

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

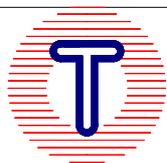


E.G.A.S. – SARDEGNA  
ENTE DI GOVERNO DELL'AMBITO DELLA SARDEGNA

**ABBANO**A S.p.A.

Gestore Unico del Servizio Idrico Integrato  
della Regione Sardegna

SETTORE COMPLESSO GESTIONE ATTIVA PERDITE – U.B. RETI IDRICHE



On technology s.r.l.

**SEDE LEGALE: ROMA - Via Cola di Rienzo SEDE OPERATIVA: PORTO TORRES -  
Via Fratelli Vivaldi n°24 Tel. 079516036 - 07951693 Fax. 079517142**

SCHEMA N° 1 "VIGNOLA – CASTELDORIA –PERFUGAS"  
PRGA REV.2006

DIRAMAZIONI PER SEDINI BULZI E PERFUGAS

PROGETTO ESECUTIVO

TAVOLA

3A

RELAZIONE GEOLOGICA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Serafino Meloni

PROGETTISTA:

Ing. Paolo Naccari

GEOLOGO:

Geol Dario Cinus

COLLABORATORI:

Geom. Davide Depalmas  
Ing. Lara Minnai

DATA : OTTOBRE 2018

FILE:

REV.: 09

SCALA:



## Sommario

<b>Relazione geologica (DM 17.1.2008)</b> .....	<b>2</b>
Premessa .....	2
La Relazione geologica .....	3
Dati del progetto esecutivo .....	3
Normativa tecnica di riferimento .....	5
Verifica applicabilità normativa sismica.....	11
Normativa regionale di riferimento .....	12
Caratteri litologici .....	13
Condizioni sismiche.....	20
Caratteri stratigrafici e morfologici.....	22
Pedologia.....	24
Caratteri strutturali .....	24
Test di Markland .....	25
Verifiche speditive della stabilità dei fronti di scavo in roccia.....	26
Pericolosità geologica del territorio. ....	33
Indagine Geologica .....	33
Caratterizzazione geologica ai sensi del DM 14.01.2008 - DM 17.01.2008 - .....	36
Caratteri idrogeologici .....	39
Circolazione idrica sotterranea.....	40
Indagini idrogeologiche specifiche .....	43
Considerazioni Conclusive .....	45



## Relazione geologica (DM 17.1.2008)

### Premessa

Il presente studio esecutivo afferisce ai lavori denominati ai lavori denominati “**Schema n. 1 VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS – Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas**” (Sedini Bulzi\_DGR\_4123-05C).per i quali il sottoscritto, ha ricevuto incarico dalla società Abbanoa S.p.A., gestore del servizio idrico integrato in Sardegna, a seguito di gara di appalto svoltasi in data 13.06.2008 in Cagliari e convenzione stipulata in data 30.06.2008 a seguito di Det. N. 188 del 30.06.2008. I lavori sono finanziati con fondi del Commissario Governativo per l’Emergenza Idrica in Sardegna per un importo pari a € **4.000.000,00**.

Lo studio, esplicitato nella presente relazione, s’inquadra nell’ambito delle norme di legge (L. 2.2.1974 n. 64; DM 14.01.2008; DM 17.1.2008) e delle direttive, che sottopongono il territorio sardo alle vigenti norme regionali in materia di protezione territoriale (D. Ass. LL.PP. 21 febbraio 2005 n. 3 - Esecutività della Del. di G.R. n. 54/33 del 30.12.2004), ed è finalizzato ad un giudizio di fattibilità tecnica dell’intervento in parola. Lo stesso s’inquadra nell’ambito della progettazione e realizzazione di opere d’ingegneria civile come disposto dalla L. del 2.2.1974 n. 64 e dal D.M. 11.3.1988, ed è condotto secondo le vigenti disposizioni Lo studio, di legge.

Lo studio come indicato dal DECRETO del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI datato 17 gennaio 2018 titolato “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» è definito su base normativa relativa all’anno di approvazione del progetto definitivo [A.A.T.O. Sardegna: Deliberazione del Commissario n.013/25.02.2010; Deliberazione del Commissario n.228/29.12.2010; Deliberazione del Commissario n.012/10.03.2011] ovvero DM 14.01.2008.

Nello specifico l’Art. 2. “Ambito di applicazione e disposizioni transitorie” dispone:

*1. Nell’ambito di applicazione del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui all’art. 1, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all’ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi. Con riferimento alla seconda e alla terza fattispecie del precedente periodo, detta facoltà è esercitabile solo nel caso in cui la consegna dei lavori avvenga entro cinque anni dalla data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui all’art. 1. Con riferimento alla terza fattispecie di cui sopra, detta facoltà è esercitabile solo nel caso di progetti redatti secondo le norme tecniche di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*

L’abitato di Sedini è compreso nell’elenco degli abitati da consolidare di cui alla L. 445/1908 (DPR 1.12.1952 n. 4481). La legge 2 febbraio 1974, n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche” all’Art. 2. “Abitati da consolidare” recita :

*In tutti i territori comunali o loro parti, nei quali siano intervenuti od intervengano lo Stato o la Regione per opere di consolidamento di abitato ai sensi della legge 9 luglio 1908, n. 445 e successive modificazioni ed integrazioni, nessuna opera e nessun lavoro, salvo quelli di manutenzione ordinaria o di rifinitura, possono essere eseguiti senza la preventiva autorizzazione dell’ufficio tecnico della Regione o dell’ufficio del genio civile secondo le competenze vigenti.*

*Le opere di consolidamento, nei casi di urgenza riconosciuta con ordinanza del sindaco, possono eccezionalmente essere intraprese anche prima della predetta autorizzazione, la quale comunque dovrà essere richiesta nel termine di cinque giorni dall’inizio dei lavori.*

Lo studio si compone di n. 4 allegati costituenti parte integrante dello studio in parola:

**Allegato 1 – TAVOLA 3B - CARTA GEOLOGICA**

**Allegato 2 – TAVOLA 3C – RELAZIONE GEOTECNICA**

**Allegato 3 – TAVOLA 3D - PROFILO GEOLOGICO**

**Allegato 4 – TAVOLA 3E - PROVE IN SITO E IN LABORATORIO**



Lo studio è stato condotto, dallo scrivente, secondo le vigenti disposizioni di legge ((capp. 6, 10 del DM 14.01.2008 e D.M. 17.01.2018; D.M. 11.3.1988) e s'inquadra nell'ambito della progettazione e realizzazione di opere di ingegneria civile. La normativa citata elenca i seguenti elaborati che corredano il progetto:

- ☒ la relazione geologica, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1 delle NTC);
- ☒ la relazione geotecnica caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno (§ 6.2.2 delle NTC);
- ☒ la relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (§ 3.2 delle NTC).

Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici deve articolarsi secondo quanto previsto dal punto 6.2 del DM 14.01.2008 che prevede le seguenti fasi:

- caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
- caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo;
- descrizione delle fasi e delle modalità costruttive;
- verifiche della sicurezza e delle prestazioni;
- piani di controllo e monitoraggio.

Lo studio del sito in parola esula da considerazioni di tipo pianificatorio, paesaggistico ed urbanistico strettamente connesse all'attuazione del P.U.C. a cui il progetto in itinere deve conformarsi e uniformarsi.

## La Relazione geologica

La legge 2.02.1974 n° 64 stabilisce che le costruzioni sia pubbliche che private debbono essere realizzate in osservanza delle norme tecniche riguardanti i vari elementi costruttivi. Le Norme Tecniche sono fissate con decreti Ministeriali e si sono susseguite nel tempo.

La legge 64/1974 ha introdotto nell'ordinamento l'obbligo di verifica della compatibilità delle previsioni contenute negli strumenti urbanistici generali e particolareggiati, nonché nelle lottizzazioni convenzionate e loro varianti, con le condizioni geomorfologiche del territorio e quindi l'obbligo di redazione della relazione geologica. Tale obbligo comporta che nessuna opera e nessun lavoro, esclusi quelli di manutenzione ordinaria, possano essere eseguiti senza l'acquisizione di tale elaborato.

Le Norme Tecniche sulle Costruzioni attualmente vigenti emanate con il D.M. 14.01.2008, con il paragrafo 6.2.1., che definisce la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, hanno ribadito l'obbligo di acquisire la relazione geologica comprendente il modello geologico in relazione ad ogni intervento od opera, privata e pubblica, che si intende realizzare. Tale obbligatorietà, peraltro, trova coerente conferma anche nell'ambito dell'edilizia pubblica e delle relative procedure (D. Lgs. 12.04.2006, n° 163 e s.m.i., allegato tecnico XXI° - art. 164; D.P.R. 5.10.2010, n° 207, artt. 26 e 35).

La relazione geologica è un elaborato specialistico non subappaltabile ai sensi degli artt. 11, comma 15 della L.R. 5/07 e dell'art. 91, comma 3, del D.lgs. 163/2006 e ss.mm. ii., con conseguente obbligo per le stazioni appaltanti di affidamento diretto al geologo di detto elaborato.

La relazione geologica è di esclusiva competenza del geologo (ex multis: Cons. Stato, Sez. V<sup>a</sup>, 4 maggio 1995, n° 701; Cons. Stato, Sez. V<sup>a</sup>, 28 novembre 2008, n° 5909; Cons. Stato, Sez. V<sup>a</sup>, 4 maggio 1995, n° 701; T.A.R. Friuli Venezia Giulia, 25 marzo/24 aprile 2009, n° 293; Cons. Stato, Sez. V<sup>a</sup>, 25 luglio 2010, n° 4525).

## Dati del progetto esecutivo

Dalla relazione generale (rif\_tav\_2) del progettista si desumono i dati sintetici del progetto (rif\_§ 5. PROGETTO ESECUTIVO).



In fase di progettazione esecutiva è risultato che il tracciato indicato nel progetto definitivo attraversava una zona di rilevante interesse archeologico al cui interno si trovano beni quali il villaggio di Monte Fulcaddu, la strada romana di Monti Longu, il nuraghe di Pianu Iladu, il Menhir Lu Saraghinu, le Domus de Janas di Tanca Fraddi Doro, S'Enaculadora e di Li Algasa. Pertanto è stata decisa una variazione di tracciato che, se pur discostandosi in maniera significativa dal precedente, rappresenta l'unico ammissibile dal punto di vista archeologico, geologico e tecnico economico.

Il nuovo tracciato previsto nel progetto esecutivo pertanto, dopo un primo tratto immediatamente a valle del potabilizzatore in cui ripercorre il tracciato indicato nel progetto definitivo, dalla sezione P.087, dirotta verso ovest passando attraverso una strada sterrata per circa 1,50 km fino alla sezione P.170 (v. tavola n. 11 "Planimetria di dettaglio Tav. 1/3").

Dopo la sezione P.170 si prosegue longitudinalmente lungo la SS134 all'esterno della semicarreggiata sinistra muovendosi in direzione di Sedini sino alla sezione P.180. I tecnici Anas e quelli della Provincia di Sassari hanno chiesto, essendo il tratto di strada di nuova realizzazione, che il tracciato della condotta passasse esternamente rispetto alla tubazione di drenaggio della strada.

Il tratto seguente, che va dalla sezione P.180 alla sezione P.205 non presenta particolari problemi, e la condotta passerà per quasi tutto il suo sviluppo ad una distanza di circa 5 m dal bordo della sede stradale. Sono inoltre previsti due attraversamenti in briglia sul Rio Monte Longu alla sezione P.25 DEF (Tav. 26) e sul Rio Burrosu alla sezione P.158 ESE (Tav. 27).

