

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

DISMISSIONE DELLA DIGA DI PERDU MULAS SUL RIO BACCH'È LINNA

ALLEGATO

E

*relazione geologica e geotecnica*

REDATTO DA: Mauro Pompei



Dott. Mauro Pompei  
geologo

Via Lorenzo il Magnifico n. 7  
09134 Cagliari (Italy)  
Tel./Fax +39 0706499009  
Mobile +39 336815504  
e-mail pompei.mauro61@gmail.com  
PEC pompei.mauro@epap.sicurezza postale.it

IL GEOLOGO:

Mauro Pompei



	DATA	DESCRIZIONE
REVISIONI	00	04.09.2019 Prima emissione
	01	14.09.2020 Secondo emissione
	02	
	03	
	04	

IL COMMITTENTE:

Impresa Manca Costruzioni Generali S.p.A.  
Località Villa d'Orri - 09018 Sarroch

## SOMMARIO

<b>1. GENERALITÀ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Premessa .....	1
1.2. Ubicazione dell'invaso .....	1
1.3. Sintesi delle conoscenze storiche, dello stato di fatto e della proposta di dismissione .....	5
<b>2. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Inquadramento geologico dell'area vasta .....	6
2.2. Assetto litostratigrafico locale.....	8
2.3. Sismicità dell'area .....	13
2.4. Classificazione sismica .....	13
2.5. Assetto idrogeologico .....	16
2.5.1. Unità metamorfica .....	16
2.5.2. Unità cristallina intrusiva ercinica .....	17
2.5.3. Unità arenaceo-siltitica eocenica .....	18
2.5.4. Unità vulcanica oligomiocenica .....	18
2.5.5. Unità detritico-alluvionale pleistocenica .....	18
2.5.6. Unità detritica-alluvionale olocenica .....	19
2.6. Assetto geomorfologico .....	19
2.7. Idrografia .....	20
<b>3. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA .....</b>	<b>22</b>
3.1. Pericolosità idraulica .....	22
3.2. Pericolosità da frana .....	22
<b>4. MODELLAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>23</b>
4.1. Aspetti litotecnici generali .....	23
4.2. Criteri di calcolo geotecnico .....	23
4.3. Esito delle verifiche di stabilità.....	25



## 1. GENERALITÀ

### 1.1. Premessa

Il presente elaborato redatto dal geologo *Dott. MAURO POMPEI*<sup>(1)</sup> si inquadra nell'ambito della progettazione di fattibilità tecnico-economica per i lavori di «**Dismissione della Diga di Perdu Mulas sul Rio Bacch'e Linna**», sita in Comune di Sarroch, località Perdu Mulas di proprietà *MANCA DI VILLAHERMOSA (MICHELE, VINCENZO, CARLO, SIMONE, WILLIAM ed ARMANDO)*.

L'invaso, non essendo stato mai collaudato, a fronte della decisione dell'Ufficio Periferico del Servizio Nazionale Dighe del giugno 1996 che ne ordinava lo svuotamento, è inutilizzabile secondo la normativa vigente dunque motivo di spese di manutenzione non compensate in alcun modo, tanto da indurre i concessionari a propendere per la sua dismissione.

Lo studio condotto in questa sede si è basato sui dati acquisiti nel corso di specifici sopralluoghi, sulle informazioni estrapolate dalla documentazione progettuale per la fase in essere a cura dell'Ing. *GIANNI LAI*<sup>(2)</sup>, nonché da una relazione contenente le verifiche di stabilità in fase di sanatoria delle opere<sup>(3)</sup>.

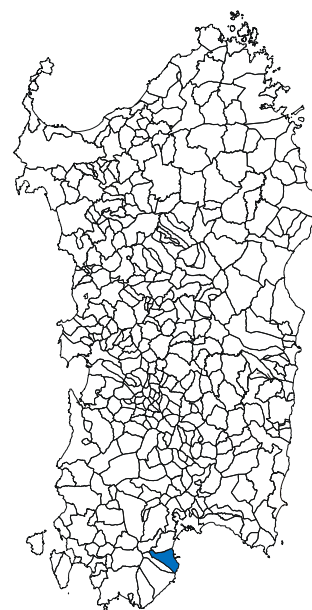
### 1.2. Ubicazione dell'invaso

Lo sbarramento in argomento ricade nel settore sud della Sardegna, in prossimità della chiusura, verso ovest, del Golfo di Cagliari, in Comune di Sarroch (Provincia Sud Sardegna).

Più precisamente si colloca nell'immediato entroterra costiero a monte della piana attualmente occupata dal sito industriale petrolchimico, nonché del nuovo tracciato della SS 195. Dalla vecchia strada "Sulcitana", è raggiungibile imboccando al km 17,3 circa, una strada di penetrazione agraria che consente di passare al di sotto del viadotto della nuova S.S.195.

I principali riferimenti cartografici sono rappresentati da:

- Foglio 565 "CAPOTERRA" I.G.M.I. [scala 1:50.000]
- Foglio 565-I "CAPOTERRA" I.G.M.I. [scala 1:25.000]
- Sezione 565-120 "PUNTA DE SU SUINARGIU" C.T.R. [scala 1:10.000]
- Sezione 566-090 "SARROCH" C.T.R. [scala 1:10.000]



**FIGURA 1**  
**Comune di Sarroch**  
Inquadramento geografico.

<sup>(1)</sup> Albo Geologi della Regione Sardegna N. 211 – Sezione A.

<sup>(2)</sup> Ing. *GIANNI LAI*, Allegato A «*Relazione Illustrativa*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Allegato B «*Documentazione fotografica*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Allegato C «*Relazione idrologica*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Allegato D «*Relazione idraulica*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Tavola 1 «*Corografia con ortofoto*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Tavola 2 «*Schema intervento*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Tavola 3 «*Planimetria canale con sezioni*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Tavola 4 «*Particolari costruttivi canale*», progetto preliminare, aggiornamento 08-2019,  
Ing. *GIANNI LAI*, Tavola 5 «*Profilo idraulico*», aggiornamento 08-2019.

<sup>(3)</sup> Ing. *LUIGI SANNA* e Ing. *STEFANO COLA*, «*Rilevato di sbarramento - Verifiche di stabilità*», 29.03.2005.





FIGURA 2 - Ubicazione dell'invaso su stralcio cartografia I.G.M. in scala 25.000.



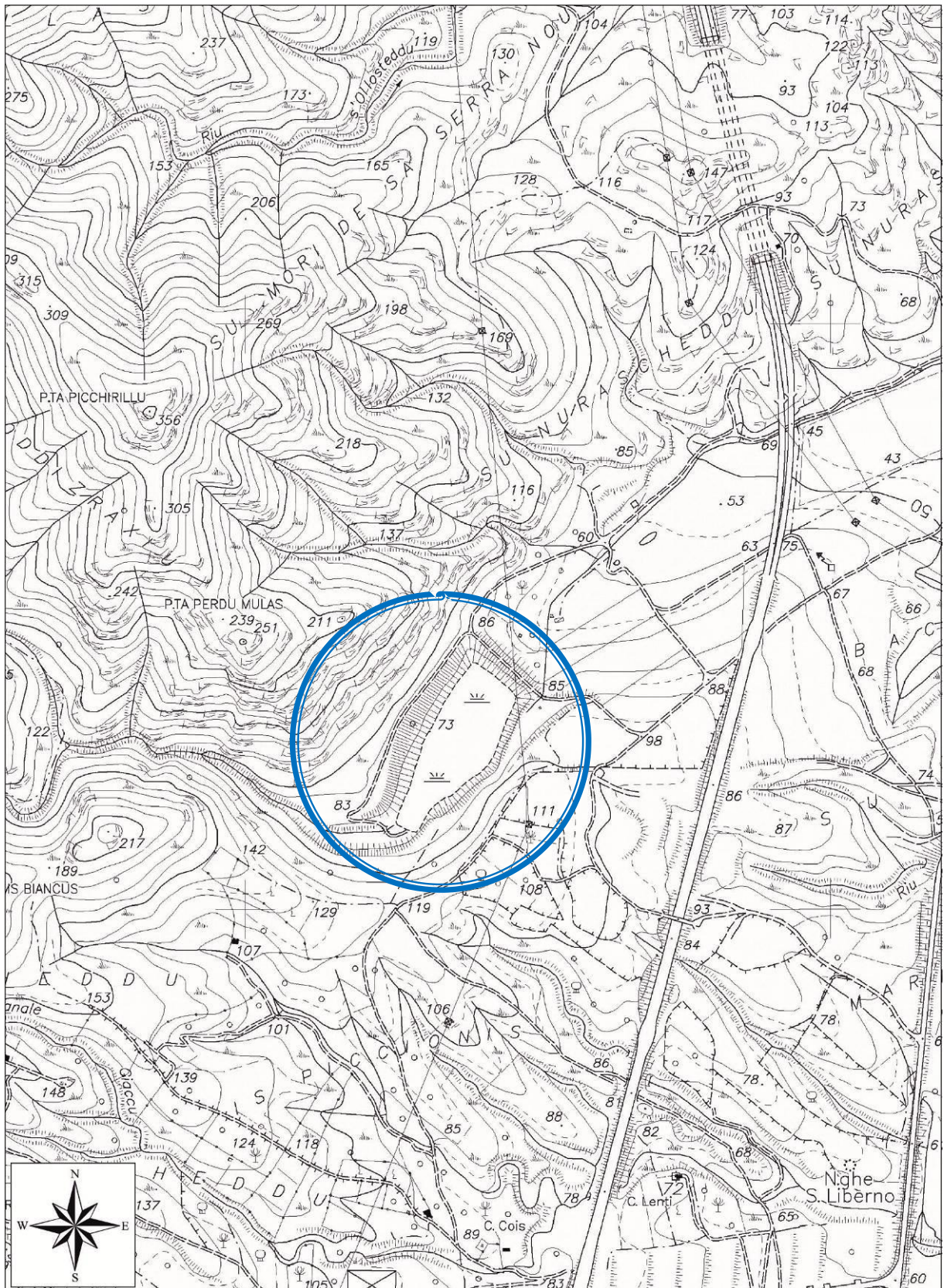


FIGURA 3 - Ubicazione dell'invaso su stralcio cartografia C.T.R. in scala 1:10.000.



