con apposita* ***relazione asseverata del tecnico incaricato****, si dimostri che le opere non modificano significativamente il regolare deflusso della corrente.*

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

IL GEOLOGO

NICOLA PILI