Oltre agli attraversamenti sopracitati, la condotta interessa alcuni corsi idrici di minore importanza, individuati nella Tav. 29B "Particolare attraversamenti idrici di minore importanza"

Dalla diramazione l'alimentazione del serbatoio di Lu Padru fino al serbatoio di monte Ultana, il tracciato esecutivo sarà il medesimo del tracciato definitivo.

A seguito di richiesta da parte dell'ADIS e successivamente da parte del comune di Sedini, il tracciato della condotta di alimentazione al serbatoio di Lu Padru ha subito una variazione individuabile nella Planimetria di Dettaglio Tav 12 e nei particolari Tav 27 C.

Dopo il secondo partitore per la diramazione verso il serbatoio Tre Muntigi, la condotta adduttrice principale subirà una riduzione di diametro passando al DN 200 sino al punto finale di arrivo nel serbatoio di Monte Ultana.

Il tratto a forte pendenza di passaggio tra il territorio del Comune di Sedini e il territorio del Comune di Bulzi nella progettazione definitiva era previsto fuori terra mentre nella progettazione esecutiva si è prevista interrata. Infatti in base al rilievo esecutivo è risultato che l'andamento del terreno non è regolare pertanto la condotta in alcuni punti sarebbe risultata sospesa a diversi metri dal terreno. L'utilizzo del tubo senza giunto antisfilamento rende opportuna la presenza di blocchi di contrasto e blocchi di ancoraggio aggiuntivi. In prossimità del centro abitato di Sedini sono previste due diramazioni, da altrettanti due partitori di nuova realizzazione, in ghisa sferoidale e diametro DN 125 con giunto a bicchiere che alimentano i due serbatoi esistenti di Sedini (Lu Padru e Tre Muntigi).

Proseguendo verso il serbatoio di Monte Ultana si realizzeranno altre due brevi diramazioni, in territorio di Bulzi, per alimentare il serbatoio e il partitore esistenti, con tubazione in ghisa sferoidale diametro DN 125. Allo scopo di risparmiare risorse economiche e diminuire i tempi di realizzazione dell'opera si è introdotta un'altra variante rispetto al progetto definitivo, infatti si è deciso di non attraversare il Rio Cantareddas con una briglia ma di connettere la nuova tubazione, a monte e a valle, con il tratto di tubazione esistente su ponte tubo (per tale tratto di tubazione non è possibile conoscere l'effettiva pressione nominale) il ponte tubo esistente su cui passa attualmente l'acquedotto dell'Anglona che verrà dismesso in futuro.

Le variazioni intervenute rispetto al progetto definitivo sono:

1. variazione di tracciato per evitare la zona di interesse archeologico comprendenti nuovi attraversamenti in briglia ed attraversamenti strade secondarie dalla sezione N°042 alla sezione N°114 (sezioni del progetto definitivo) ;
2. indispensabile per la funzionalità dell'opera, in quanto in questa fase progettuale è stato stralciato il torrino di smorzamento in Località Mandra Purchina, è stata inserita una valvola limitatrice del colpo d'ariete.



Realizzazione del partitore in pressione per il Serbatoio di Lu Littigheddu di futura realizzazione.

Adeguamento delle sezioni dei cavi di alimentazione delle elettropompe come da nuovo calcolo elettrico che si differenzia da quello eseguito nel progetto definitivo.

e) Variazione tracciato condotta Serbatoio Lu Padru autorizzata con nota STOISS del 06 Luglio 2017 Prot. 911/26403 dalla sezione N°010 alla sezione N°022.

## Normativa tecnica di riferimento

Il progetto e lo studio geotecnico dovranno aver riguardo della normativa tecnica per ogni fase di sviluppo della progettazione. In particolare per quanto attiene lo sviluppo dello studio geotecnico si farà costante riferimento :

- **D.M. 11.3.1988**
- **D.M. LL. PP. del 12.12.1985; Circ. Min. LL. PP. 20 marzo 1986 n. 27291;**
- **D. Lgs 3.4.2006 n. 152 - art. 41bis, comma 1, della Legge n. 98/2013**
- **D.M. 17.01.2018;**
- **CNR UNI 10006;**

Per quanto attiene l'interferenza delle tubazioni con opere di ingegneria civile si rimanda al Decreto Ministeriale n. 2445 del 23 febbraio 1971, modificato secondo il D.M. 10 Agosto 2004, *“Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”*.

*La sezione C. “Opere di fondazione” del D.M. 11.3.1988 al punto C.1. “Oggetto delle norme” evidenzia i criteri di carattere geotecnico nel progetto di fondazioni di manufatti di qualsiasi tipo.*

*Per quanto attiene al calcolo delle strutture costituenti la fondazione, ai materiali impiegati, ai procedimenti e metodi costruttivi, valgono le vigenti norme specifiche.*

*Per le fondazioni di manufatti ricadenti in zone sismiche devono essere rispettate le prescrizioni di cui al titolo II della legge 2 febbraio 1974, n. 64. Per le fondazioni di opere speciali, le presenti norme devono essere integrate con quanto prescritto nelle norme specifiche.*

### C.2. Criteri di progetto.

*Il progetto delle fondazioni di un'opera deve essere sviluppato congiuntamente al progetto dell'opera in elevazione tenendo conto delle modalità costruttive.*

L'opera di fondazione deve avere i seguenti requisiti:

- lo stato di tensione indotto nel terreno deve essere compatibile con le caratteristiche di resistenza del terreno stesso, nella situazione iniziale ed in quelle che potranno presumibilmente verificarsi nel tempo;
- gli spostamenti delle strutture di fondazione devono essere compatibili con i prefissati livelli di sicurezza e con la funzionalità delle strutture in elevazione.

*Deve essere tenuta in debito conto l'influenza che l'opera in progetto può avere su fondazioni e su costruzioni esistenti nelle vicinanze.*

*Il progetto deve comprendere i risultati delle indagini, rilievi, studi atti ad individuare e valutare i fattori che possono influire sul comportamento della fondazione; la scelta del tipo di fondazione; la verifica di stabilità del complesso terreno-fondazione; la previsione dei cedimenti e del loro andamento nel tempo; la scelta dei procedimenti costruttivi; le verifiche delle strutture e delle opere di fondazione.*

### C.3. Prescrizioni per le indagini.



*I rilievi e le indagini da effettuare in conformità alle direttive riportate alla sezione B hanno lo scopo di accertare la costituzione del sottosuolo e la presenza di acque sotterranee a pelo libero ed in pressione e di misurare e consentire la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.*

*La profondità da raggiungere con le indagini va computata dalla quota più bassa dell'opera di fondazione. Essa va stabilita e giustificata caso per caso in base alla forma, alle dimensioni, alle caratteristiche strutturali del manufatto, al valore dei carichi da trasmettere in fondazione, alle caratteristiche degli stessi terreni di fondazione ed alla morfologia di un'area di adeguata estensione intorno alla opera, nonché alla profondità ed al regime della falda idrica.*

*Indagini di carattere speciale devono essere eseguite nelle aree dove per motivate ragioni geologiche o relative al precedente uso del territorio possono essere presenti cavità sotterranee, possono manifestarsi fenomeni di subsidenza ed altri fenomeni che condizionino il comportamento statico dei manufatti.*

*Nel caso di modesti manufatti che ricadono in zone già note, le indagini in sito ed in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, sempreché sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e di notizie raccolti mediante indagini precedenti, eseguite su terreni simili ed in aree adiacenti. In tal caso, dovranno essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo.*

*Il punto C.4. "Fondazioni dirette" seguito dal successivo C.4.1. "Criteri di progetto" definisce specifiche tecniche in merito all'individuazione del piano di posa:*

*Il punto C.4.2. "Carico limite e carico ammissibile del complesso fondazione-terreno" stabilisce che il carico limite del complesso fondazione-terreno, deve essere calcolato sulla base delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo e delle caratteristiche geometriche della fondazione.*

*Nel calcolo devono essere considerate anche le eventuali modifiche che l'esecuzione dell'opera può apportare alle caratteristiche del terreno ed allo stato dei luoghi.*

*Nel caso di manufatti situati su pendii od in prossimità di pendii naturali ed artificiali deve essere verificata anche la stabilità globale del pendio stesso, secondo quanto disposto alla sezione G, considerando nelle verifiche le forze trasmesse dalla fondazione.*

*Il carico ammissibile deve essere fissato come un'aliquota del carico limite.*

*Il coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 3. Valori più bassi, da giustificare esplicitamente, potranno essere adottati nei casi in cui siano state eseguite indagini particolarmente accurate ed approfondite per la caratterizzazione geotecnica dei terreni con riguardo anche alla importanza e funzione dell'opera, tenuto conto del grado di affidabilità della valutazione delle azioni esterne, nonché dell'ampiezza del piano dei controlli da sviluppare durante la costruzione. Per le verifiche in presenza di azioni indotte da sismi si adotteranno i criteri delle citate Norme Sismiche.*

*Particolare attenzione è posta al punto C.4.3. "**Cedimenti**".*

*I cedimenti assoluti e differenziali ed il loro decorso nel tempo devono essere compatibili con lo stato di sollecitazione ammissibile per la struttura e con la funzionalità del manufatto.*

*La previsione dei cedimenti deve essere basata sul calcolo riferito alle caratteristiche di deformabilità dei terreni e delle strutture, tenendo in conto i valori dei carichi permanenti, il tipo e la durata di applicazione dei sovraccarichi. Tale previsione può essere limitata ad un giudizio qualitativo se una lunga, documentata e soddisfacente esperienza locale consente di valutare il comportamento del complesso terreno-strutture.*

*La prerogativa della sicurezza degli scavi è definita al punto C.4.5. "Scavi di fondazione".*

*Nell'esecuzione degli scavi per raggiungere il piano di posa della fondazione si deve tener conto di quanto specificato al punto A.2, al punto D.2 ed alla sezione G.*

*Il terreno di fondazione non deve subire rimaneggiamenti e deterioramenti prima della costruzione della opera. Eventuali acque ruscellanti o stagnanti devono essere allontanate dagli scavi.*



*Il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione deve essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro o altro materiale idoneo.*

*Nel caso che per eseguire gli scavi si renda necessario deprimere il livello della falda idrica si dovranno valutare i cedimenti del terreno circostante; ove questi non risultino compatibili con la stabilità e la funzionalità delle opere esistenti, si dovranno opportunamente modificare le modalità esecutive. Si dovrà, nel caso in esame, eseguire la verifica al sifonamento. Per scavi profondi, si dovrà eseguire la verifica di stabilità nei riguardi delle rotture del fondo.*

Lo studio è stato eseguito secondo quanto indicato dal D.M. 11.3.1988 alla sez. "E. Manufatti di materiali sciolti".

Il punto "E.2. Indagini sui terreni e sui materiali da costruzione" indica che "Il progetto deve prevedere la scelta dei materiali; questa deve essere effettuata tenendo presenti le risorse naturali della zona, nel rispetto dei vincoli imposti dalla vigente legislazione.

A tal fine, dove si prevede l'apertura di cave di prestito devono essere effettuate indagini geologiche e geotecniche per accertare la disponibilità di materiali idonei e la possibilità di eseguire i lavori.

*Sui materiali prescelti devono essere eseguite indagini di laboratorio per definire la classificazione geotecnica e le caratteristiche di costipamento e, quando necessario, le proprietà meccaniche e la permeabilità."*

Il punto "E.3. Criteri di progetto" impone che "si deve verificare che i cedimenti, dovuti alle deformazioni dei terreni di fondazione e dei materiali costituenti il manufatto, siano compatibili con la funzionalità e la sicurezza del manufatto stesso.

Il punto "E.4. Posa in opera dei materiali." Indica che "I materiali costituenti i manufatti devono essere posti in opera a strati e costipati per ottenere caratteristiche fisico-meccaniche in accordo con i requisiti progettuali. Al riguardo devono essere indicati in progetto le prescrizioni relative alla posa in opera precisando i controlli da eseguire durante la costruzione ed i limiti di accettabilità dei materiali.