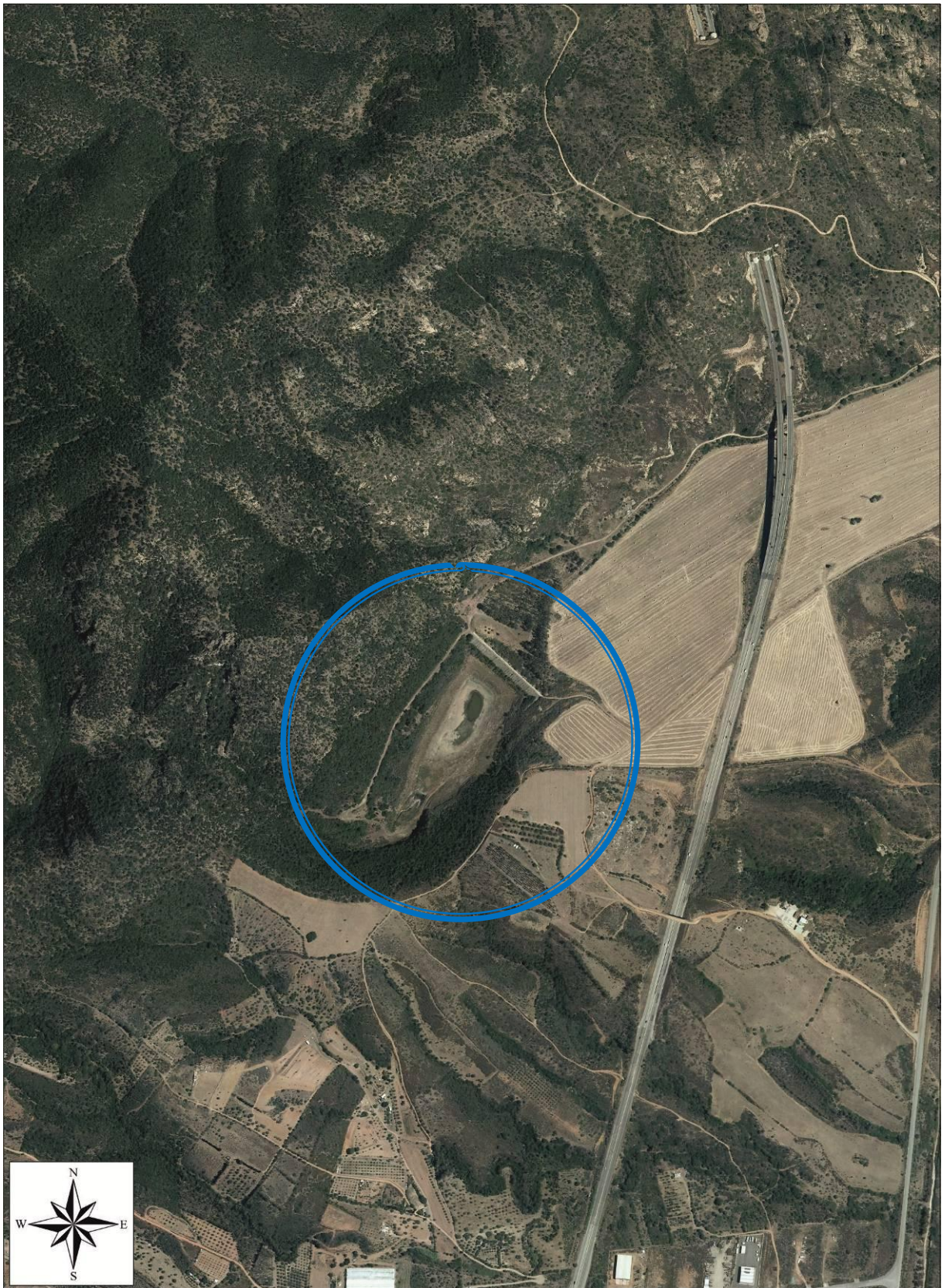


FIGURA 4 - Ubicazione dell'invaso su immagine satellitare estratta da Google Earth 2017.



### 1.3. Sintesi delle conoscenze storiche, dello stato di fatto e della proposta di dismissione

Dalle informazioni contenute negli elaborati di progetto consultati, lo sbarramento venne approvato dalla IV Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP. in data 1968 sentito il parere del Servizio Dighe. Il progetto esecutivo, risalente invece all'agosto 1967 prevedeva la realizzazione di un lago collinare da utilizzare per l'irrigazione dei terreni dell'Azienda Agricola Manca di Villahermosa aventi una estensione di circa 66 ettari.

Il rilevato costituente lo sbarramento sul Rio Bacch'e Linna nel tratto prospiciente il versante sud-orientale del rilievo collinare denominato Punta Perdu Mulas è dichiarato costituito da «materiali sciolti di tipo omogeneo» e ha uno sviluppo lineare con altezza massima del coronamento di 22,80 m ai sensi della L. 584/94 nella sua parte centrale. La superficie del bacino sotteso è di circa 1,47 Km<sup>2</sup>.

Per i dettagli degli aspetti dimensionali del rilevato e dell'invaso si rimanda agli elaborati a firma dell'Ing. GIANNI LAI, progettista dell'intervento di dismissione.



FOTO 1 - Panoramica attuale dell'invaso in argomento.

## 2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

### 2.1. Inquadramento geologico dell'area vasta

L'areale studiato appartiene alla fascia collinare e pedemontana che contorna il bordo sudorientale dell'entroterra montano del Sulcis e che poi prosegue, verso la linea di costa, con le colline vulcanico-andesitiche di Sarroch - Pula - Santa Margherita: si tratta di un settore della Sardegna sud-occidentale fortemente condizionato dagli eventi tettonici susseguitisi in varie fasi durante il Cenozoico (circa 65 M.a. fa e l'Attuale), in concomitanza con la formazione delle catene montuose dei Pirenei e degli Appennini. Infatti, tralasciando completamente gli eventi geologici che hanno determinato la formazione del basamento metamorfico e intrusivo ercinico che costituisce l'ossatura rocciosa del Sulcis-Iglesiente montano, l'attuale assetto dei luoghi ha un'origine relativamente recente, compresa tra l'Eocene medio (circa 40 M.a. fa) ed il Quaternario.

A partire dal Luteziano (circa 52÷39 M.a.) la Sardegna, ed in particolare l'attuale settore sud-occidentale, attraversa un lungo periodo di continentalità caratterizzato da una notevole instabilità tettonica che favorisce prima la deposizione di grandi quantità di sedimenti detritici in facies fluviale conosciuti con il nome di *Formazione del Cixerri (CIX)* e successivamente (oligocene superiore) l'innescò di un imponente vulcanismo contraddistinto dall'emissione di prodotti prevalentemente andesitici, talora contemporaneo ad una sedimentazione di ambiente marino che interesserà invece altre ampie aree dell'Isola.

I prodotti vulcanici, definibili petrograficamente come andesiti a chimismo calcoalcalino, formano quasi tutti i rilievi collinari pericostieri compresi tra Sarroch e Santa Margherita di Pula e sono connessi con l'instaurarsi di nuove condizioni geodinamiche nel Mediterraneo occidentale che porteranno, prima attraverso un sistema di faglie trascorrenti responsabili dell'emissione dei prodotti vulcanici e successivamente, attraverso importanti movimenti crostali verticali, alla formazione di ampi bacini di sedimentazione marina ("rift sardo" Auct.) durante l'Oligocene superiore e il Miocene, sino al distacco e successiva rotazione in senso antiorario del blocco sardo-corso e alla sua attuale posizione nel Mediterraneo occidentale.

Nel settore studiato i depositi riferibili al periodo oligomiocenico sono esclusivamente vulcanici e si sono messi in posto lungo grandi linee di discontinuità crostale orientate grossomodo N-S, dando origine ad una serie di "domi" accompagnati da enormi quantità di brecce, depositi epiclastici talora conglomeratici e da subordinate lave. L'emissione di questi prodotti ha determinato lo smembramento e disarticolazione della preesistente copertura detritica eocenica in facies detritico-alluvionale che in ampi areali è stata totalmente sostituita dalle vulcaniti andesitiche e/o intensamente strutturata secondo complesse geometrie.

Durante il Pliocene, in un clima geodinamico marcatamente distensivo in concomitanza con l'apertura del bacino marino tirrenico, la Sardegna meridionale subisce un'ulteriore trasformazione strutturale con la formazione della fossa Campidanese ai cui estremi (attuali Golfo di Oristano e Golfo di Cagliari) si ha una blanda ingressione marina.

Nel corso di questa fase tettonica il settore di Pula-Sarroch subisce in modo significativo gli effetti della distensione crostale suddetta attraverso la riattivazione di faglie di impostazione oligo-miocenica orientate NNE-SSW che determinano un importante sprofondamento del complesso vulcano-sedimentario eocenico-oligocenico capace di conformare, lungo la stessa direzione, l'attuale linea di costa e il margine pedemontano del settore sud-orientale dei rilievi del Sulcis.





**FIGURA 5 - Inquadramento geologico di contesto**

La cartografia è tratta da "Carta Geologica della Sardegna" in scala 1:200.000, curata da: *Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna*, modificata.

- 1** Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, eolici e litorali (Olocene).
- 2a** Depositi alluvionali ciottoloso-ghiaiosi più o meno cementati, sabbie ed argille di facies fluviale e fluvio-deltizia (Pleistocene).
- 10a** F.NE DEL CIXERRI – Conglomerati, arenarie e siltiti argillose rossastre, continentali (Post-eocene medio – Oligocene)
- 12** Andesiti e daciti in cupole e colate laviche (Oligocene superiore – Miocene inferiore).
- 26** Leucograniti equigranulari con subordinate granodioriti tonalitiche (Carbonifero superiore – Permiano inferiore).
- 56** Quarziti, metarenarie, metasiltiti e metargilliti, metaconglomerati e breccie; olistoliti e olistostromi della successione siluriano-devoniana (Carbonifero inferiore).

Al contempo, il settore geografico di interesse (come del resto tutta la Sardegna emersa) subisce un'intensissima erosione tale per cui i prodotti di smantellamento dei rilievi metamorfico-cristallini del Sulcis (alluvioni e detriti di falda) verranno distribuiti, attraverso una serie di conoidi di deiezione, a colmare la fossa tettonica di neoformazione sino a dar luogo all'attuale piana del Campidano.

Durante il Quaternario (ultimi 1,8 m.a.), subisce gli effetti morfogenetici dell'alternanza di più fasi glaciali e interglaciali ed in particolar modo delle conseguenti variazioni eustatiche del livello del mare con importanti ripercussioni sia lungo la fascia costiera sia nell'entroterra montano. Il condizionamento dovuto alle repentine variazioni climatiche estreme (glaciazioni ed interglaciali caldi) favorisce l'evoluzione dell'orografia, condizionando fortemente i cicli di deposizione/erosione fluvio-torrentizia. Nel Pleistocene superiore, nel corso dell'interglaciale Riss-Würm, si ha infatti la deposizione di una notevole quantità di alluvioni che forma, sia lungo la costa sia lungo il bordo del occidentale del Campidano, una lunga fascia detritica che, in conseguenza del variare della quota del livello del mare, subisce estesi fenomeni di terrazzamento. Questi depositi, afferenti al "Sintema di Portovesme" (Subsintema di Portoscuso - **PVM2a**), risultano coevi o posteriori ad una blanda ingressione marina che consente la deposizione di sedimenti litorali (Subsintema di Calamosca – **PVM1**) attualmente osservabili lungo la fascia costiera sebbene molto frammentati e residuali.

Successivamente, con la progressione dell'ultimo glaciale che vede il picco di massima espansione circa 18.000 anni fa, si attiva una nuova fase erosiva che incide profondamente i depositi alluvionali e litorali in virtù del forte abbassamento del livello del mare (-130 m rispetto all'attuale) e di trasporto dei sedimenti verso l'attuale piattaforma sommersa.

Con la fine del glaciale würmiana e la risalita eustatica, nell'Olocene (ultimi 10-12.000 anni circa) si accumulano nuovamente i depositi alluvionali (**bn**) che subiranno anch'essi importanti fenomeni di terrazzamento e che sono responsabili dell'attuale conformazione costiera.

Sono da riferire all'Olocene anche le coltri detritiche di versante (**a**) e colluviali (**b2**) più o meno continue e quelle alluvionali (**b**) confinate entro gli attuali alvei.

Chiudono la successione stratigrafica i depositi antropici (**h1**) legati alle diverse tipologie di opere realizzate nel tempo in funzione delle esigenze insediative e produttive che nell'area di interesse sono rappresentate dalla presenza del polo petrolchimico.

Schematicamente, l'assetto geologico-stratigrafico del settore territoriale di area vasta che contorna il sito di intervento, viene rappresentato nella **CARTA GEOLOGICA** in scala 1:200.000 riportata in **FIGURA 5**.

## 2.2. Assetto litostratigrafico locale

Nel contesto geologico precedentemente descritto, l'assetto litostratigrafico dell'invaso e di un suo adeguato intorno può essere ricondotto alla successione delle seguenti unità, coerenti con quelle della Carta geologica d'Italia, a partire dalla più recente:

<b>h1</b>	Terre di origine antropica	[Attuale]
<b>b2</b>	Depositi colluviali	[Olocene]
<b>bna</b>	Alluvioni terrazzate	[Olocene]
<b>PVM2a</b>	Alluvioni antiche terrazzate	[Pleistocene]
<b>MAB</b>	Andesiti di Monte Arrubiu	[Oligo-Miocene]
<b>CIX</b>	Formazione del Cixerri	[Eocene medio – Oligocene medio]
<b>VLDc</b>	Basamento granitoide	[Carbonifero medio - Permiano]
<b>PMN</b>	Basamento metamorfico	[Carbonifero]



Le suddette unità geologiche vengono di seguito sinteticamente descritte rimandando alla fase progettuale più avanzata l'approfondimento delle caratteristiche fisico meccaniche.

### **h1 - TERRE DI ORIGINE ANTROPICA**

Depositi detritici di origine antropica a composizione terrigena naturale, tessitualmente e strutturalmente eterogenei, con granulometria molto variabile, derivanti da scavi, rinterri, colmate, rilevati, discariche di inerti, discariche di rifiuti, etc..

*Lo spessore è variabile a submetrico sino a pluridecamentrico, come ad esempio il rilevato formante lo sbarramento oggetto del presente studio.*

### **b2 - DEPOSITI COLLUVIALI**

Questi depositi costituiscono la copertura detritica più superficiale essendo formati da terre detritiche trasportate dal ruscellamento areale e pertanto distribuite irregolarmente nelle aree a debole pendenza prossime o coincidenti con ampi fondovalle e/o in prossimità del piede di versanti poco acclivi.

In funzione del substrato e del contesto morfologico, possono variare sia la composizione dei terreni sia la loro granulometria che in genere è sabbioso-ghiaiosa con significativa componente limo-argillosa. Inoltre i depositi appartenenti a questa unità rappresentano i suoli agricoli del settore caratterizzati da discreta presenza di materiale organico.

Il loro spessore generalmente risulta inferiore a 0,50 m.

### **bna - ALLUVIONI TERRAZZATE**

Trattasi di depositi ciottoloso-ghiaiosi costituiti da elementi clastici provenienti dallo smantellamento degli adiacenti rilievi metamorfico-cristallini e vulcanici. Sono in genere caratterizzati da un elevato grado di elaborazione, immersi in abbonante matrice sabbiosa e/o limo-argillosa talora ferrettizzata, in giacitura da caotica a pseudo-stratificata.

Il grado di addensamento è variabile in funzione dell'età relativa di deposizione. Il loro colore varia dal beige al marrone con locale tonalità calde a causa del rimaneggiamento di clasti di alluvioni pleistoceniche. Per tale motivo il colore comprende cromatismi dal rosso mattone al giallastro-beige.

Gli spessori crescono man mano che ci si sposta verso la costa anche se generalmente essi non superano la decina di metri.

### **PVM2a - ALLUVIONI ANTICHE TERRAZZATE**

Litofacies nel Subsistema di Portoscuso ("Sintema di Portovesme") costituita da prevalenti depositi ghiaiosi alluvionali terrazzati con clasti di dimensioni da medie a grossolane, con subordinate sabbie.

Tutta la fascia pedemontana e pericostiera è caratterizzata da una potente coltre detritica formata in seguito all'accumulo di materiali erosi dai rilievi circostanti, indicati con il generico termine di "glacis": trattasi di elementi eterometrici di natura granitica e subordinatamente quarzítica e scistosa, con debole grado di elaborazione o a spigoli vivi, immersi in una matrice arenaceo-argillosa, arrossata da ossidi di ferro.

*Questa unità affiora diffusamente nel bordo meridionale del bacino idrografico del Rio Bacch'e Linna costituendo anche parte della sponda dell'invaso in questione.*

## MAB - ANDESITI DI MONTE ARRUBIU

Si tratta di facies sia effusive sia ipoabissali petrograficamente e chimicamente identificabili come “andesiti”, talora autobrecciate, da grigie a violacee, porfiriche in massa di fondo microcristallina, con intercalati di livelli epiclastici, di conglomerati vulcanici caotici e, localmente, di breccie di esplosione.

I tipi litologici affioranti lungo delle pendici della cintura pericollinare che delimita la piana costiera variano da facies tufacee talora brecciose e clastiche connesse con la presenza di domi lavici, alle lave costituenti piccole colate (più rare), queste ultime aventi caratteristiche maggiormente lapidee. Talora si rinvencono facies lapidee fratturate interessate da numerosi filoncelli di quarzo. Il grado di alterazione risulta notevole soprattutto nelle facies piroclastiche ad elevata componente cineritica e brecciosa che talvolta determina la formazione di argille.

*Questa unità si rinviene in affioramento, in piccoli lembi discontinui e prevalentemente alterati, lungo la stradella di accesso alla diga sul versante in sinistra orografica.*



FOTO 2 - Andesiti lapidee affioranti in prossimità dello sbarramento.

## CIX - FORMAZIONE DEL CIXERRI

Si tratta in prevalenza di argille siltose di colore rossastro-violaceo associate ad arenarie quarzoso-feldspatiche in bancate con frequenti tracce di bioturbazione e a conglomerati eterometrici e poligenici debolmente cementati.

*Questa unità si rinviene in affioramento in sponda sinistra dell'invaso e costituisce probabilmente, anche il substrato di appoggio dello sbarramento. Si ritiene altresì probabile costituiscono anche buona parte del substrato geologico dell'invaso.*



### **VLDc - BASAMENTO GRANITOIDE**

Il basamento granitoide locale si identifica con l'Unità intrusiva di Villacidro - Facies Monte Lattias (**VLDc**), rappresentata da leucosienograniti biotitici a grana grossa, bianco-rosati, da equigranulari a moderatamente inequigranulari, a tessitura isotropa.

Si presentano molto fratturati e caratterizzati da elevata alterazione che interessa in profondità il corpo roccioso: tale aspetto, associato alla intensa fratturazione, ha inoltre favorito una discreta disgregazione dell'ammasso cristallino e la formazione di una microporosità talora di rilievo idrogeologico. In subordine, intercalati nei graniti, sono presenti filoni prevalentemente quarzosi (e talora aplitico-pegmatitici e più raramente lamprofirici) di genesi idrotermale legati alle fasi tardive della Orogenesi ercinica.

*Questa unità costituisce, parte del bacino idrografico dei Rio Bacch'e Linna in sinistra idraulica.*

### **PMN - BASAMENTO METAMORFICO**

Alternanza di metarenarie e metasiltiti con laminazioni incrociate e piano-parallele; localmente metaconglomerati ad elementi di liditi e rare metavulcaniti basiche cloritizzate e metavulcanoclastiti, ascrivibile alla Formazione di Pala Manna.

Si tratta di rocce metamorfiche di medio grado, prevalentemente arenaceo-pelitiche in strati e bancate di spessore variabile, talora massive, di colore grigio-verdastro, associate a lenti carbonatiche silicizzate e scisti di colore scuro intercalate da rari livelli di liditi.

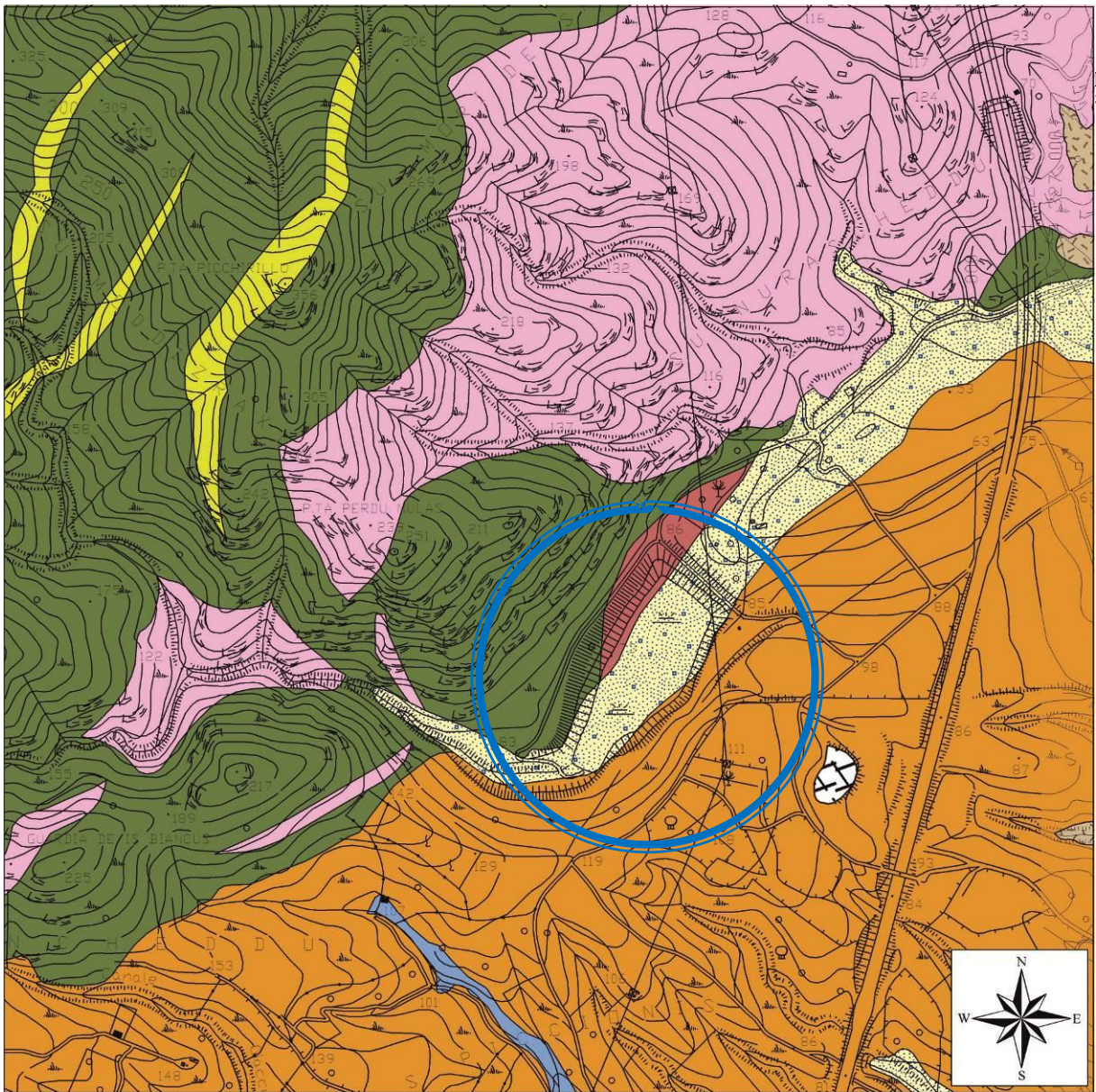
Tutto il complesso litologico è interessato da un'elevata deformazione plicativa avvenuta durante l'Orogenesi Ercinica che, associata da una forte fratturazione, ha prodotto un insieme piuttosto caotico di rocce riferibile all'arco di tempo tra l'Ordoviciano e il Devoniano.