*La posa in opera senza costipamento è consentita, oltre che per manufatti di pietrame e nel caso di opere subacquee quale che sia il materiale impiegato, avuto riguardo all'importanza del manufatto.*

*Le modalità della posa in opera e del costipamento devono essere considerate in progetto, sia nella definizione della sezione tipo dell'opera, sia nella valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali."*

Il punto 1.1 Progetto D.M. LL. PP. del 12/12/1985 Norme tecniche per le tubazioni illustra come il progetto deve comprendere i seguenti elementi essenziali:

.....

*b) la caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni interessati dal tracciato delle tubazioni, documentata dai risultati di indagini da condursi nel rispetto della vigente normativa riguardante le indagini sui terreni e sulle rocce ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*

Al punto **1.2 Costruzione** si osserva che nel corso della costruzione, dovranno essere disposte e fatte osservare prescrizioni confacenti:

.....

*b) con le **effettive condizioni geologiche e geotecniche**, urbanistiche ed ambientali, di volta in volta accertate nello sviluppo dei lavori, per la loro possibile influenza sul comportamento delle tubazioni nel tempo;*

Di particolare rilevanza tecnica il paragrafo 2.1.2 *Interazioni tubazione-terreni di posa*; lo stesso evidenzia i fattori di interazione.

*Per la definizione e valutazione di dette interazioni, si precisa che:*

a) nei riguardi delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dal tracciato delle tubazioni il progetto dovrà essere corredato dai risultati delle indagini, studi



e calcoli geotecnica nonché da una relazione geologica ai sensi della normativa vigente riguardante le indagini sui terreni e sulle rocce;

- b) nei riguardi della difesa dall'aggressività dei terreni attraversati dalle tubazioni, anche per quanto attiene le correnti vaganti, e dalle acque delle falde eventualmente interferite, il progetto dovrà studiare e proporre documentate soluzioni, tecnicamente idonee, nelle scelte dei tubi, dei giunti e dei pezzi speciali da impiegare, senza trascurare, ovviamente, lo studio delle possibilità di utilizzazione di adeguate protezioni attive o passive;
- c) nei riguardi della difesa dalle azioni conseguenti alla presenza di falde e/o di acque superficiali, il progetto dovrà riportare uno studio approfondito nei riflessi della stabilità e della conservazione delle sedi di appoggio delle tubazioni e delle opere nel tempo.

In concetti espressi nel D.M. LL. PP. del 12.12.1985 vengono rafforzati nella Circ. Min. LL.PP. 20 marzo 1986 n. 27291 dove al paragrafo 2.1 si definiscono come *“elaborati normativi unificati, validi per l'attuazione di un determinato progetto generale, potranno riguardare:*

- **le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno:**

Il D.M. riconosce che particolare rilievo assumono nei progetti alcune operazioni come la posa in opera, il rinterro parziale e definitivo. Il punto 3.6 *La posa in opera* detta le operazioni da compiersi per una corretta gestione operativa della realizzazione della tubazione. .... *Nell'operazione di posa dovrà evitarsi che nell'interno delle condotte penetrino detriti o corpi estranei di qualunque natura e che venga comunque danneggiata la loro superficie interna.*

*La posa in opera dei tubi sarà effettuata sul fondo del cavo spianato e livellato, eliminando ogni asperità che possa danneggiare tubi e rivestimenti.*

*Ove si renda necessario costituire il letto di posa o impiegare per il primo rinterro materiali diversi da quelli provenienti dallo scavo, dovrà accertarsi la possibile insorgenza di fenomeni corrosivi adottando appropriate contromisure.*

*In nessun caso si dovrà regolarizzare la posizione dei tubi nella trincea utilizzando pietre o mattoni od altri appoggi discontinui.*

*Il piano di posa dovrà garantire una assoluta continuità di appoggio e, nei tratti in cui si temano assestamenti, si dovranno adottare particolari provvedimenti quali: l'impiego di giunti adeguati, trattamenti speciali del fondo della trincea o, se occorre, appoggi discontinui stabili, quali selle o mensole.*

*Le operazioni di colmata degli scavi è definita dal punto 3.9 Il rinterro parziale..... Il rinterro verrà effettuato con materiale proveniente dagli scavi, selezionato o, se non idoneo, con materiale proveniente da cava di prestito, con le precauzioni di cui al punto 3.5.*

*Il materiale dovrà essere disposto nella trincea in modo uniforme, in strati di spessore opportuno, accuratamente costipato sotto e lateralmente al tubo, per ottenere un buon appoggio esente da vuoti e per impedire i cedimenti e gli spostamenti laterali. Nei tubi di grande diametro, di tipo flessibile, dovrà essere effettuato in forma sistematica il controllo dello stato di compattazione raggiunto dal materiale di rinterro secondo le prove indicate nel capitolato speciale e le ulteriori prescrizioni del direttore dei lavori, tenuto conto che dovranno essere rispettati i limiti di deformazione previsti nel disciplinare di fornitura del capitolato speciale d'appalto.*

*Ove occorra il rinfianco potrà essere eseguito in conglomerato cementizio magro. Saranno in ogni caso osservate le normative UNI esistenti nonché le indicazioni del costruttore del tubo.*

*Le operazioni conclusive di colmata dello scavo è codificata al punto 3.11 Il rinterro definitivo. Eseguita la prova idraulica si procederà al primo rinterro dei tratti di condotta ancora scoperti con le modalità ed i materiali stabiliti al punto 3.9.*

*Si dovrà quindi eseguire il rinterro definitivo impiegando materiali idonei disposti per strati successivi, spianati e accuratamente compattati dopo aver eliminato le pietre di maggiori dimensioni. A rinterro ultimato, si avrà cura di effettuare gli opportuni ricarichi laddove si potessero manifestare assestamenti.*

**Art. 186 Terre e rocce da scavo - Decreto Legislativo 3.4.2006 n. 152 "Norme in materia ambientale"**



Le terre e rocce da scavo, anche di gallerie, ed i residui della lavorazione della pietra destinate all'effettivo utilizzo per reinterri, riempimenti, rilevati e macinati **non costituiscono rifiuti** e sono, perciò, esclusi dall'ambito di applicazione della parte quarta del presente decreto solo nel caso in cui, anche quando contaminati, durante il ciclo produttivo, da sostanze inquinanti derivanti dalle attività di escavazione, perforazione e costruzione siano utilizzati, senza trasformazioni preliminari, secondo le modalità previste nel progetto sottoposto a valutazione di impatto ambientale ovvero, qualora il progetto non sia sottoposto a valutazione di impatto ambientale, secondo le modalità previste nel **progetto approvato dall'autorità amministrativa competente**, ove ciò sia espressamente previsto, previo parere delle Agenzie regionali e delle province autonome per la protezione dell'ambiente, sempre che la composizione media dell'intera massa non presenti una concentrazione di inquinanti superiore ai limiti massimi previsti dalle norme vigenti e dal decreto di cui al comma 3.

Il rispetto dei limiti di cui al comma 1 può essere verificato, in alternativa agli accertamenti sul sito di produzione, anche mediante accertamenti sui siti di deposito, in caso di impossibilità di immediato utilizzo. I limiti massimi accettabili nonché le modalità di analisi dei materiali ai fini della loro caratterizzazione, da eseguire secondo i criteri di cui all'Allegato 2 del titolo V della parte quarta del presente decreto, sono determinati con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio da emanarsi entro novanta giorni dall'entrata in vigore della parte quarta del presente decreto, salvo limiti inferiori previsti da disposizioni speciali. Sino all'emanazione del predetto decreto continuano ad applicarsi i valori di concentrazione limite accettabili di cui all'Allegato 1, tabella 1, colonna B, del decreto del Ministro dell'ambiente 25 ottobre 1999, n. 471.

Il rispetto dei limiti massimi di concentrazione di inquinanti di cui al comma 3 deve essere verificato mediante attività di caratterizzazione dei materiali di cui al comma 1, da ripetersi ogni qual volta si verificano variazioni del processo di produzione che origina tali materiali.

**LEGGE 9 agosto 2013, n. 98 "Conversione, con modificazioni, del Decreto-Legge 21 giugno 2013, n. 69 "Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia Art.41-bis. Ulteriori disposizioni in materia di terre e rocce da scavo"**

*1. In relazione a quanto disposto dall'articolo 266, comma 7, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, in deroga a quanto previsto dal regolamento di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 10 agosto 2012, n. 161, i materiali da scavo di cui all'articolo 1, comma 1, lettera b), del citato regolamento, prodotti nel corso di attività e interventi autorizzati in base alle norme vigenti, sono sottoposti al regime di cui all'articolo 184-bis del decreto legislativo n. 152 del 2006, e successive modificazioni, se il produttore dimostra:*

*a) che è certa la destinazione all'utilizzo direttamente presso uno o più siti o cicli produttivi determinati;*

*b) che, in caso di destinazione a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, non sono superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del decreto legislativo n. 152 del 2006, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione e i materiali non costituiscono fonte di contaminazione diretta o indiretta per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale;*

*c) che, in caso di destinazione ad un successivo ciclo di produzione, l'utilizzo non determina rischi per la salute né variazioni qualitative o quantitative delle emissioni rispetto al normale utilizzo delle materie prime;*

*d) che ai fini di cui alle lettere b) e c) non è necessario sottoporre i materiali da scavo ad alcun preventivo trattamento, fatte salve le normali pratiche industriali e di cantiere.*

*2. Il proponente o il produttore attesta il rispetto delle condizioni di cui al comma 1 tramite dichiarazione resa all'Agenzia regionale per la protezione ambientale ai sensi e per gli effetti del testo unico di cui al D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445, precisando le quantità destinate all'utilizzo, il sito di deposito e i tempi previsti per l'utilizzo, che non possono comunque superare un anno dalla data di produzione, salvo il caso in cui l'opera nella quale il materiale è destinato ad essere utilizzato preveda un termine di esecuzione superiore. Le attività di scavo e di utilizzo devono essere autorizzate in conformità alla vigente disciplina urbanistica e igienico-sanitaria.*



*La modifica dei requisiti e delle condizioni indicati nella dichiarazione di cui al primo periodo è comunicata entro trenta giorni al comune del luogo di produzione.*

*3. Il produttore deve, in ogni caso, confermare alle autorità di cui al comma 2, territorialmente competenti con riferimento al luogo di produzione e di utilizzo, che i materiali da scavo sono stati completamente utilizzati secondo le previsioni comunicate.*

*4. L'utilizzo dei materiali da scavo come sottoprodotto resta assoggettato al regime proprio dei beni e dei prodotti. A tal fine il trasporto di tali materiali è accompagnato, qualora previsto, dal documento di trasporto o da copia del contratto di trasporto redatto in forma scritta o dalla scheda di trasporto di cui agli articoli 6 e 7-bis del decreto legislativo 21 novembre 2005, n. 286, e successive modificazioni.*

*5. Le disposizioni di cui ai commi da 1 a 4 si applicano anche ai materiali da scavo derivanti da attività e opere non rientranti nel campo di applicazione del comma 2-bis dell'articolo 184-bis del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, introdotto dal comma 2 dell'articolo 41 del presente decreto.*

*6. L'articolo 8-bis del decreto-legge 26 aprile 2013, n. 43, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2013, n. 71, è abrogato.*

*7. L'articolo 1 del regolamento di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 10 agosto 2012, n. 161, recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo, nel definire al comma 1, lettera b), i materiali da scavo integra, a tutti gli effetti, le corrispondenti disposizioni del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 15.*

Il progetto delle opere e dei sistemi geotecnici deve articolarsi secondo quanto previsto dal punto 6.2 del DM 17.01.2018 che prevede le seguenti fasi:

1. caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
2. scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
3. caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
4. definizione delle fasi e delle modalità costruttive;
5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni
6. programmazione delle attività di controllo e monitoraggio.