**FOTO 3** - Panoramica dei rilievi al contorno.

A sinistra le metamorfite marroncino violacee e a destra sullo sfondo i graniti in arancio rosa.





-  Depositi antropici costituiti discariche per rifiuti solidi urbani (Olocene).
-  Coltri eluvio-colluviali costituiti da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica (Olocene).
-  Depositi alluvionali costituiti da ghiaie da grossolane a medie (Olocene).
-  Depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie con subordinate sabbie (Olocene).
-  Litofacies nel Subsistema di Portoscuso, Sistema di Portovesme - Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie (Pleistocene superiore).
-  Formazione del Cixerri - Argille siltose di colore rossastro, arenarie quarzoso-feldspatiche in bancate con frequenti tracce di bioturbazione, conglomerati eterometrici e poligenici debolmente cementati (Eocene medio? - Oligocene superiore).
-  Litofacies nella Formazione di Pala Manna - Metaquarzoareniti listate in bancate (Carbonifero ?inf.).
-  Formazione di Pala Manna - Alternanza di metarenarie e metasiltiti con laminazioni incrociate e piano-parallele; localmente metaconglomerati ad elementi di liditi e rare metavulcaniti basiche cloritizzate e metavulcanoclastiti. (Carbonifero -inferiore).
-  Facies Monte Lattias (Unità Intrusiva Di Villacidro) - Leucosienograniti biotitici a grana grossa, bianco-rosati, da equigranulari a moderatamente inequigranulari, a tessitura isotropa. Litofacies di bordo da porfiriche a microgranulari (Carbonifero superiore - Permiano).

**FIGURA 6 - Carta Geologica**

Stralcio della "CARTA GEOLOGICA D'ITALIA" a cura di: APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi geologici e Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia, modificata in scala 1:10.000.



### 2.3. Sismicità dell'area

La bassa sismicità della Sardegna è nota, in virtù della generale stabilità del blocco sardo-corso negli ultimi 7 m.a.. Dai dati macrosismici provenienti da studi INGV e di altri enti utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04, consultabili dal sito web "DBMI04", per l'Isola non sono segnalati eventi sismici significativi, al massimo del VI grado della scala Mercalli.

Si porta ad esempio il terremoto del 04.06.1616 che determinò danneggiamenti vari a edifici della Cagliari di allora e ad alcune torri costiere attorno a Villasimius. Altri terremoti degni di nota (oltre ai primi registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica negli anni 1838 e 1870 rispettivamente del VI e V grado della scala Mercalli) risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di Sardegna, verso la Tunisia, VI grado) e al 1960 (V grado), con epicentro i dintorni di Tempio Pausania).

Degno di attenzione è sicuramente anche quello avvertito nel cagliaritano il 30.08.1977 provocato dal vulcano sottomarino Quirino mentre, più recentemente (03.03.2001) è stato registrato un sisma di magnitudo 3,3 Richter (IV grado scala Mercalli) nella costa di San Teodoro ed un sisma di analoga magnitudo il 9 novembre 2010, nella costa NW dell'Isola. Altri episodi, con epicentro nel settore a mare poco a ovest della Corsica e della Sardegna, sono stati registrati in Sardegna nel 2011 con magnitudo compresa tra 2,1 e 5,3 e ipocentro a profondità tra 11 km e circa 40 km di profondità.

Si segnalano altri terremoti tra il 2006 e il 2007 nel Medio Campidano seppure di magnitudo mai superiore e 2,7 (13.07.2006, magnitudo 2,7 a 10 km di profondità con epicentro Capoterra; 23.05.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro Pabillonis; 02.10.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro tra Pabillonis e Guspini).

Alla luce di questo quadro, non si escludono che eventi sismici di eccezionale intensità, localizzati nel Tirreno, possano indurre vibrazioni i cui effetti sulla struttura in possono ritenersi di blanda entità.

### 2.4. Classificazione sismica

Il panorama legislativo in materia sismica è stato rivisitato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'Ordinanza P.C.M. 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*» entrata in vigore dal 25.10.2005, in concomitanza con la pubblicazione della prima stesura delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dalla successiva O.P.C.M. n. 3519/2006. In relazione alla pericolosità sismica - espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi - il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità in funzione di altrettanti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo ( $a_{g475}$ ), ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% attribuiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s alle quali si applicano norme tecniche differenti le costruzioni.

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di  $a_{g475}$  con una tolleranza 0,025g (**FIGURA 7**): a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $a_g$ ), che deve essere considerato in sede di progettazione.

Tutto il territorio regionale ricade in **Zona 4**, contraddistinto da «pericolosità sismica BASSA» a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa ed al parametro  $a_g$  è assegnato un valore di **0,025±0,05 g** da adottare nella progettazione.

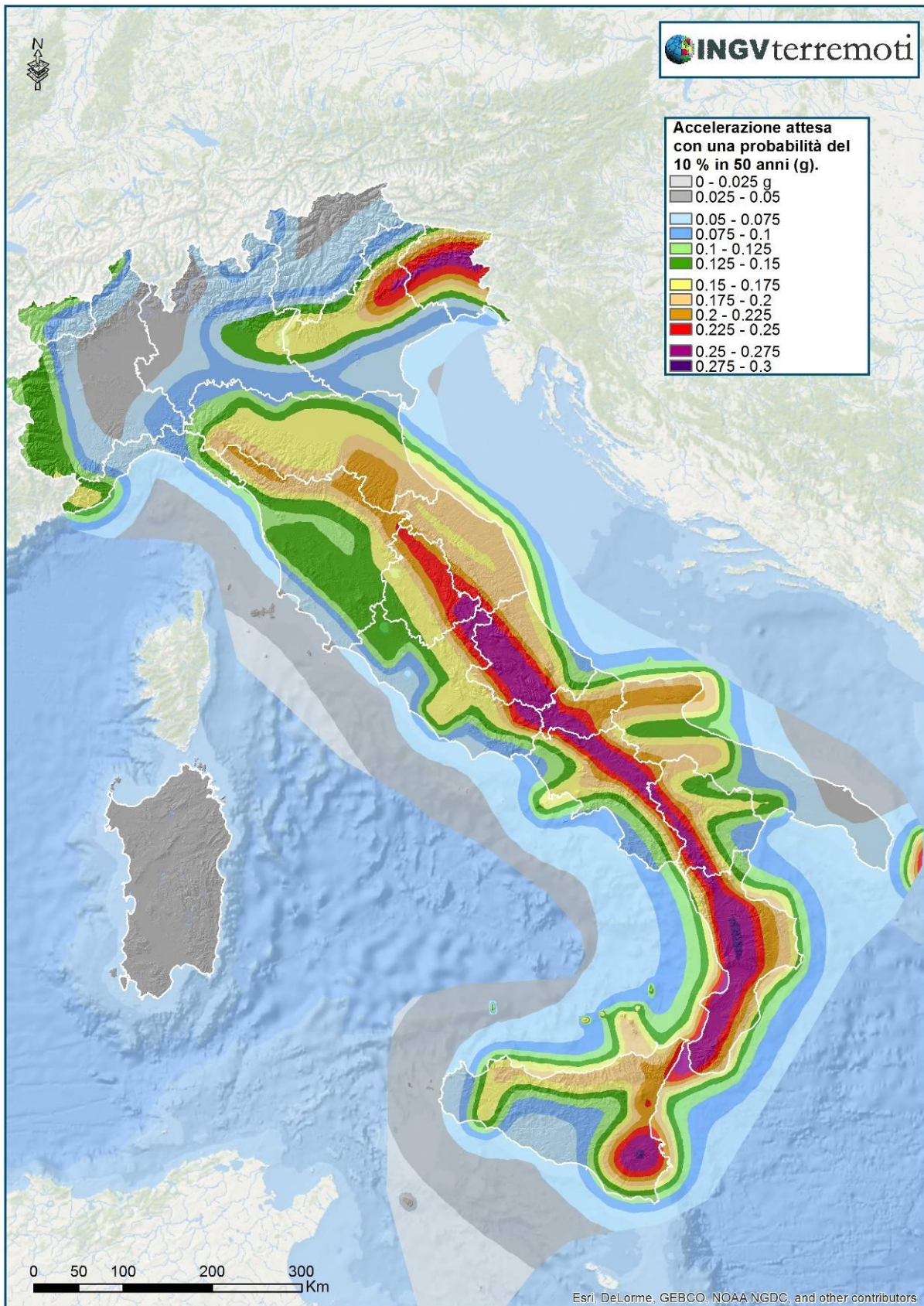


FIGURA 7 - Mappa dell'accelerazione attesa con una probabilità del 10% in 50 anni (INGV 2018).