Il successivo punto 6.2.4.1 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) riporta:

*Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:  $E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$*

*Dove  $E_{inst,d}$  è il valore di progetto dell'azione instabilizzante,  $E_{stb,d}$  è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.*

*La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori  $\gamma$  riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1.*

*Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:*

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

*essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni:*

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_K; \frac{X_K}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2a] \text{ o}$$



$$E_d = \gamma_E \times E \left[ F_K; \frac{X_K}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2b]$$

e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_K; \frac{X_K}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.3]$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $X_k/\gamma_M$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ . Il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con  $\gamma E = \gamma F$ .

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Per le verifiche nei confronti di stati limite ultimi non espressamente trattati nei successivi paragrafi, da 6.3 a 6.11, si utilizza l'Approccio 1 con le due combinazioni (A1+M1+R1) e (A2+M2+R2). I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

## Verifica applicabilità normativa sismica

L'esame della normativa prodotta a livello regionale riporta:

L. 24.02. 1992 n. 225 – indicazioni per il rischio sismico

DL 7.09.2001 n. 343 convertito in l del 9.11.2001 N. 401

Art. 93 lett. G) del DLgs 31.03.1998 n.112 – classificazione sismica del territorio competenza nazionale

Art. 94 del DLgs 31.03.1998 n.112 - classificazione sismica del territorio competenza regionale per lavori pubblici

arrt. 83 comma 3 del DPR 6.6.2001 n. 380 – identificazioni della zona sismica;

Presidenza del consiglio dei ministri – ordinanza n. 3274 del 0.03.2003 (GU n. 105 del 8.05.2003 SO n. 72) - classificazione sismica del territorio nazionale – Sardegna zona 4

Integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 0.03.2003 con ordinanza n. 3316.

DM 14.01.2008 – cap. 2.2 - verifiche agli stati limite

DM 14.01.2008 – cap. 2.4.1 - tipi di costruzione con riferimento al D. Prot. Civ. n. 3685 del 21.10.2003

DM 14.01.2008 – cap. 2.4.2 - classi d'uso con riferimento al D Prot. Civ. n. 3685 del 21.10.2003

DM 14.01.2008 – cap. 2.7 verifiche alla tensioni ammissibili – solo per costruzioni di tipo 1 e 2 classe I, II;



DM 14.01.2008 – cap. 3.2 azione sismica

DM 14.01.2008 – cap. 5 Ponti (Classe III, IV)

DM 14.01.2008 – cap. 6 progettazione geotecnica

DM 14.01.2008 – cap. 7 progettazione per azioni sismiche – indicazioni aggiuntive ai capp. 4, 5, 6 e sempre in riferimento ai capp. 2, 3.

DM 14.01.2008 – cap. 7 progettazione per azioni sismiche – le costruzioni da edificarsi in zona 4 devono seguire le indicazioni espresse

DM 14.01.2008 – cap. 8 costruzione esistenti – nessun riferimento per la zona 4

DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

## **Normativa regionale di riferimento**

D. Lgs. 3.04.2006, n. 152, recante "Norme in materia ambientale" e ss.mm.ii., con particolare riferimento alla parte terza relativa a "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche".

L.R. 6.12.2006 n. 19, recante "Disposizioni in materia di risorse idriche e bacini idrografici" con particolare riferimento all'art.31 "Procedure transitorie".

L.R. 15.12.2014, n. 33 "Norma di semplificazione amministrativa in materia di difesa del suolo".

Decreto del Presidente della Regione Sardegna n° 67 del 10.07.2006 con il quale è stato approvato il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 17.12.2015 con la quale è stato approvato il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.): - Oggetto: Predisposizione del complesso di "Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato Progetto di Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)" – Approvazione in via definitiva ai sensi dell'art. 9 L.R. 6 dicembre 2006, n.19 e s.m.i. [BURAS DEL 19.12.2015 N. 58 anno LXVII- part. I II].

Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 15.03.2016 avente per Oggetto: Attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 – Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna. Approvazione

Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 17/05/2017 avente per Oggetto: Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni e D.Lgs. 49/2010 - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del distretto idrografico della Sardegna - Aggiornamento intermedio ai sensi dell'articolo 42 delle NTA del PAI

Deliberazione dell'Autorità di Bacino n. 2 del 30.07.2015 avente per Oggetto: Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs.49/2010 – Coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) e gli strumenti della pianificazione di bacino di cui alla Parte Terza del D.Lgs 152/2006 e s.m.i. – Modifica alle Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n° 2 del 26.04.2007, con la quale all'art. 1 vengono recepite le procedure, le modalità di gestione, l'aggiornamento e l'attuazione del P.A.I..

Norme di Attuazione del P.A.I., così come aggiornate con Decreto del Presidente della Regione n. 35 del 27/04/2018 BURAS n. 23 e con la Deliberazione di Giunta Regionale n. 13/12 del 13/03/2018 che recepisce la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 27/02/2017.

Art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I., che prevede che in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici, indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal P.A.I. i Comuni, "assumono e valutano le indicazioni di appositi studi di compatibilità idraulica e geologica - geotecnica, predisposti in osservanza dei successivi art. 24 e 25, riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli atti proposti all'adozione".

Articolo 4 commi 4, 10, 13, 14, 15 delle norme di attuazione del P.A.I..



Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 4 del 10.03.2010 avente ad oggetto "Approvazione Circolare 1/2010" recante "Indirizzi interpretativi e procedurali relativi alle norme di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)".

Deliberazione n. 4 del 17.12.2015 dell'Autorità di bacino regionale della Sardegna della Presidenza della Regione è stata approvata la circolare 1/2015 (Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) – Approvazione della Circolare 1/2015 contenente indirizzi interpretativi e procedurali relativi alle norme di attuazione). [BURAS Supplemento Straordinario al N. 2 del 14.01.2016].

Deliberazione del comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino n.2 del 07.07.2015 "Oggetto: Varianti PAI, ai sensi dell'art. 37 c. 3 lett. b) delle NA, relativamente alle aree oggetto degli studi ex art. 8 delle NA del PAI approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino per i quali siano decorsi i termini di validità delle misure di salvaguardia e non siano state approvate le successive varianti PAI. – Indirizzi operativi".

Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 3 del 27.10.2015 "Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) – Pubblicazione a fini divulgativi del Testo coordinato delle Norme di Attuazione del PAI".

Delibera del Comitato Istituzionale n° 2 del 26.04.2007, con la quale all'art. 1 vengono recepite le procedure, le modalità di gestione, l'aggiornamento e l'attuazione del PAI;

Progetto I.F.F.I. costituente l'inventario dello stato di dissesto idrogeologico del territorio sardo

Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 3 del 30.07.2015.

## Caratteri litologici

Nel Terziario della Sardegna sono state recentemente messe in evidenza due fasi compressive riferibili al Luteziano inferiore ed al Burdigaliano inferiore - medio. Le due fasi sono state inquadrare in due momenti chiave della storia del Mediterraneo (Cherchi & Montadert, 1982) :

- prima dell'apertura del Mediterraneo occidentale (fase Pirenaica, Eocenica)
- fine della rotazione antioraria del micro-continente Sardo-Corso.

Il *rift* Sardo, parallelo a quello del Mediterraneo occidentale del bacino sedimentario Oligo -miocenico, si sviluppa longitudinalmente da nord a sud per una lunghezza di ca. 220 km e occupa la fascia meridiana della Sardegna. La sua larghezza è di ca. 40-50 km. Il trend del *rift* è chiaramente nord - sud ma localmente si riscontrano faglie di direzione comprese tra N-S e NNW-SSE talora interessate da faglie trasversali. Successivamente alla prima fase prende corpo un vulcanismo orogenico che inizia intorno ai 33-32 Ma per terminare attorno ai 13-11 Ma (Savelli et al., 1979; Beccaluva et al., 1985).

La distribuzione areale dei prodotti vulcanici, ad affinità calcalkalina e tholeitica, è di 10000 kmq, ripartiti come da Savelli et al. (1979):

- 69% al nord dell'isola;
- 17% al centro;
- 14% al sud.

L'inizio del magmatismo si è manifestato per primo nella Sardegna meridionale, Cixerri, Siliqua, (Beccaluva et al. 1985) con l'effusione di lave andesitiche in corrispondenza di aree interessate da tettonica distensiva e precoce subsidenza già dall'Eocene (Beccaluva et al., 1980). Successivamente l'attività magmatica si estese al resto dell'isola, dove le lave venivano iniettate preferibilmente lungo le strutture del *graben*, per terminare intorno ai 26 Ma (Savelli et al., 1979, Beccaluva et al., 1985).

In un periodo successivo a partire da 23 Ma l'attività mostra un cambiamento radicale risultando caratterizzata da un magmatismo altamente esplosivo di tipo riodacitico ignimbrico (Beccaluva et al., 1994) in vari settori dell'Isola (Marghine, Montiferro, Logudoro-Bosano), che si alterna ed in parte si sovrappone con nuove formazioni basaltico-andesitiche (Beccaluva et al., 1980).



Tra i 32 e 26 Ma l'attività magmatica nel sud-ovest dell'isola, M.te Arcuentu, (Assorgia et al., 1985) mostra carattere tholeiitica/calcalcalino con affinità con quella della Provenza (Beccaluva et al., 1994), mentre tra i 26 e 18 Ma nel sud e nel nord dell'Isola l'attività magmatica mostra una significativa zonazione spaziale mostrando carattere toleiteico/calcalcalino e calcalcalino alto in K/shoshonitico rispettivamente (Beccaluva et al., 1987).

Le formazioni ignimbritiche sono principalmente costituite da depositi tipo "ash flow" e "pomice flow" e raramente da lave ossidianee e da livelli perlitici. In totale la superficie occupata da questi prodotti è di ca. 800 kmq lungo il *graben* da nord a sud (Beccaluva et al., 1985). L'alto rapporto  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  misurato sulle ignimbriti della Gallura nord occidentale e le caratteristiche mineralogiche fanno supporre per questi prodotti una genesi di anatessi crostale della crosta granitoidale (Savelli et al., 1979; Beccaluva et al., 1980). Indagini sul grado di anisotropia e di AMS indicano per le lave una provenienza dal sistema di fratture presenti nel basamento (Beccaluva et al., 1984a).

Gli ultimi episodi di questa attività sono rappresentati da lave andesitiche, dacitico-riolitiche datate 13.8-11.5 Ma (Savelli et al., 1979; Beccaluva et al., 1980-1985) affioranti nel Logudoro e nel Cixerri. La presenza nello stesso periodo (21-17 Ma) di lave andesitiche di origine più profonda (serie calcalcaline alta in K) e una meno profonda (serie toleiteica) rispettivamente nella Sardegna meridionale e settentrionale, possono suggerire differenti interpretazioni sul significato geodinamico del vulcanismo Oligomioceno.

Una prima interpretazione prevede che la deriva sia dovuta essenzialmente a movimenti traslativi fino a ca. 17-15 Ma (Coulon C., 1977) età di messa in posto delle formazioni ignimbritiche superiori. Dunque sia la zoneografia magmatica che la deriva dal margine europeo sarebbero in accordo con la presenza di una paleozona di subduzione verso NW o NNW. Agli stessi risultati si potrebbe pervenire con una rotazione della microplacca Sardo-Corsa, in relazione a un piano di subduzione immergente a NW (Beccaluva et al., 1980).