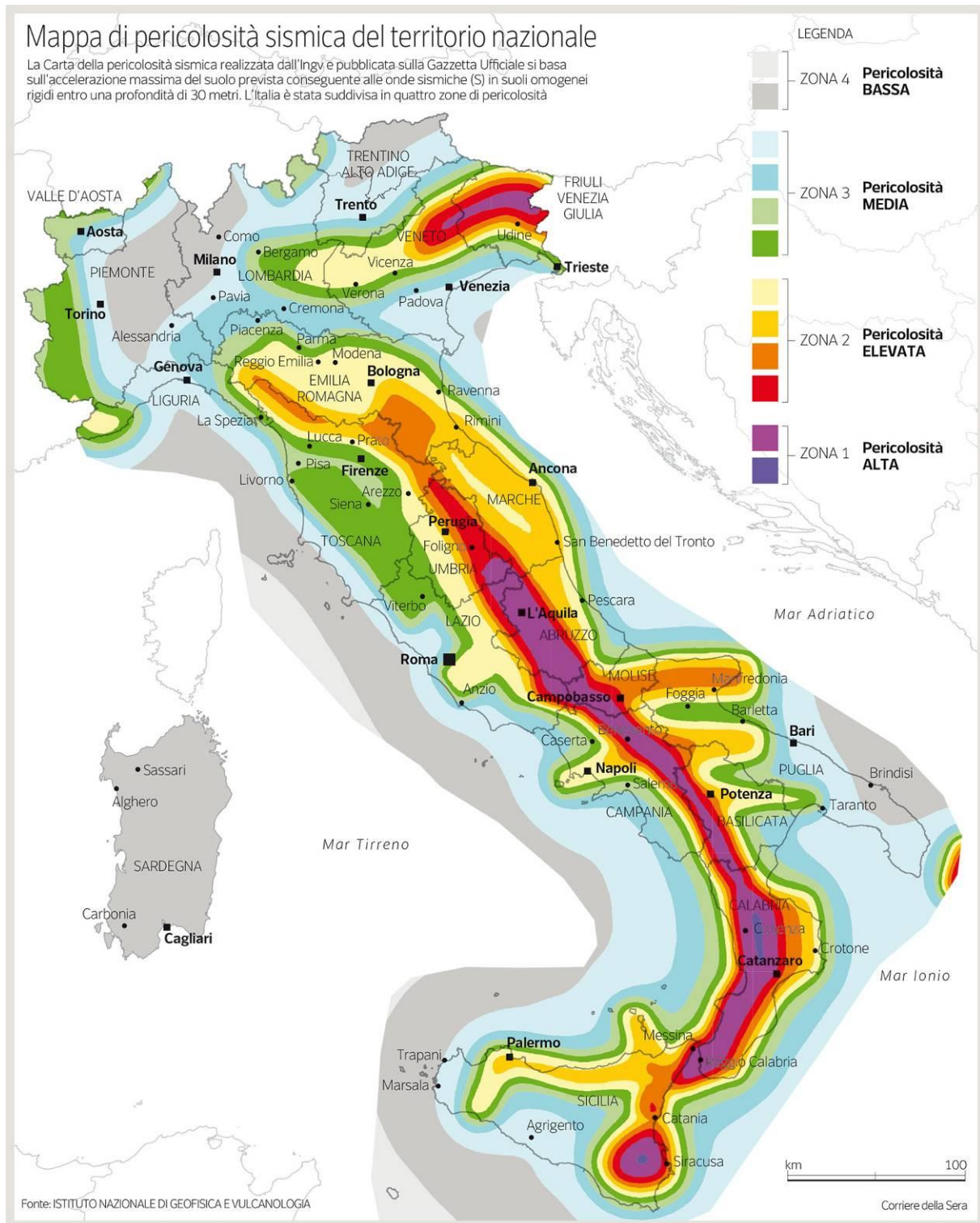


FIGURA 8 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata (INGV 2018).

Pur tuttavia, con la ratifica delle Norme Tecniche per le Costruzioni avvenuta con l'aggiornamento del 17.01.2018, anche in questo ambito per le verifiche geotecniche è obbligatorio l'utilizzo del metodo delle tensioni limite.

Per i comuni della Sardegna, così come per quelli ove si segnalano intensità massime molto basse o non esiste alcun dato osservato, è stato assegnato un valore "ponderato" di intensità ( $I_{max}/pon$ ), stimato per estrapolazione dai valori osservati nei comuni limitrofi oppure calcolando un risentimento massimo a partire dal catalogo NT.3 mediante opportune leggi di attenuazione. Dei 375 comuni della Sardegna, meno del 5% ha comunicato al G.N.D.T. i dati relativi all'intensità macrosismica MCS: in ogni caso, nella totalità delle rilevazioni, i valori sono risultati minori di 6.

Per quanto riguarda la massima intensità macrosismica  $I_{max}$  (che rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente) si fa riferimento alla classificazione del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (G.N.D.T.).

## 2.5. Assetto idrogeologico

Ai fini di un inquadramento della problematica idrogeologica, la permeabilità dei diversi substrati è stata ricavata da un'indagine bibliografica e dalle informazioni ottenute in possesso dello scrivente durante i rilievi di campagna effettuati in altre occasioni nel medesimo settore sullo stato di aggregazione, fratturazione e alterazione delle rocce nonché dalla ubicazione delle sorgenti e pozzi. Sono stati distinti tre tipi di permeabilità (**P** = per porosità, **F** = per fratturazione, **A** = per alterazione) e quattro livelli di grado di permeabilità (**IM** = impermeabile, **SP** = scarsamente permeabile, **MP** = mediamente permeabile e **AP** = altamente permeabile) per ciascuna unità idrogeologica.

### 2.5.1. Unità metamorfica

Questa unità è riferita al basamento metamorfico riconosciuto nel versante in sinistra idraulica del invaso, afferente alla F.ne di Pala Manna (PMN) e nonché costituente buona parte del bacino idrografico del Rio Bacch'e Linna.

La possibilità di flusso idrico e di immagazzinamento è determinata esclusivamente dalla presenza di discontinuità di vario tipo all'interno dell'ammasso roccioso. Trattandosi di rocce originariamente sedimentarie, queste discontinuità sono rappresentate dalle superfici connesse con l'originaria anisotropia composizionale del sedimento (giunti di strato o stratificazione) in funzione dalle particolari condizioni di sedimentazione, nonché dall'insieme di fessurazioni indotte nella roccia dalle deformazioni tettoniche subite durante tutte le vicissitudini geologiche attraversate: pertanto la circolazione dell'acqua è possibile perlopiù entro il complesso reticolo di macrofratture e di microfratture prevalentemente secondarie.

Poiché per le fratture maggiori risulta trascurabile il volume occupato, l'immagazzinamento delle acque di infiltrazione è invece a carico della microfessurazione in cui avviene anche una circolazione più lenta ma estesa, con caratteristiche talora simili a quelle dei mezzi porosi. Ciò significa che, sebbene la roccia costituente l'unità idrogeologica sia di per sé impermeabile a livello mesoscopico, l'ammasso roccioso nel suo complesso, grazie alla lentissima infiltrazione nell'intricato sistema di fessure, ha notevoli capacità di accumulo idrico sotterraneo che può venire rilasciato solo attraverso le sorgenti o attraverso un flusso idrico generalmente non sfruttabile con un'opera di captazione tradizionale.

Le pochissime sorgenti presenti in questa unità, almeno nell'intorno studiato, sono controllate dalla strutturazione tettonica dell'ammasso roccioso metamorfico che permette la fuoriuscita delle acque di falda attraverso fratture beanti dilavate dal continuo deflusso dell'acqua attraverso esse.





La loro portata è estremamente ridotta come del resto la loro attività durante il corso dell'anno. Infatti, tranne alcuni rari casi favorevoli ubicati in ogni caso a notevole distanza dal sito di interesse, si tratta per lo più di sorgenti con una portata irrisoria ( $< 0.20$  l/s) e temporanea poiché la maggior parte del flusso idrico viene probabilmente convogliato verso il basso ad alimentare un importante circuito idrico profondo di cui però non si conoscono né l'entità né le caratteristiche.

In occasione di periodi di prolungata piovosità, è possibile la attivazione di numerose venute d'acqua talora anche di discreta portata ma destinate ad esaurirsi in breve tempo per mancanza di una adeguata ricarica idrica proveniente da serbatoi profondi.

A causa dell'estrema variabilità delle condizioni predisponenti il flusso idrico all'interno dell'ammasso roccioso fratturato, il grado di permeabilità di questa unità varia da nullo (**IM**) a scarso (**SP**) mentre il tipo di permeabilità è essenzialmente per fratturazione (**F**).

### 2.5.2. Unità cristallina intrusiva ercinica

Questa unità è riferita al basamento cristallino riconosciuto nel versante in sinistra idraulica del rio Bacch'e Linna benché a valle dell'invaso, ad esclusione di limitati affioramenti presenti a qualche centinaio di metri dallo sbarramento, lungo l'alveo, afferente alla UNITÀ INTRUSIVA DI VILLACIDRO - Facies Monte Lattias (**VLDC**). – Carbonifero sup - Permiano.

Si tratta di leucograniti rosa fortemente fratturati e con vistosi fenomeni di alterazione per idrolisi (arenizzazione) e dell'insieme di differenziati in giacitura filoniana connessi con la evoluzione del sistema magmatico intrusivo.

Nel complesso questa unità ha un comportamento idrogeologico uniforme poiché la giacitura massiva del corpo intrusivo (o dei vari corpi?) e la sua struttura cristallina compatta, non consente la formazione di flussi idrici per porosità primaria ma solo per fratturazione (**F**) o per alterazione (**A**).

Analogamente alla unità idrogeologica precedente, il flusso idrico presente al suo interno è guidato dal complesso reticolo di fratture secondarie che consente l'immagazzinamento delle acque di infiltrazione che altrimenti, a causa dell'insignificante porosità primaria, sarebbero destinate a scorrere prevalentemente in superficie. Le pochissime sorgenti individuate in questa unità confermano che la circolazione idrica entro di essa si sviluppa in profondità e che la trasmissività dell'ammasso litologico, anche nel caso di emergenze idriche di superficie regolate da fratturazione della roccia, è molto bassa (portate  $< 0.15$  l/s).

Fanno eccezione particolari condizioni dell'ammasso roccioso quali la presenza di uno spessore significativo di arenizzazione del granito o la presenza di una o più fasce cataclastiche (ovvero di fratturazione concentrata spesso associate a differenziati magmatici acidi in giacitura filoniana subverticale) che si intersecano, entro le quali può essere presente un flusso idrico consistente e sfruttabile mediante trivellazione, direttamente connesso con accumuli idrici profondi il cui settore di ricarica è ubicato nel vasto areale montano collinare del Sulcis meridionale.

Anche in questa unità sono piuttosto scarse le sorgenti e tutte con portate insignificanti. Come per l'Unità metamorfica, è possibile che in occasione di periodi di piovosità prolungata, la coltre arenizzata e fessurata possa immagazzinare un discreto quantitativo d'acqua di infiltrazione che può interessare la prima decina di metri dal p.c..

Il rilascio idrico attraverso fratture non potrà che essere temporaneo poiché non sussiste alcun legame con le zone di ricarica più estese o con il circuito idrico più profondo ed esteso.

Anche in questo caso, l'elevata variabilità delle condizioni favorevoli alla presenza di flussi idrici all'interno dell'ammasso roccioso fratturato, fa sì che la roccia appartenente a questa unità possa essere verosimilmente definita impermeabile (**IM**) o scarsamente permeabile (**SP**).

### 2.5.3. Unità arenaceo-siltitica eocenica

Questa unità idrogeologica, afferente alla Formazione del Cixerri (**CIX**) costituisce parte le pendio basale in sponda sinistra dell'invaso e, verosimilmente, anche il suo substrato dell'area di accumulo idrico. Molto diffusa verso la piana di Villa San Pietro e Pula, risulta la responsabile maggiore della scarsità di approvvigionamento idrico della zona poiché il suo spessore (localmente superiore ai 300 m): la bassissima porosità dei sedimenti infatti, ne fanno un gigantesco blocco impermeabile che solo occasionalmente consente l'estrazione di modestissime quantità d'acqua confinate in acquiferi isolati e difficilmente ricaricabili. A sfavore della possibilità di immagazzinamento entro un eventuale reticolo di fessurazioni secondarie vi è il fatto che i diversi sistemi di frattura presenti, vengono assorbiti entro i livelli siltoso-argillitici che si intercalano alle bancate arenacee e raramente, conglomeratiche.

Tuttavia entro il contesto geologico-strutturale del settore, la presenza di questa unità, favorisce la formazione di un limite di permeabilità (o di tamponamento idraulico) di tipo strutturale nei confronti delle acque immagazzinate entro i graniti che favorisce invece lo scorrimento lungo l'interfaccia con la sovrastante coltre detritico-alluvionale pleistocenico-olocenica della Piana di Sarroch. Inoltre le elevate e particolarmente omogenee condizioni di impermeabilità dei suoi sedimenti, sono state spesso utilizzate per la realizzazione di piccoli bacini collinari il cui fondo è impostato proprio entro questa unità.

### 2.5.4. Unità vulcanica oligomiocenica

Si tratta di una unità idrogeologica sufficientemente ben delimitata arealmente anche se in ampi settori essa non è visibile in superficie a causa dello spessore da decimetrico a metrico di copertura detritica alluvionale ed è direttamente riferibile alle Andesiti di Monte Arrubiu (MAB) marginalmente presenti entro il bacino idrografico del Rio Bacch'e Linna.

Dall'analisi dei dati provenienti da numerose perforazioni effettuate per ricerca idrica anche in territori di altri comuni adiacenti (vedasi Villa San Pietro e Pula) di evince, concordemente a quanto ricavato dall'analisi geologica, il profondo radicamento delle vulcaniti che si sono iniettate attraverso importanti fratture della crosta terrestre durante la tettonica transtensiva e distensiva oligo-miocenica e miocenica sostituendo gran parte dei sedimenti eocenici.

Il tipo di permeabilità prevalente di tipo **F** (fratturazione) condiziona fortemente il grado di permeabilità (variabile da **IM** a **SP**) in funzione della distribuzione e delle geometrie del reticolo di fratture che interessano l'ammasso roccioso vulcanico.

A favorire in taluni casi una drastica diminuzione della permeabilità, entra in gioco l'alterazione della roccia andesitica che determina talvolta la produzione di minerali argillosi capaci di sigillare le microfessure e l'eventuale porosità primaria del deposito che caratterizza le facies vulcanoclastiche. Altre volte la stessa alterazione spinta dell'aggregato cristallino delle vulcaniti, successivamente ai fenomeni di lisciviazione delle argille, favorisce la formazione di ammassi quasi incoerenti formati dai singoli cristalli che hanno perso l'originario mutuo incastro dovuto alla cristallizzazione della lava.

### 2.5.5. Unità detritico-alluvionale pleistocenica

Questa unità idrogeologica, rappresentata nell'area di interesse dalle alluvioni antiche terrazzate del Subsistema di Portoscuso (PVM2) presenti nel settore meridionale del bacino idrografico del Rio Bacch'e Linna nonché la sponda in destra idraulica dell'invaso, si caratterizza per un grado di addensamento medio-elevato e per la discreta ossidazione della matrice limo-sabbiosa.



La permeabilità è di tipo **P** per porosità e il grado di permeabilità varia da scarso (**SP**) a medio (**MP**).

Le proprietà litologiche intrinseche di questa unità, associate alle particolari modalità di sedimentazione originaria, determinano generalmente una notevole difficoltà al flusso idrico al suo interno: infatti la struttura del deposito è caratterizzata da un insieme piuttosto complesso di corpi lentiformi ciottoloso-ghiaiosi variamente orientati e distribuiti nello spazio, sovrapposti ad altri depositi sabbioso-limosi. A causa dei modesti spessori, che nell'area studiata raramente superano i 5÷6 m anche le potenzialità idrogeologiche risultano modeste.

La tipologia degli acquiferi contenuti entro questa unità, delimitata verso il basso dall'interfaccia con differenti substrati in genere poco permeabili (basamento metamorfico-cristallino, argilliti e silititi ± arenacee eoceniche, vulcaniti andesitiche) varia in funzione delle caratteristiche e dello spessore dei depositi detritico-alluvionali che possono determinare la formazione di modesti flussi idrici generalmente semiconfinati.

#### 2.5.6. Unità detritica-alluvionale olocenica

Questa unità idrogeologica, riferibile alla unità litostratigrafica alluvioni oloceniche (bn) costituenti il fondovalle del Rio Bacch'e Linna nel tratto che va dall'area di invaso sino alla foce, risulta formata da un insieme di depositi terrigeni non litificati costituenti una discontinua coltre detritica di spessore che solo occasionalmente supera i 5÷6 m. Si tratta di depositi alluvionali terrazzati rappresentati da elementi poligenici ed eterometrici in matrice sabbioso-limosa che bordano i principali corsi d'acqua del settore studiato. L'insieme di litologie è contraddistinto da grado di addensamento da moderato a scarso.

Il flusso idrico sotterraneo è favorito dalla porosità dei sedimenti (permeabilità di tipo **P**) e generalmente, in funzione della presenza o meno di materiali clastici fini (argille, limi) il grado di permeabilità varia da medio (**MP**) a alto (**AP**) (vedi tabella riassuntiva).

I principali acquiferi, di tipo freatico<sup>(4)</sup>, sono localizzati nelle aree adiacenti al *Rio Bacch'e Linna*, ed in particolare nel settore di piana costiera.

Allo stato attuale, poiché la suddetta piana è completamente occupata dagli impianti petrochimici, non è possibile valutare le esatte potenzialità della falda idrica presente entro questa unità che in ogni caso sono fortemente condizionate dalla stagionalità.

### 2.6. Assetto geomorfologico

L'invaso in argomento ricade lungo la stretta fascia che delimita l'entroterra collinare e montano del Sulcis sud orientale con la piana costiera di Sarroch-Pula, nel suo settore di chiusura più nord orientale. Risulta perciò compreso tra i rilievi vulcanici a chimismo andesitico del distretto di Sarroch a sud, la costa del golfo degli Angeli a est ed il complesso metamorfico-cristallino a ovest e a nord.

L'ambito territoriale in questione risulta altresì strettamente condizionato dalla strutturazione tettonica di epoca terziaria (oligomiocenica e plio-quadernaria) che ha favorito la formazione di un allineamento strutturale di direzione NNE-SSW costituente, oltre al bordo sud orientale del Sulcis, anche una delimitazione netta tra gli affioramenti delle rocce paleozoiche con quelle cenozoiche.

<sup>(4)</sup> Un acquifero si definisce freatico quando la superficie superiore dell'accumulo idrico sotterraneo risulta libera e a contatto con la pressione atmosferica. La superficie di contatto può coincidere con il piano campagna o essere contenuta all'interno del deposito terrigeno permeabile che contiene lo stesso acquifero (sinonimo di acquifero freatico = falda freatica).

La sostanziale diversità strutturale e litologica tra i vari domini rappresentati (metamorfico-cristallino paleozoico, vulcano-sedimentario del Paleogene-Neogene ed essenzialmente sedimentario del Quaternario) condiziona necessariamente anche l'orografia che si esplicita con forme generalmente aspre e articolate con strette e profonde valli e versanti acclivi nell'entroterra montano-collinare dominato dalle rocce della successione metamorfica e granitoida paleozoica, con forme più regolari nel settore di genesi vulcanica di Sarroch (Punta Marturedda) e con le forme da debolmente acclivi a sub orizzontali dei depositi pleistocenici e olocenici, sebbene incisi da numerose valleciole spesso isoallineate e generalmente perpendicolari alla linea di costa.

Nello specifico del bacino idrografico del Rio Bacch'e Linna e di un suo idoneo contorno, le considerazioni appena esposte trovano ampio riscontro, amplificate dal fatto che l'alveo principale, una volta uscito dal settore collinare e montano sulcitano segue per circa 1,5 km il limite strutturale e morfologico orientato NNE-SSW che separa nettamente il dominio paleozoico da quello quaternario dando origine ad una netta valle asimmetrica con in sinistra idraulica i rilievi acclivi impostati sulle rocce metamorfiche della F.ne di Pala Manna e sui leucograniti dell'Unità Intrusiva di Villacidro ed in destra sui depositi alluvionali del sub sistema di Portoscuso che ricoprono i sedimenti siltoso-argillitici della Formazione del Cixerri.

Questo si ripercuote necessariamente anche sulle geometrie del reticolo di drenaggio delle acque superficiali in funzione della differente permeabilità ed erodibilità delle rocce, oltretutto sugli aspetti morfodinamici responsabili delle condizioni di stabilità gravitativa dei pendii e della predisposizione a dar luogo a piene importanti nel caso di piogge intense e prolungate.

Trattandosi infatti di corsi d'acqua torrentizi, i tempi di corrivazione risultano in genere molto brevi e a causa dell'elevato gradiente altimetrico della loro parte montana, sono capaci di sviluppare significative energie proporzionalmente all'estensione del bacino di raccolta una volta giunti nella piana costiera con anche discreta capacità di trasporto solido. Caratteristiche queste comuni anche al Rio Bacch'e Linna ma decisamente controllate da condizioni climatiche poco piovose che, a prescindere dall'errato dimensionamento dell'invaso, ne hanno poi condizionato l'esercizio.

Dalle prime valutazioni effettuate preliminarmente grazie ad alcuni sopralluoghi, non si riscontrano condizioni di criticità significativa lungo le sponde dell'invaso (grazie anche alla vegetazione spontanea che ha colonizzato i pendii al contorno) né nei confronti del rilevato costituente lo sbarramento mentre si ritiene degno di attenzione il problema dei deflussi a valle dell'invaso a causa di un alveo talora poco marcato e privo di sponde e sottoposto a importanti condizionamenti nel tratto di attraversamento dell'area industriale.