L'ipotesi di una rotazione del blocco Sardo-Corso viene suffragata da datazioni K/Ar correlati da misure paleomagnetiche. Il distacco e la successiva rotazione antioraria di 30° della microplacca sarebbero avvenuti nell'arco di 1.5 Ma nell'Aquitano superiore a cavallo di 20 Ma (Montigny et al. 1981).

L'inizio dell'attività ignimbritica, concomitante alla formazione del *graben* occidentale dell'Isola (Cocozza & Schafer, 74) risulterebbe strettamente connessa all'instaurarsi di importanti fenomeni di *rifting* del margine paleoeuropeo precursori dei movimenti di deriva della microplacca, le cui fasi più importanti si sarebbero manifestate a partire dal Burdigaliano inferiore-medio (Cherchi & Montadert, 1982). Il magmatismo orogenico della Sardegna può essere correlato a processi di subduzione di crosta oceanica immergente in direzione NW (Beccaluva et al., 1987), che ha prodotto lo sviluppo di un bacino di retroarco.

Mentre il vulcanismo anorogenico si è sviluppato dal Pliocene sulle placche litosferiche stabili e strutturalmente continue, l'attività orogenica sembra diventare più giovane verso est, in concomitanza con la rotazione in senso antiorario della placca appenninica e la associata migrazione verso est del *rifting* e del *folding* dei suoi lati tirrenici e adriatici.

Questo vulcanismo mostra un carattere calco-alcalino l.s. ed è considerato correlato a una zona di subduzione da NW a NNW lungo il margine paleo-Europeo correlato all'apertura del bacino delle Baleari e nella migrazione in senso antiorario della microplacca sardo-corsa (Beccaluva et al., 1987). Il principio del *rift* tra la Sardegna e la Provenza è posto all'inizio dell'Oligocene mentre l'attività magmatica nell'Isola è cominciata circa 32 Ma. Petrograficamente, le lave basaltiche e andesitiche hanno una mineralogia tipica delle *suite* calcoalcaline con ordine di cristallizzazione: olivina, spesso con bordo di reazione di ortopirosseno, talvolta clinopirosseno, plagioclasio e magnetite. L'anfibolo bruno è una fase sporadica, addizionale nel liquido nelle lave calcoalcaline ed è poco abbondante in andesiti calcoalcaline alte in K. Latiti e trachiti shoshonitiche del nord Sardegna (Anglona) hanno plagioclasio, scarso clinopirosseno e magnetite come microfenocristallo in pasta di fondo, più alcali feldspato ed biotite interstiziale (Beccaluva et al., 1994).

Il vulcanismo calcoalcalino nel S-W della Sardegna è caratterizzato da una sequenza potente nella sua parte superiore almeno 500m. Questa sequenza è costituita nella parte basale da basalti andesitici, andesiti, basalti (28.5-17 Ma) e nella parte superiore da daciti, rioliti e comenditi (17.6-13.8 Ma). La sequenza superiore è dominata da cristallizzazione frazionata dei tipo *daciti*  $\Rightarrow$  *riodaciti*  $\Rightarrow$  *rioliti transizionali* e *rioliti peralcaline*. Questo *trend* mostra un arricchimento in elementi incompatibili e forti arricchimenti in Zr e Nb accompagnato da impoverimento di elementi compatibili (Sr, Ba) (Morra et al., 1994).



In Sardegna la successione marina oligo-miocenica viene suddivisa dagli autori secondo unità formazionali; le principali sono di seguito elencate:

- **Marne di Ales**
- **Calcari di Villagrecia**
- **Formazione della Marmilla**
- **Marne di Gesturi**
- **Argille di Fangario**
- **Arenarie di Pirri**
- **Calcari di Cagliari**
- **Formazione di Capo San Marco**

Nella Sardegna settentrionale le sezioni più significative sono rilevabili nel Sassarese, nell'Anglona e soprattutto nel Logudoro, dove le potenze dei sedimenti sono maggiori che altrove.

La successione marina miocenica del Logudoro potente circa 500m, è riferibile al Langhiano (Burdigaliano sommitale?) - Serravalliano ( Pomesano Cherchi, 1971 ). I sedimenti marini basali, sovrastanti la «Formazione lacustre» («serie di tufi pomicei, talora pisolitici, a piante silicizzate»), sono rappresentati da marne arenacee, attribuibili per il contenuto della microfauna planctonica, alla sub- zona a Globigerinoides bisphericus.

Nel Logudoro, come nel Bosano e nella Valle del Tirso, non affiorano strati più antichi del Burdigaliano-Langhiano; tuttavia non si può del tutto escludere la presenza di sedimenti aquitaniani, alla base delle trachiti, analogamente al vicino settore di Castelsardo, dove sotto le vulcaniti l.s note come trachiti, correlabili con quelle logudoresi, affiorano sedimenti del Miocene inferiore.

Il tetto della successione logudorese è costituito da calcari compatti a molluschi, non databili sulla base delle microfaune. Gli strati marnoso-arenacei a questi sottostanti indicano la subzona a Orbulino universo ( Serravalliano ).

Gli ultimi strati miocenici, come in altri settori dell'Isola, sono coperti da colate basaltiche; un intenso ciclo erosivo ha preceduto l'effusione lavica, come si può dedurre dall'età degli strati sottostanti le varie colate. Tolosa i sedimenti miocenici sono stati completamente erosi prima dell'effusione e i basalti coprono direttamente le trachiti di base.

La zona di Castelsardo, nell'Anglona, finora rappresenta l'unico esempio di sedimentazione miocenica pre-trachitica che recentemente Maxia & Pecorini, 1968, hanno potuto datare con maggiore precisione, attribuendoli alla zona a Globigerinita dissimilis ( Aquitaniano ). Su questi sedimenti e sulle vulcaniti sono evidenti tracce di erosione, che hanno preceduto la trasgressione miocenica, cui si deve la successiva deposizione, nella regione di calcari organogeni, da bioermali a biostromali.

Nel Sassarese i sedimenti miocenici non raggiungono i 200 m di spessore. Sulla «Formazione lacustre», costituita da un'alternanza di calcari marnosi chiari a Cypris, tufi pemicei stratificati, spesso con intercalazioni selciose, a legni silicizzati e molluschi continentali (Helix, Planorbis e Limnea), segue una successione marina costituita alla base da facies grossolane sabbioso-arenacee conglomeratiche ( «Arenarie di Pirri») ad echinidi e molluschi, a cui seguono calcari marnosi giallastri, talora arenacei, con intercalazioni marnose, particolarmente sviluppati nei dintorni di Sassari.

Al periodo del Miocene inferiore sono riferibili litotipi quali arenarie, conglomerati, tuffi più o meno arenacee con foraminiferi planctonici, molluschi bentonici, echinoidi, coralli. Nel settore si riconoscono una particolari facies di seguito riportato:

### **Tuffi siltitiche ed arenacee**

Nella Carta Geologica d'Italia (1959) con il simbolo Mt vengono descritti dei «tufi pomicei, molasse, marne argillose, sabbie e conglomerati». Queste litologie, così varie, è tuttavia preferibile distinguerle in due unità: quella a «tufi e molasse» e quella a «sabbie e conglomerati». In passato questa formazione è stata definita «Molassa a Vaginella depressa» e «Tufo a Vaginella».

Si tratta per l'appunto di tuffi siltitiche e/o arenacee, grigio - giallastre, nettamente stratificate. La frazione granulometrica più rappresentata è quella corrispondente al silt e all'arenaria fine. La facies arenacea è costituita da piccoli granuli di



origine inorganica: vetro vulcanico, pirosseni, miche e di elementi di natura organica: Foraminiferi, Radiolari, Poriferi (spicole silicee). Queste ultimi appaiono integri o leggermente usurati per aver subito un accentuato trasporto. In alcune sequenze si rinvencono piccole pomice, bianco-giallastre, con dimensioni da alcuni millimetri a qualche centimetro, di solito alterate e ossidate.

I corpi rocciosi hanno compattezza diversa e sono cementati da un cemento siliceo o, eccezionalmente, calcareo. Gli strati altamente silicizzati, evidenziano complessivamente un contenuto paleontologico poco abbondante. La quasi totalità delle tanatocenosi a macrofossili incontrate (Gasteropodi, Bivalvi, Scafopodi) presentano un alto grado di decalcificazione. Lo stato di conservazione è migliore per quanto riguarda gli Echinoidi e certi Bivalvi (Pettinidi); altri ancora risultano nella quasi totalità allo stato di modello interno (Pteropodi). Sono presenti anche frustoli carboniosi, grossi frammenti di legno silicizzato e pollini.

Questo complesso è ben esposto e facilmente osservabile a Sud di P.ta Molino e lungo la costa di Castelsardo. Si ritrova anche a Rocca Bianca, Tergu, Pedra Sciolta, San Giovanni, alle pendici di M. te Elias, P.ta Sa Menta, M.te Osoni, R.cia Li Cacciatori, M. Castellacciu e Campulandru.

Le tufiti possono essere ascritte ad un intervento di tempo compreso fra l'Aquitaniense e il Burdigaliano inferiore. A tetto delle tufiti, di solito, poggiano spessori sino ad un paio di decine di metri di «ash fall» e «ignimbriti».

### **Conglomerati e arenarie**

Questa unità è esposta a P.ta Viuledda dove le arenarie, di colore verde-giallastro, appaiono complessivamente ben stratificate ed evidenziano una tanatocenosi ben conservata, a grossi Turritellidi, Pettinidi, Ostreidi ed Echinoidi, mentre i conglomerati, di colore verde-rame, risultano costituiti da clasti molto elaborati di quarzo, granito, porfido e, talora, di vulcaniti.

La facies conglomeratica si incontra, anche a Sud di P.ta Molino e a Piana Muddeggju, dove evidenzia clasti di quarzo, di «ignimbrite» e di rocce andesitoidi originatesi, verosimilmente, dallo smantellamento parziale delle stesse vulcaniti intercalate alle tufiti, ed elementi di rocce granitoidi ben arrotondati, talvolta con cemento siliceo. Presenta una potenza pari, mediamente ad alcune decine di centimetri.

Il complesso è compreso, generalmente, fra le tufiti aquitaniane-burdigaliane, a letto, e gli «ash fall» o le «ignimbriti superiori», a tetto (Castelsardo, P.ta Molino, P.ta Viuledda), pertanto, si può ritenere che lo stesso sia eteropico o leggermente posteriore alle tufiti.

### **«Ignimbriti» intercalate nelle tufiti**

L'unità già segnalata nella Carta Geologica d'Italia come «sottili intercalazioni laviche trachiadesitiche di eruzione sottomarina», presenta un colore che va dal rosa al violaceo, è intercalata nelle tufiti e affiora nelle depressioni di Rocca Bianca e Piana Muddeggju.

Lo spessore di questi banchi oscilla mediamente fra i 2 e i 10 metri. L'ambiente di deposizione è ritenuto subaereo, sebbene in passato si sia pensato ad un ambiente marino. È verosimile ipotizzare che le coltri ignimbritiche si siano deposte in aree vicinissime alla paleolina di costa e che le zone sommerse siano state interessate invece da deposizione di tufi e di tufiti.

I rapporti stratigrafici con le facies precedentemente descritte permettono la loro attribuzione ad un intervallo di tempo compreso fra l'Aquitaniense ed il Burdigaliano inferiore. Secondo MONTIGNY et alii (1981) le  $M_{17}$  del settore di Castelsardo, alle quali apparterebbe l'unità in questione, datate col metodo K-Ar a 20,3-21,7. Ma, sono da ritenersi aquitaniane; secondo altre scale radiometriche tale età è invece riferibile al Burdigaliano inferiore.