## 2.7. Idrografia

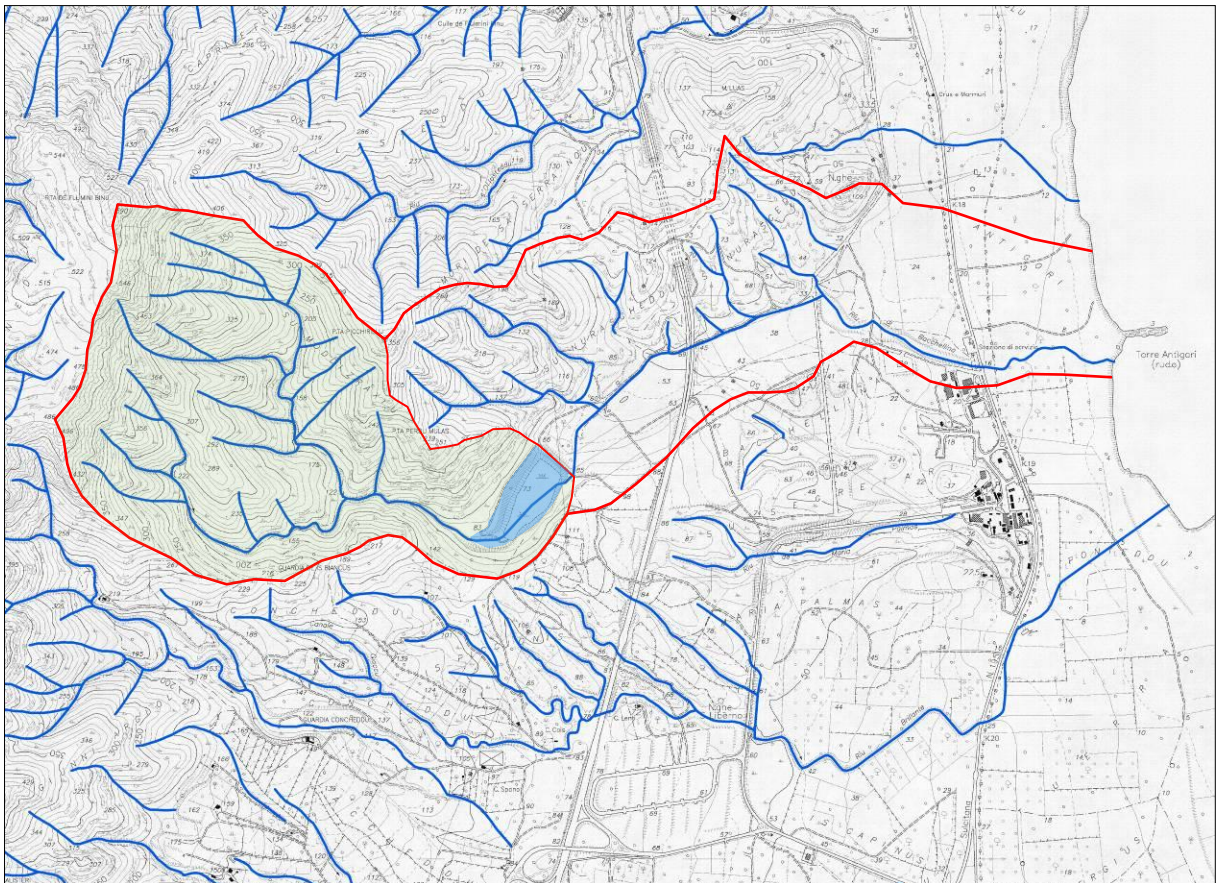
Conseguentemente alla differente permeabilità delle unità che costituiscono il substrato geologico del bacino del Rio Bacch'e Linna, il reticolo idrografico mostra caratteristiche notevolmente differenziate: mentre nella parte montano-collinare in sinistra idrografica a causa della sostanziale impermeabilità delle litofacies metamorfico-cristalline si osserva una geometria delle linee di deflusso a carattere dendritico (e talora angolare per evidente condizionamento strutturale), in destra idraulica si osserva la sostanziale assenza di linee di deflusso tributarie poiché il substrato dominante è rappresentato dai depositi alluvionali terrazzati pleistocenici immergenti con leggera pendenza verso SE. Ciò favorisce la formazione di incisioni subparallele che drenano le acque superficiali verso il bacino idrografico adiacente in località Maria Palmas attraversata dal Rio Brillante.



Nello specifico del Rio Bacch'è Linna, una volta fuoriuscito dall'entroterra montano collinare con vallecole strette e incassate (la quota massima, pari a 590 m s.l.m., si rileva nella Punta de Flumini Binu), il corso d'acqua trova lo sbarramento realizzato al piede della Punta Perdu Mulas (251 m s.l.m.); subito oltre lo sbarramento, la valle si allarga progressivamente in direzione sud-est e con pendenza media circa del 3%, sino a raggiungere il mare dopo poco meno di 2,5 km.

Mentre nel primo chilometro e mezzo oltre lo sbarramento i terreni del fondovalle risultano utilizzati ai fini agricoli ed attraversati da un alveo quasi privo di arginature, una volta giunti in prossimità della vecchia S.S. 195 si entra nelle pertinenze dell'area industriale ed il deflusso delle acque avviene entro un tombinamento in cemento armato con sezione netta 3,9 x 2,0 m, lungo circa 165 me.

Segue infine un canale rettilineo a cielo aperto di sezione trapezia che percorre l'area industriale fino allo sbocco in mare.



**FIGURA 9** – Reticolo idrografico del bacino del Rio Bacch'è Linna su base C.T.R. del 1996.  
In rosso la linea spartiacque ed in verde chiaro il bacino sotteso dall'invaso.

## 3. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

### 3.1. Pericolosità idraulica

Nell'ambito del PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.), il settore in studio appartiene al sub-bacino n.7 *Flumendosa-Campidano-Cixerri* del bacino unico della Sardegna

Nella perimetrazione vigente non risultano compiuti o in itinere studi di aggiornamento ai sensi dell'art. 8 e 37 delle N.T.A. del P.A.I.

Con riferimento alla perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica (**Hi**) l'area di invaso non risulta tra le aree a potenzialmente inondabili.

Risulta esterno anche alle aree perimetrate dal PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (P.S.F.F.), dal PIANO DI GESTIONE E RISCHIO ALLUVIONE (P.G.R.A.) e dalle aree alluvionate dal Ciclone "Cleopatra".

### 3.2. Pericolosità da frana

Analogamente a quanto riportato in precedenza per la pericolosità idraulica, sulla base della documentazione in possesso e alla luce di quanto osservabile nel geoportale della RAS, l'area di invaso non è gravata da alcuna perimetrazione di pericolosità da frana.

Ci si riserva di verificare l'eventuale presenza di studi in itinere ai sensi dell'art. 8 comma2 delle Norme di Attuazione del Pai presso il Comune di Sarroch.



## 4. MODELLAZIONE GEOTECNICA

### 4.1. Aspetti litotecnici generali

Sulla base dell'analisi geologica preliminare dei luoghi e della documentazione disponibile, si ricava un quadro piuttosto scarno di informazioni in quanto gli unici dati disponibili sono relativi ai contenuti di un elaborato datato marzo 2005, relativo alle verifiche di stabilità del rilevato di sbarramento nell'ambito degli «Interventi per la sanatoria delle opere»<sup>(5)</sup>.

Secondo il suddetto elaborato, che estrapola le informazioni dalla "Relazione geologica definitiva del progetto di un lago collinare in località Perdu Mulas nel territorio di Sarroch" (datata 1966), i terreni di imposta della diga sarebbero afferibili al "complesso delle andesiti, argille e arenarie tufacee". Ulteriori informazioni relative alla caratterizzazione geotecnica derivano da studi ed analisi condotte nel 1972 e nel 2002.

Proprio dalle prove ed analisi di laboratorio geotecnico condotte nel 2002<sup>(6)</sup> e allegati allo studio di stabilità del 2005<sup>(7)</sup>, si ottengono le informazioni di maggiore utilità in quanto i campioni sono rappresentativi delle terre costituenti il rilevato. Nello specifico trattasi di:

- ⇒ n. 1 prova triassiale consolidata non drenata CU su argille consistenti con numerosi clasti (sondaggio S1, quota -18,00 m)
- ⇒ n. 1 classificazione delle terre + Limiti di Atterberg (sondaggio S2, quota -16,00 m)
- ⇒ n. 2 prove di taglio diretto (sondaggio S2, quota -10,00 m e -16,00 m)

A fronte dei dati geotecnici recuperabili dalle suddette prove di laboratorio, la mancanza di una mappatura dei punti indagine e degli elaborati stratigrafici non consente di ricostruire un modello geotecnico affidabile, ma solo di elaborare sommarie valutazioni sulla stabilità dei tagli previsti nel progetto di dismissione. Presumibilmente per gli stessi motivi, nello "Studio di Stabilità" del 2005 si optò per una parametrizzazione cautelativa riproponendo gli stessi parametri previsti nel progetto.

Sulla base di quanto esposto, in questa fase di analisi preliminare della problematica relativa alla stabilità nel tempo della nuova conformazione che andrà ad assumere il rilevato post dismissione, le verifiche geotecniche sono state sviluppate adottando i medesimi parametri di progetto.

Si rimanda ad un maggiore approfondimento in fase di progettazione definitiva una volta acquisiti ulteriori dati conoscitivi basati su una idonea campagna di indagini geognostiche e geotecniche.

### 4.2. Criteri di calcolo geotecnico

Le verifiche di stabilità dei fronti di scavo sono state condotte coerentemente alle indicazioni di cui al D.M. 17.01.2018 «*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*», § 6.8 «*Opere di materiali sciolti e fronti di scavo*».

Sulla base del suddetto riferimento, si richiama la condizione che deve essere soddisfatta per le verifiche di sicurezza (SLU):

<sup>(5)</sup> Ing. LUIGI SANNA e Ing. STEFANO COLA, «Rilevato di sbarramento - Verifiche di stabilità», 29.03.2005.

<sup>(6)</sup> Prove eseguite presso il laboratorio geotecnico Geosystem S.r.l. di Quartucciu.

<sup>(7)</sup> Lavoro citato.

$$R_D \geq E_D$$

essendo:  $E_D$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$R_D$  il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

fermo restando che non si deve raggiungere una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni e dei parametri geotecnici.

I calcoli di verifica devono essere sviluppati secondo l'Approccio 1- Combinazione 2 (**A2+M2+R2**), che prevede che le azioni permanenti siano considerate con coefficienti parziali unitari mentre i parametri geotecnici siano calcolati tenendo conto dei coefficienti parziali indicati in **TABELLA 1** ed in **TABELLA 2**.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE	COEFFICIENTE PARZIALE ( $\gamma_M$ )	(M2)
Tangente all'angolo di resistenza al taglio	$\text{tg } \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0

**TABELLA 1** - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE ( $R_2$ )
Verifiche di sicurezza	$\gamma_R = 1,1$

**TABELLA 2** - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche di sicurezza di materiali sciolti e di fronti di scavo.

I calcoli sono stati sviluppati con un software dedicato<sup>(8)</sup> che tiene anche conto della differenziazione stratigrafica, in grado di fornire una soluzione generale al problema bidimensionale di stabilità, ricavando il coefficiente di sicurezza  $F_s$  espresso come il rapporto tra le resistenze al taglio disponibili lungo le superfici di possibile scivolamento ( $F_R$ ) e quelle mobilitate dal moto incipiente dell'intera massa contenuta dalla superficie stessa ( $F_A$ ).

$$F_s = \frac{F_R}{F_A} = \frac{c_u \cdot r^2 \cdot \Delta\theta}{W \cdot d}$$

dove

- $c_u$  la resistenza non drenata
- $r$  il raggio della superficie di scorrimento
- $\Delta\theta$  l'angolo di apertura del settore AB
- $W$  il peso della massa potenzialmente instabile
- $d$  il braccio della forza peso rispetto al centro di rotazione O

Nell'ambito dei principi generali enunciati dalle N.T.C. basati sull'impiego dei coefficienti parziali, si devono definire le resistenze di progetto ( $R_d$ ) e le azioni di progetto ( $E_d$ ) secondo le seguenti espressioni:

$$R_d = F_{R_d} = \frac{1}{\gamma_R} \left[ \frac{c_u}{\gamma_{cu}} \cdot r^2 \cdot \Delta\theta \right]$$

$$E_d = F_{A_d} = \gamma_{G1} \cdot W \cdot d$$

<sup>(8)</sup> Slope della Geostru S.a.s.



Il criterio di rottura adottato è quello classico di Mohr Columb e la valutazione del coefficiente di sicurezza (**Fs**) viene effettuata per tentativi generando un gran numero di superfici e facendo delle semplificazioni circa la loro geometria, nel rispetto, per quanto possibile, delle condizioni reali nei riguardi delle azioni esterne e delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

L'analisi, infatti, tiene conto delle caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale ( $\gamma$ ,  $\phi$  e  $c$ ), della geometria del fronte (altezza **H** e inclinazione  $\alpha$ ) e degli eventuali sovraccarichi (**q**).

Il risultato finale è la restituzione del coefficiente di sicurezza (**Fs**) relativo a tutte le superfici di scivolamento analizzate ed in particolare l'individuazione della superficie caratterizzata dal minor valore. Le verifiche di stabilità risultano soddisfatte quando si ottiene un coefficiente di sicurezza maggiore di 1 (**Fs > 1**).

### 4.3. Esito delle verifiche di stabilità

Ribadendo che trattasi di verifiche puramente orientative (che per essere validate richiedono l'assunzione di parametri geotecnici ricavati da specifiche indagini in situ che modellino adeguatamente lo stato attuale del rilevato), si richiamano le assunzioni di calcolo adottate:

- ⇒ altezza di scavo max H = 22,80 m (altezza diga)
- ⇒ angolo di scarpa  $\beta = 45^\circ, 35^\circ, 30^\circ$
- ⇒ conformazione tre gradoni con alzata 7 m e pedata 3 m (solo per il taglio a  $35^\circ$ )
- ⇒ falda assente
- ⇒ sovraccarichi assenti
- ⇒ corpo diga materiali sciolti
- ⇒ opere di sostegno assenti

I parametri geotecnici adottati sono quelli di progetto, richiamati in **TABELLA 3**.

STRATO	SPESSORE STRATO (m)	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA				
		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_u$ (°)	$\phi$ (°)	$c_u$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$c'$ (daN/cm <sup>2</sup> )
Corpo diga	22,80	17,7	23	27	0,12	0,22

**TABELLA 3** - Riepilogo dei parametri assegnati.

Come si evince dalle assunzioni di calcolo, per il taglio con angolo a  $35^\circ$  è stata adottata una conformazione che prevede tre gradoni da 7,00 m cad di altezza e tra loro separati da due pedate da 3,00 m di ampiezza. Fermo restando il comportamento generale del taglio in termini di stabilità, si è ritenuto utile interrompere la continuità della superficie inclinata in modo da mitigare l'azione erosiva delle acque di ruscellamento su di essa in occasione di piogge abbondanti e persistenti.

I risultati delle verifiche sono riportate nella Tabella 4

	CONDIZIONE DRENATA	ANGOLO (°)
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI BISHOP	<b>0,78</b>	45
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI JANBU	<b>0,88</b>	
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI BISHOP	<b>1,15</b>	35
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI JANBU	<b>1,23</b>	
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI BISHOP	<b>1,12</b>	30
<b>APPROCCIO 1</b> Combinazione 2 A2+M2+R2 (GEO) METODO DI JANBU	<b>1,23</b>	

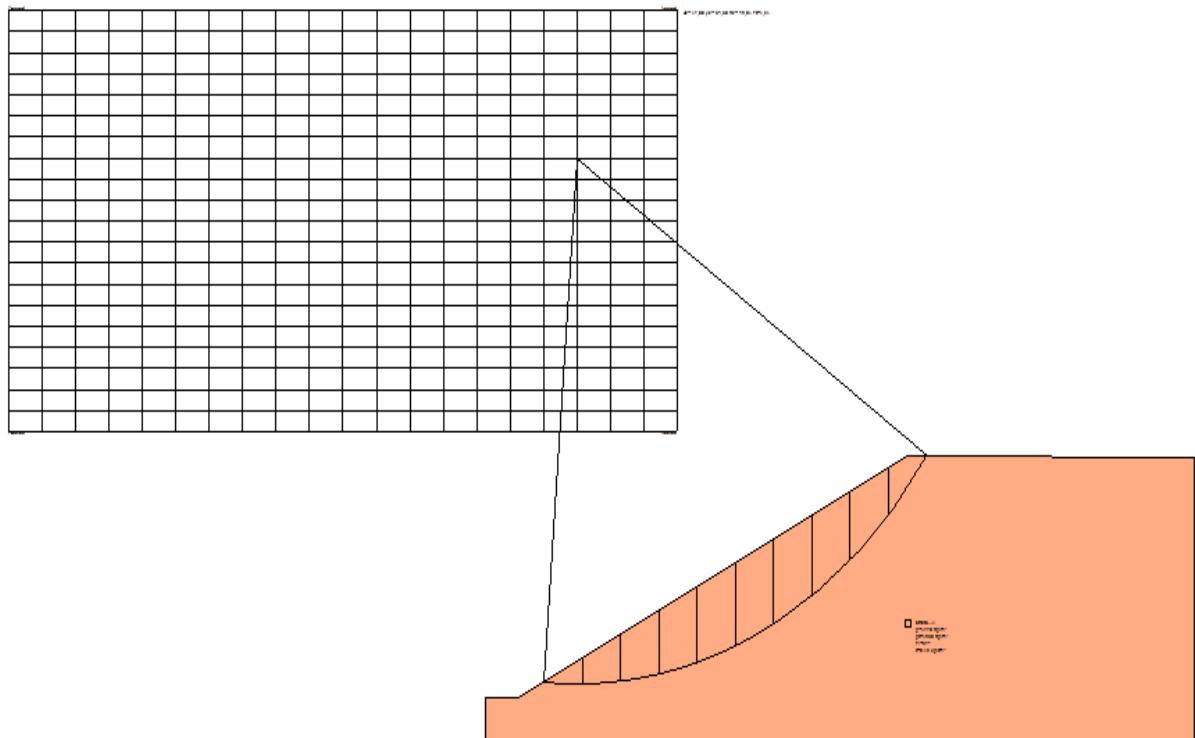
**TABELLA 4** – Esito delle verifiche di stabilità, per  $\beta = 45^\circ$  e  $\beta = 30^\circ$ .

Dai calcoli sviluppati con l'Approccio 1 – Combinazione 2 (**A2+M2+R2**)<sup>(9)</sup> utilizzando gli algoritmi di Bishop e Janbu semplificato si ottiene che:

- **per  $\beta = 45^\circ$**  il rilevato del corpo diga rimodellato nella zona di varco, non garantisce la stabilità del nuovo fronte di scavo, essendo sempre  $F_{s_{min}} < 1,0$  (**TABELLA 4**). Conseguentemente anche qualsiasi altra configurazione geometrica del taglio con un angolo  $>$  di  $45^\circ$  genererà situazioni di instabilità non compatibili con la sicurezza dei luoghi;
- **per  $\beta = 30^\circ$  e  $35^\circ$**  scaturiscono condizioni soddisfacenti in termini di stabilità del corpo diga anche seguito della realizzazione del varco, essendo per entrambi i casi sempre  $F_{s_{min}} > 1,0$  (**TABELLA 4**);
- tali condizioni di stabilità permangono, senza significative variazioni, sia con la conformazione a unica scarpata sia a tre gradoni, anche se quella che prevede la presenza delle due interruzioni ogni 7 metri di fronte risulta molto più favorevole alla mitigazione dei fenomeni di erosione da parte delle acque ruscellanti dovute alle piogge zenitali e all'inserimento paesaggistico dell'opera in quanto più predisponente al naturale rinverdimento delle terre e, di conseguenza, all'efficacia dell'azione biomeccanica naturale della vegetazione per la sua stabilizzazione corticale.

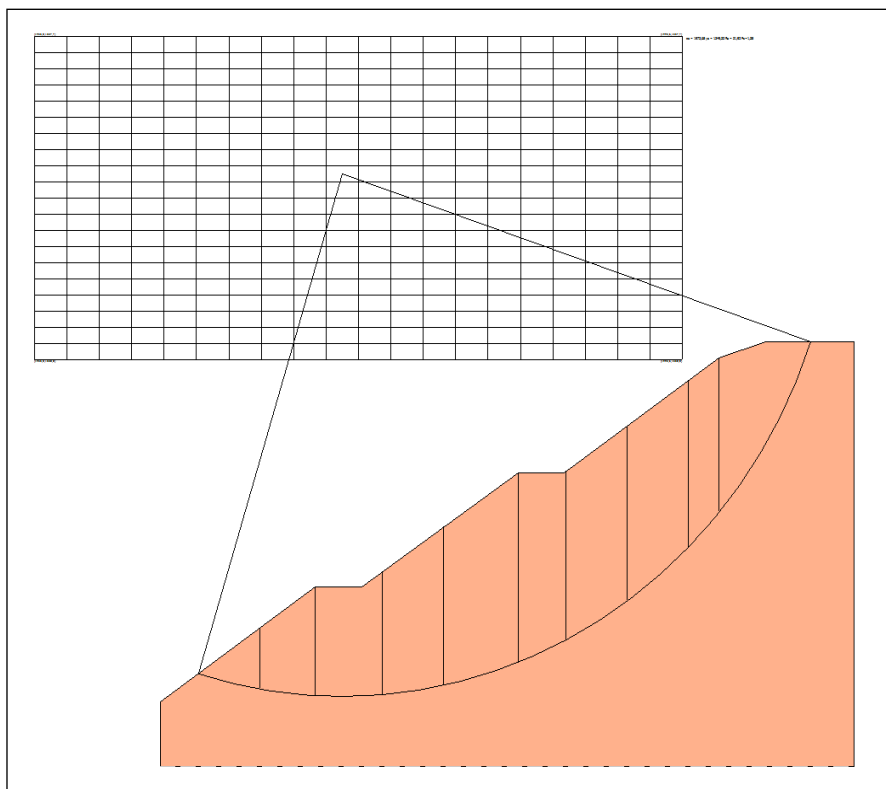
<sup>(9)</sup> Come da N.T.C. 2018.





**FIGURA 10**

Rappresentazione grafica della verifica di stabilità nella ipotesi di conformazione con unico taglio inclinato 30° con individuazione della superficie di scorrimento avente  $F_s$  minore.



**FIGURA 11**

Rappresentazione grafica della verifica di stabilità nella ipotesi di conformazione con tre gradoni di 7,00 m altezza e inclinati 35° con individuazione della superficie di scorrimento avente  $F_s$  minore.

## 5. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra illustrato e nelle condizioni di calcolo adottate, la configurazione più stabile nel tempo del rilevato della diga risulta essere quella che prevede la formazione del varco entro il corpo diga in terre con tre gradonature da 7,00 m di altezza cadauna e due “pedate” da 3.00 m di ampiezza. Tale configurazione, caratterizzata da un coefficiente di sicurezza  $F_{s_{min}} > 1,0$  molto simile a quanto ottenibile utilizzando un unico taglio inclinato di 30°, oltre ad una riduzione dei volumi di scavo consente una più efficace gestione dei deflussi idrici di superficie del paramento al riparo da pericolosi fenomeni di erosione. Questi ultimi potranno essere adeguatamente mitigati (sino al quasi totale annullamento) mediante la posa di opere di protezione corticale (biostuoie, geogriglie, etc.) in grado di opporsi all'azione delle acque meteoriche (che potrebbero innescare più o meno estesi fenomeni di erosione a solchi) e facilitare l'attecchimento della vegetazione erbacea e arbustiva autoctona nel caso in cui si volesse evitare l'idrosemina.

Per i dettagli ed il relativo dimensionamento di questi interventi in funzione del risultato che si intende ottenere mediante una opportuna valutazione del rapporto costi/benefici, si rimanda alle fasi progettuali successive con il supporto di una adeguata campagna di indagini. **MP**

DATA: 14 settembre 2020

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Mauro Pompei*