Nell'area, non risultano datate radiometricamente, tuttavia, trovandosi intercalate nella parte alta del complesso delle tufiti, attribuite paleontologicamente all'Aquitaniense-Burdigaliano inferiore, possono essere considerate come appartenenti, probabilmente, all'Aquitaniense sup. Burdigaliano inferiore. La loro attribuzione stratigrafica è confermata anche dai dati paleomagnetici che individuano per questa unità declinazioni comprese fra quelle delle tufiti e quelle delle «ignimbriti» superiori. Le datazioni riferiscono le andesiti di questa regione ad un'età compresa tra 18,9 e 17,2 Ma.



## **Brecce «andesitiche»**

Nella Carta Geologica d'Italia sono contraddistinte col simbolo v, e denominate brecce andesitiche. Si tratta di agglomerati a grossi elementi di rocce andesitiche immersi in una massa tufacea grigiastra o violacea. Generalmente i clasti di andesite sono a spigoli vivi e depositi caoticamente. Affiorano a Pedra Sciolta e Tergu. In quest'ultima regione poggiano su tuffi e andesiti, e sono a loro volta ricoperti dalle «ignimbriti superiori». Poiché si trovano intercalate nella parte alta dell'unità a, sono da ascrivere, con buona probabilità, al Burdigaliano inferiore.

### **«Ash fall»**

Fra le tuffi e le «ignimbriti superiori», si individua normalmente un complesso costituito da «ash fall». Presenta, solitamente, un colore rosa e contiene elementi spigolosi di pomici e di altre rocce vulcaniche fortemente alterate, con cemento composto quasi essenzialmente da ceneri vulcaniche.

La stratificazione è poco evidente sebbene, talvolta, si noti la isorientazione degli elementi costituenti. È possibile, pertanto, evidenziare una giacitura concordante con quella delle ignimbriti. La potenza di questa unità varia da alcuni decimetri a pochi metri.

Dal punto di vista cronostratigrafico, considerato che essa è interposta fra le tuffi datate Aquitaniano-Burdigaliano inferiore e le «ignimbriti superiori» attribuite radiometricamente a 18.5 -19.7. Ma, è possibile assegnare questa litofacies ad un intervallo di tempo immediatamente successivo al Burdigaliano inferiore.

### **«Ignimbriti superiori»**

Definite in passato da diversi AA. come «Trachandesiti», sono considerati nell'uso corrente «ignimbriti superiori». Risultano facilmente riconoscibili per il loro colore rosso-violaceo o grigio-nocciola, e per la tessitura fluidale che appare sia a grande che a piccola scala.

Le coltri ignibritiche identificate in questo settore appaiono molto vetrose alla base e con accentuato contenuto di fenocristalli, immersi in una pasta di fondo vetrosa, verso l'alto. Contengono inoltre, numerosi inclusi di andesiti e/o di altre «ignimbriti». Caratteristica è, talora, la presenza di fiamme vetrose che verso l'alto aumentano di dimensioni ed abbondanza tanto da fare acquisire all'intero livello un aspetto vetroso. La potenza delle bancate ignibritiche oscilla, in media, intorno ad alcune decine di metri (circa 30-50 m).

L'unità in questione giace sugli «ash fall» e sottostà ai calcari trasgressivi riferiti, paleontologicamente, dagli Autori ad un generico Miocene medio. Le datazioni, metodo K-Ar, indicano per le «ignimbriti superiori» del settore di Castelsardo fra 18.5 e 19.7 Ma.

Alle successioni **del Miocene medio** sono ascrivibili i depositi marini del secondo ciclo sedimentario miocenico: marne e marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati e sabbie silicee sublitorali-epibatiali con foraminiferi planctonici, molluschi pelagici, molluschi bentonici, echinoidi, coralli bianchi.

### **Conglomeramento di trasgressione (Serravalliano)**

Si presenta con una colorazione che va dal bianco al rosa ed è costituito, di solito, da elementi di «ignimbrite», più o meno grossolani che, a Sud di Castelsardo, raggiungono anche un metro di diametro, frammisti a clasti, ben arrotondati, di rocce granitoidi. La matrice è rappresentata, per lo più, da frammenti di conchiglie (M. Ossoni), il cemento è carbonatico. Poggia trasgressivo immediatamente sulle «ignimbriti superiori» a Sud di Castelsardo, a Campulandru, a P.ta Violedda, a M. Ossoni e a R.cia Li Cacciatori.

Il contenuto paleontologico, generalmente, evidenzia resti di Ostreidi, talvolta associati a modelli interni di altri Bivalvi, fra i quali prevalgono individui di *Flabellipecten koheni* (Fuschs). La potenza di questa litofacies oscilla, mediamente, fra un metro e quattro metri.

Questa facies, unitamente ai litotipi miocenici che la sovrastano, realizza un complesso carbonatico che gli Autori assegnano ad un indifferenziato Miocene medio sulla base di analogie macro-faunistiche con depositi coevi di altre parti della Sardegna.



## **Arenarie e conglomerati (Serravalliano)**

Nella Carta Geologica d'Italia (1959) sono descritte come eteropiche al calcare. In effetti, piuttosto che eteropiche, appaiono leggermente anteriori ai calcari e forse eteropiche al conglomerato di trasgressione medio-miocenico.

Si tratta di facies clastiche ad elementi grossolani e arrotondati di rocce granitoidi. Non presentano stratificazione netta e appaiono, talvolta, molto compatte in quanto provviste di cemento siliceo; altre volte risultano completamente sciolte. Si rinvencono a Sud di Castelsardo e in regione Pedraggiu.

Il contenuto paleontologico ha evidenziato, in particolare, grossi Bivalvi e Gasteropodi nonché frammenti di Coralli hermatipici. Fra i primi sono stati riconosciuti alcuni esemplari di *Flabellipecten koheni* (Fuschs) e di *Amusium destefafui* (Ugolino).

L'insieme dell'associazione unitamente ai rapporti stratigrafici evidenziati e, come già detto, alle analogie di facies con formazioni coeve di altre parti dell'Isola, ha permesso di confermare l'appartenenza di questa unità al Miocene medio.

## **Calcari e marne (Serravalliano)**

Sopra il conglomerato si riconosce una facies calcarea e/o marnosa molto fossilifera. Questa unità presenta elementi arenacei e di vulcaniti, altre volte frammenti di conchiglie. Il litotipo più rappresentato è un calcare bianco a grossi Pettinidi ed Echinoidi.

Il contenuto paleontologico di questi sedimenti evidenzia la presenza di macrofaune: *Flabellipecten Koheni* (Fuschs), *Flabellipecten vinassai* (Ugolini), *Amusium destefanii* (Ugolino), *Chlamys* (*Macrochlamys*) *latissima* (Brocchi), *Chlamys northamptoni* (Michelotti); tra i secondi: *Clypeaster scilla* *Desmoulini*, *Clypeaster sardiniensis* Cotteau. È esposto, potente alcuni metri, a Sud di Castelsardo, a Campulandru, a P.ta Viuledda, a R.cia Li Cacciatori e a M. Osson

Dalla biofacies a Pettinidi si passa verticalmente a quella a Coralli biocostruttori. Affiorano a Castelsardo e a Campulandru. Si tratta di bioherme costituite quasi esclusivamente da Coralli hermatipici, i quali presentano una notevolissima varietà interspecifica. Quest'ultima paleofauna si rinviene comunemente con le medesime caratteristiche, anche in numerosi affioramenti del Miocene medio di altre parti della Sardegna.

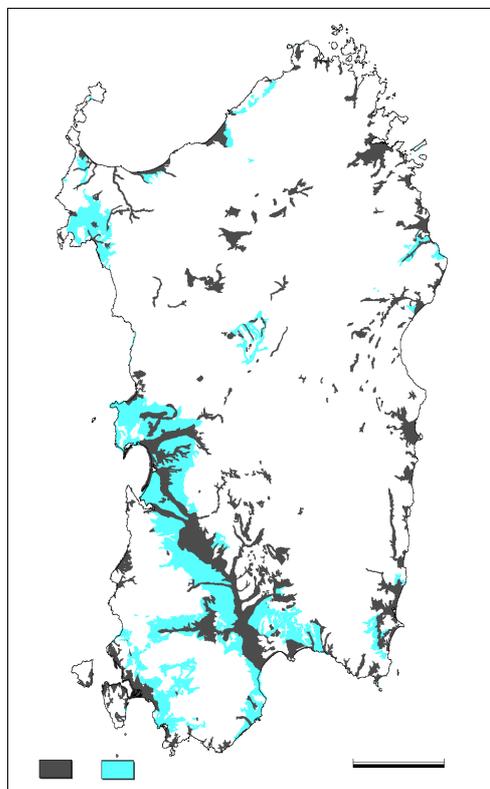
Nel settore in studio, in particolare a Campulandru, sono state rinvenute dagli AA ricchissime colonie ben conservate di *Thegioatraea miocenica* (Michelotti), *Helioastraea* sp., *Porites* sp.

## **Quaternario**

Il Quaternario è rappresentato in diversi settori della Sardegna (fig. 1) ed è costituito da affioramenti in gran parte rappresentati da depositi in facies continentale, mentre i subordinati depositi marini danno luogo ad affioramenti discontinui e di debole spessore e vengono attribuiti al Tirreniano, essendo gli unici che forniscano una sicura datazione in base al contenuto paleontologico. Per quanto riguarda l'età dei depositi continentali, questa è in genere definita solo in base ai rapporti con quelli marini tirreniani.

Conformemente al resto dell'Isola questi depositi sono rappresentati da alluvioni antiche e recenti, da detriti di falda e subordinatamente da crostoni calcarei. Le alluvioni antiche

**Fig. 1** - Ubicazione degli affioramenti quaternari di ghiaie, sabbie ed argille oloceniche (1), di "Alluvioni antiche" Auct. (2a), "Panchina tirreniana" Auct. (2b) e Arenarie eoliche würmiane (2c) (Da Carmignani et. Al 1997)





affiorano intorno ai rilievi rocciosi e spesso sono terrazzate. La composizione è ciottoloso-sabbioso-argillosa ed un colore marron – rossastro. I ciottoli derivano dalle formazioni affioranti nel settore e constano in rocce paleozoiche, quarzo, e andesite; la frazione fine è costituita da sabbia, limo ed argilla più o meno ferruginosa. Lo spessore è pari a 5-6m nella piana del Cixerri ma aumenta notevolmente, > 100m, nei dintorni di Uta e Villaspeciosa. I crostoni calcarei bianco giallastri affiorano in prossimità di fonti sorgive ricche in carbonati direttamente sul substrato roccioso scistoso o sulle alluvioni; il loro spessore varia intorno al metro.

**Tabella I** - Definizione di classi granulometriche

(classificaz. delle terre)	(CNR UNI 10006)	
blocchi trovanti	ciottolo pietra	
60 mm	71 mm	
ghiaia	ghiaia breccia pietrisco	
	25 mm	
	ghiaietto breccetta pietrischetto	
2 mm	10 mm	
sabbia	ghiaio brecciolino graniglia	
	2 mm	
0.06 mm	sabbia	
limo	limo filler	
	0.005 mm	
0.002 mm	argilla filler	
argilla		

Il Quaternario antico (Pleistocene) è quindi rappresentato principalmente dalle “Alluvioni antiche” Auct. (3b), diffuse in tutta l'Isola, ma in particolare nella piana del Campidano e in Nurra. Con minore estensione affiorano anche nelle pianure costiere del Turritano (Sassarese), di Orosei e Siniscola, del Sarrabus, ecc. Si tratta prevalentemente di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, rappresentati da conglomerati, ghiaie e sabbie più o meno costipate, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa arrossata e variamente ferrettizzate.

Pur mancando i dati per una documentazione cronostatigrafica adeguata delle “Alluvioni antiche” Auct., diversi Autori hanno tuttavia evidenziato alcuni aspetti e svolto considerazioni che permettono una loro collocazione stratigrafica.

Caratteristici in tutta l'Isola sono i depositi tipo “*éboulis ordonnés*”, costituiti da materiale clastico spigoloso e più o meno grossolano, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa in genere arrossata, con una stratificazione sottolineata da ripetute variazioni granulometriche dovute alle variazioni d'intensità e/o di frequenza del crioclastismo in ambiente periglaciale. L'inclinazione degli strati non è coerente con quella del versante su cui poggiano, e all'interno del deposito essa aumenta da pochi gradi al piede del versante, fino a circa 30° nella parte sommitale.

L'Olocene (1) è rappresentato soprattutto dai depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali, dalle sabbie e ghiaie delle spiagge, dalle sabbie eoliche di retrospiaggia, talora con formazioni dunari che si estendono per qualche chilometro nell'entroterra, e da depositi limoso-argillosi delle lagune e stagni costieri. Sempre all'Olocene sono riferibili gli accumuli detritici spigolosi e più o meno grossolani situati al piede dei versanti più acclivi nei rilievi costituiti dalle magmatiti paleozoiche (porfiroidi, porfidi, granitoidi), dalle quarziti o dalle pareti subverticali dei “Tacchi” carbonatici mesozoici e delle “Giare” basaltiche.

Nelle aree pedemontane di raccordo tra i rilievi e le pianure si estendono i depositi detritici dei glacis di accumulo, talora potenti alcune decine di metri (Sulcis, Campidano occidentale, ecc.), anch'essi reinciati e terrazzati. Si tratta di materiale clastico grossolano, con elementi spigolosi o solo debolmente smussati, di dimensioni mediamente da centimetriche a decimetriche, con abbondante matrice argilloso-ferruginosa arrossata. La loro deposizione si fa risalire all'azione del ruscellamento diffuso in condizioni climatiche fredde e umide corrispondenti ai periodi glaciali del Pleistocene. Sui pediment (o glacis di erosione) modellati per lo più sulle rocce cristalline paleozoiche, i depositi detritici da ruscellamento risultano invece assai discontinui e di esiguo spessore (da pochi decimetri a qualche metro). A questi depositi pedemontani vanno pure associati detriti di versante di probabile origine crioclastica, riconducibili anch'essi ai sistemi morfoclimatici di tipo periglaciale.

Le terre dei depositi alluvionali sono generalmente costituite da ciottoli e ghiaie frammisti alla frazione sabbiosa e limosa. Le analisi di laboratorio riconducono spesso il complesso dei depositi a terre appartenenti al gruppo delle **terre ghiaio – sabbiose** della classificazione CNR UNI 10006 (tabella I) che comprende il gruppo A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>2</sub>. Costituiscono quest'ultimo gruppo le terre dei precedenti gruppi (A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>), contenenti peraltro quantitativi maggiori (ma non maggiori del 35%) di limo e argilla, appartenenti ai gruppi A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>7</sub> e che quindi possono conferire un grado di plasticità anche molto elevato. Il gruppo A<sub>2</sub> contiene i sottogruppi A<sub>2.4</sub>, A<sub>2.5</sub>, A<sub>2.6</sub>, A<sub>2.7</sub>. Il sottogruppo A<sub>2.4</sub> A<sub>2.5</sub> comprende le terre il cui materiale fino è costituito in prevalenza da limo appartenente rispettivamente ai gruppi A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>. In generale le caratteristiche delle terre **ghiaio – sabbiose** risultano codificate in letteratura secondo lo schema riportato in tabella I.



**La carta geologica sintetizza le formazioni prima descritte e correda lo studio in parola (Tavola 3B).**

## Condizioni sismiche

L'elenco dei comuni e la relativa classificazione sismica sono indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03, aggiornato con le comunicazioni delle regioni alla protezione civile, prevede la classificazione del territorio come sotto riportato :

**Zona 1** - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 725 comuni.

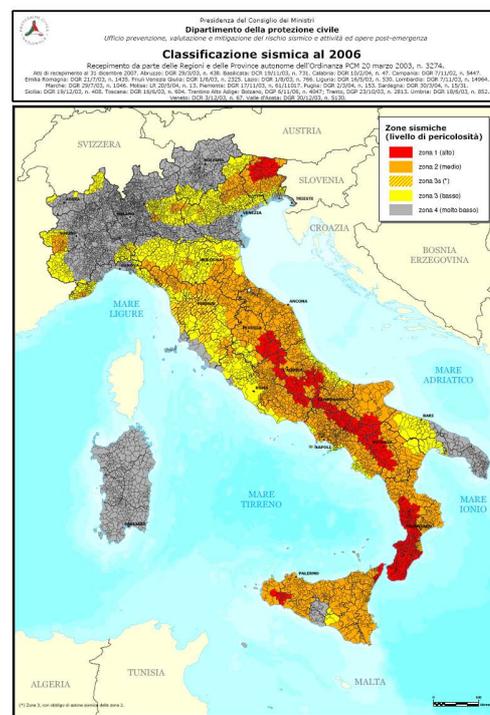
**Zona 2** - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti. Comprende 2.344 comuni

**Zona 3** - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti. Comprende 1.544 comuni.

**Zona 4** - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse. Comprende 3.488 comuni.

La classificazione sismica indicata nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03 riporta per i comuni interessati la seguente indicazione:

**Figura 2 – Classificazioni e sismica del territorio**



numero	Regione	Provincia	Cod_Istat	Denominazione	Zona sismica 2006
988	Sardegna	Sassari	20090019	Bulzi	4
5076	Sardegna	Sassari	20090056	Perfugas	4
6762	Sardegna	Sassari	20090065	Sedini	4
7627	Sardegna	Sassari	20090079	Valledoria	4

Al fine di pervenire alla definizione delle condizioni sismiche dell'area in esame sono stati consultati i risultati del "Progetto del Consiglio Nazionale delle Ricerche- Gruppo Nazionale per la difesa del territorio" dai quali gli autori hanno definito due indicatori di pericolosità:

### ***l'accelerazione orizzontale di picco***

### ***l'intensità macrosismica***

L'accelerazione orizzontale di picco di figura 3 illustra l'aspetto più propriamente fisico: si tratta di una grandezza di interesse ingegneristico che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica.

L'intensità macrosismica di figura 4 rappresenta, invece, in un certo senso le conseguenze socio-economiche; descrivendo infatti il grado di danneggiamento causato dai terremoti, una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico. Nelle figure seguenti sono riportati questi due parametri per l'intera penisola italiana.

Nel dettaglio dalla figura 3 si evince che la Sardegna risulta caratterizzata da valori di scuotimento atteso molto bassi (inferiori a 0,08 g). a dinamica della carta d'intensità macrosismica di figura 4 individua la Sardegna e la zona in studio come un'area a bassa pericolosità sismica con valori corrispondenti al III-IV grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).



Dal 01/07/2009 è entrato in vigore la nuova normativa antisismica di cui al D.M. 14/01/2008 che pone il territorio regionale Sardo in zona sismica 4. Per quanto attiene al progetto strutturale-esecutivo delle opere si potrà fare riferimento a quanto previsto dal D.M.14.01.2008 e in particolare dal punto 2.7 VERIFICHE ALLE TENSIONI AMMISSIBILI.

Lo stesso prevede che relativamente ai metodi di calcolo, è d'obbligo il Metodo agli stati limite di cui al § 2.6. Per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili. Per tali verifiche si deve fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL. PP. 14.02.92, per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL. PP. 20.11.87, per le strutture in muratura e al D.M. LL. PP. 11.03.88 per le opere e i sistemi geotecnici. Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle presenti norme tecniche. Per quanto attiene alla valutazione delle azioni sismiche si prevede che le stesse debbono essere valutate assumendo pari a 5 il grado di sismicità S, quale definito al § B. 4 del D.M. LL. PP. 16.01.1996, ed assumendo le modalità costruttive e di calcolo di cui al D.M. LL. PP. citato, nonché alla Circ. LL. PP. 10.04.97, n. 65/AA.GG. e relativi allegati.

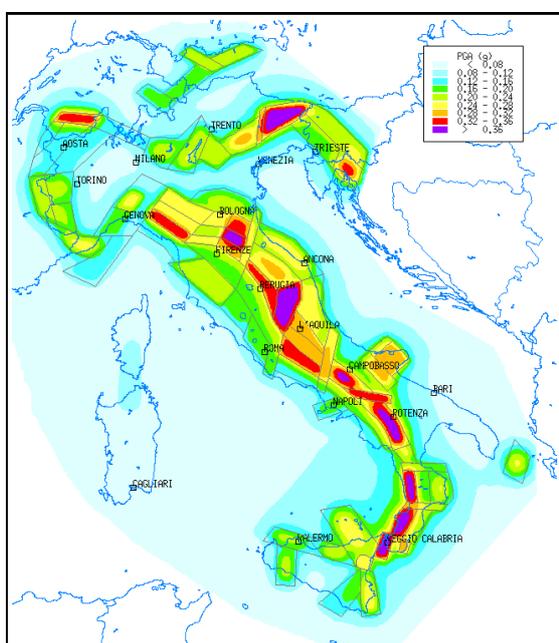


Figura 3 – Valori di accelerazione

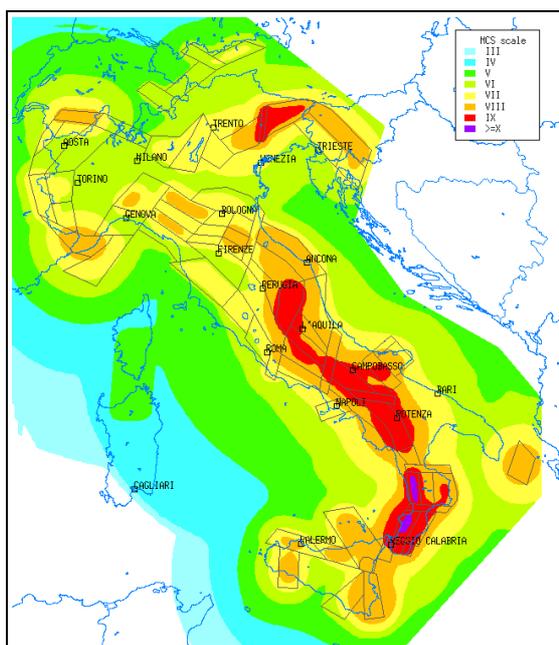


Figura 4 – Classificazione su scala MCS sismica del territorio



## Caratteri stratigrafici e morfologici

Il profilo geologico (si veda allegato 2) evidenziano i rapporti stratigrafici delle varie formazioni. La stratigrafia del settore può essere, come riportato nell'allegata carta geologica, riassunta secondo il seguente schema:

### Legenda



b2 - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE



a - Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE



a1 - Depositi di frana. Corpi di frana. OLOCENE



b - Depositi alluvionali. OLOCENE



Res b - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossilliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Ambiente



Res a - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossilliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostréidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.). Ambiente Litorale. BURDIGALIANO SUP.



LRM - FORMAZIONE DEL RIO MINORE. Depositi epiclastici con intercalazioni di selci, siltiti e marne con resti di piante, conglomerati, e calcari silicizzati di ambiente lacustre (Formazione lacustre



ELS = FORMAZIONE DI CASTELSARDO. Arenarie e sabbie, argille siltose, tuffiti, conglomerati, tufi talora alterati, con intercalazioni di marne più o meno siltose, fossillifere per abbondanti malacofaune. Calcari grigio bruni in banchi, con ricca fauna a gasteropodi millimetrici, selci, argilliti, marne arenaceo-siltose giallastre e verdastre, tuffiti a ricca componente pomicea. Conglomerati e breccie a ciottoli eterometrici di granitoidi, subordinate metamorfite e vulcaniti, scarsamente classati, con matrice siltoso-sabbiosa. Ambiente fluviale passante a lagunare e a marino di piattaforma. - OLIGOCENE SUP.? -AQUITANIANO



HRM - UNITÀ DI CHIARAMONTI. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbratica a chimismo riodacitico, debolmente saldati, talora argillificati e/o silicizzati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz. BURDIGALIANO



NTA - UNITÀ DI NURAGHE GIUNTAS. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, vitroclastici o saldati con tessitura eutaxitica. Localmente alla base è presente un paleosuolo. BURDIGALIANO



LGU - UNITÀ DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutaxitica. BURDIGALIANO



LBG - UNITÀ DI LU BAGNU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, saldati, a struttura vitroclastica, con scarsi cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Am, Bt, fiamme minute talora palagonitiche. AQUITANIANO SUP.



Le indagini eseguite secondo quanto riportato nell'allegato 3 evidenziano i seguenti affioramenti:

sezione di progetto esecutivo – formazione geologica	sezione di progetto esecutivo – formazione geologica
000 – 30 – formazione ELS	158 – 160 – formazione HRM
30 – P.152 – formazione a	160 – 166 – formazione LRM
P.152 – P.156 – formazione a1	166 – 168 – formazione NTA
P.156 – P.177 – formazione a	168 – 170 – formazione LGU
P.177 – P.193 – contatto formazione ELS/LGU	170 – 171 – formazione b
P.193 – P.265 – formazione b2	171 – 175 – formazione LGU
P.265 – 123 – formazione Res a	175 – 187 – formazione LRM
123 – 125 – formazione Res b	187 – 188 – formazione HRM
125 – 135 – formazione a	188 – 194 – formazione Res b
135 – 158 – formazione Res a	1 – 27 – formazione Res a (Dir. Lu Padru)

La carta geomorfologia evidenzia per i settori classificati a pericolosità elevata e molto elevata, la presenza di forme geomorfologiche connesse all'evoluzione dei versanti. Nel settore si evidenziano le seguenti forme evolutive e il relativo cinematismo.

<b>Forme evolutive</b>	<b>Cinematismo</b>
 Ruscellamento concentrato	Evoluzione delle rete idrografica con formazione di compluvi e canali preferenziali di scorrimento di acque di ruscellamento
 Cornice rocciosa	Evoluzione e della scarpata rocciosa per fessurazione verticale e formazione di cunei rocciosi in scivolamento
 Linee di displuvio - limite di bacino idrografico	Limite di ruscellamento delle acque di precipitazione
 Valle a fondo piatto	Forma in evoluzione con la dinamica dei versanti
 Valle a v	Forma in evoluzione con la dinamica dei versanti

Come appare evidente l'esecuzione del progetto risulta compatibile con evoluzione geomorfologica del settore di Bulzi, Sedini.



## Pedologia

La formazione di suoli è chiaramente connessa ai fenomeni di pedogenesi del substrato geologico del territorio in relazione ai diversi aspetti morfologici, botanici, climatici, e di uso del suolo passato e futuro. I complessi fenomeni della formazione dei suoli pertanto coinvolgono il sistema ambiente in maniera complessiva attraverso reazioni chimiche complesse.

### Unità cartografica litologica

Rocce effusive acide (crioliti, riodaciti, ignimbriti)  
 cenozoico e relativi depositi di versante  
 Marne, arenarie, calcari marnosi, del Miocene e  
 relativi depositi di colluviali  
 Alluvioni Terrazzate  
 Alluvioni Recenti  
 Depositi alluvionali in evoluzione dei corsi d'acqua

### Suoli prevalenti in consociazione e/o in associazione

Rock outcrop, Lithic Xerorthents  
 Lithic Xerorthents, Rock outcrop, Typic, Vertic e Calcixerollic  
 Xerochreps; Typic, Xerorthents  
 Typic Calcic Haploxeralfs, Petrocalcic Palexeralfs  
 Typic pelloxererts, Typic Chromoxererts  
 Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents

## Caratteri strutturali

I caratteri strutturali sono stati rilevati in situ mediante rilievo geostrutturale. Sono state quindi rilevate le giaciture degli ammassi, la fratturazione (RDQ), l'immersione, l'inclinazione e l'indice del martello di Schmidt.

Le misure in campagna consentono di classificare gli ammassi secondo la classificazione di Bieniawski (1976, 1979, 1989) tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

I parametri sono:

<b>A1</b>	<b>&lt;Co&gt; (RESISTENZA A COMPRESSIONE MONDASSIALE);</b>
<b>A2</b>	<b>&lt;RQD%&gt; (ROCK QUALITY DESIGNATION);</b>
<b>A3</b>	<b>&lt;s&gt; (SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ);</b>
<b>A4</b>	<b>CONDIZIONI DEI GIUNTI</b>
<b>A5</b>	<b>CONDIZIONI IDRAULICHE DEI GIUNTI</b>
<b>IC</b>	<b>INDICE DI CORREZIONE</b>

Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale a seconda del valore (per <RQD%>, <Co> e <s>) o della condizione.

Esistono diverse versioni di questa classificazione. Le più usate sono quelle del 1976, del 1979 e del 1989.

Nella successiva classificazione di Bieniawski del 1976 la somma dei 5 indici parziali fornisce il Basic RMR (BRMR). Il Basic RMR in condizioni di giunti asciutti (A5=10) corrisponde numericamente al parametro G.S.I. (Geological Strength Index), grandezza collegata ai fattori **m**, **a** ed **s** dell'ammasso roccioso integro (vedi capitolo). Cioè si ha:  $GSI = BRMR_{76}$  (solo per  $BRMR > 18$ ).

### Classificazione di Barton (1979).



La classificazione di Barton, tiene conto della suddivisione della massa rocciosa, ed è basata sull'analisi di 200 casi reali. Il dettaglio con cui sono state stilate le tabelle per la definizione numerica dei parametri limita estremamente la soggettività delle scelte. L'indice Q viene calcolato attraverso la relazione:  $Q = \frac{RQDJ_r J_w}{J_n J_a SRF}$ .

La classificazione degli ammassi viene effettuata secondo le classificazioni di Bieniawski (1976, 1979, 1989) e la classificazione di Barton (1979). I dati sono di seguito riportati unitamente alle coordinate degli ammassi classificati.

<b>Classificazione C.S.I.R – Rock Mass Rating 1976 (Bieniawski)</b>						
Classe	BRMR	RMR	Qualità dell'ammasso	Coesione (kPa)	Angolo d'attrito (°)	Ammasso
IV	64	39	SCADENTE	100-200	35-40	1486774;4520743
III	82	57	DISCRETA	200-300	40-45	1485884;4521379
IV	70	45	SCADENTE	200-300	40-45	1484051;4522677
V	45	20	MOLTO SCADENTE	200-300	30-35	1484775;4522538
IV	58	33	MEDIOCRE	200-300	35-40	1482460;4525157
IV	72	47	SCADENTE	200-300	40-45	1483227;4525000
IV	52	27	SCADENTE	200-300	35-40	1484992;4528020
<b>Classificazione C.S.I.R – Rock Mass Rating 1979 (Bieniawski)</b>						
III	72	47	DISCRETA	300-400	35-45	1486774;4520743
III	82	57	DISCRETA	>400	>45	1485884;4521379
III	77	52	DISCRETA	300-400	35-45	1484051;4522677
V	38	13	MOLTO SCADENTE	100-200	15-25	1484775;4522538
IV	47	22	SCADENTE	200-300	25-35	1482460;4525157
III	72	47	DISCRETA	300-400	35-45	1483227;4525000
IV	47	22	SCADENTE	200-300	25-35	1484992;4528020
<b>Classificazione C.S.I.R – Rock Mass Rating 1989 (Bieniawski)</b>						
IV	62	37	SCADENTE	310	36	1486774;4520743
III	67	42	DISCRETA	335	38	1485884;4521379
III	74	49	DISCRETA	370	42	1484051;4522677
IV	49	24	SCADENTE	245	29	1484775;4522538
IV	62	37	SCADENTE	310	36	1482460;4525157
III	68	43	DISCRETA	340	39	1483227;4525000
IV	60	35	SCADENTE	300	35	1484992;4528020
<b>Classificazione N.C.I. – Q System 1979 (Barton)</b>						
Q	BRMR	RMR	Qualità dell'ammasso	Coesione (MPa)	Angolo d'attrito (°)	Ammasso
10.08	74	65	BUONA	0.37	42	1486774;4520743
85.33	99	84	MOLTO BUONA	0.49	54	1485884;4521379
3.17	63	54	SCADENTE	0.32	36	1484051;4522677
9.6	73	64	MEDIOCRE	0.36	41	1484775;4522538
8.17	69	63	MEDIOCRE	0.34	39	1482460;4525157
0.53	53	38	MOLTO SCADENTE	0.29	34	1483227;4525000
16.17	75	69	BUONA	0.38	42	1484992;4528020

## Test di Markland

La classificazione di Bieniawski può essere applicata anche per la caratterizzazione geomeccanica di versanti, se si stabilisce un coefficiente di compensazione appropriato.



L'utilizzo del Test di Markland (1972) (si veda R. Pozzi e A. Clerici, 1985) serve per individuare **quantitativamente le discontinuità** che rappresentano piani di scivolamento in un pendio in roccia.

Il procedimento fornisce un'indicazione qualitativa della stabilità del cuneo in funzione del suo orientamento nello spazio e della stima della resistenza al taglio mobilabile lungo i piani di possibile scorrimento. Quest'ultima grandezza viene quantificata attraverso il parametro angolo d'attrito medio delle discontinuità meccaniche.

Il test prevede quattro configurazioni possibili.

1. **Cuneo potenzialmente instabile.**
2. **Cuneo stabile**
3. **Cuneo con stabilità incerta.**
4. **Cuneo potenzialmente instabile per ribaltamento.**

La prima situazione si verifica per un cuneo roccioso a franapoggio meno inclinato del pendio, in cui l'angolo d'attrito medio mobilabile lungo le superfici potenziali di scorrimento sia inferiore all'inclinazione della linea d'intersezione dei piani di scorrimento.

La situazione **"Cuneo stabile"** si verifica per un cuneo roccioso a franapoggio meno inclinato del pendio, in cui l'angolo d'attrito medio mobilabile lungo le superfici potenziali di scorrimento sia superiore all'inclinazione della linea d'intersezione dei piani di scorrimento. Avviene ovviamente anche per cunei a reggipoggio.

La terza situazione accade per un cuneo roccioso a franapoggio meno inclinato del pendio, in cui l'angolo d'attrito medio mobilabile lungo le superfici potenziali di scorrimento sia circa uguale all'inclinazione della linea d'intersezione dei piani di scorrimento; In questo caso va tenuto presente che generalmente l'errore insito nella grandezza angolo di resistenza al taglio è di circa 2°, se non addirittura maggiore. Il test di Markland non permette in queste condizioni di ottenere un responso preciso sulla stabilità del cuneo, per ottenere il quale occorrerà l'impiego di metodi più precisi.

Condizione	Indice
molto favorevole	0
favorevole	-5
discreta	-25
sfavorevole	-50
molto sfavorevole	-60

**Tabella II** – Condizione dei giunti di un versante

L'ultima situazione si verifica quando il pendio ed una delle discontinuità sono subverticali con immersione circa uguale. In questo caso il valore dell'angolo di resistenza al taglio non influisce sulla stabilità, in quanto si può supporre che le due facce della superficie di ribaltamento non siano in contatto e quindi non sviluppino un'apprezzabile resistenza al taglio.

Una volta identificate le possibili direzioni di movimento è possibile definire le condizioni da 'molto favorevole' a 'molto sfavorevole' ed entrare nella tabella proposta da Z. T. Bieniawski (tabella II).

La condizione 'molto favorevole' è identificabile con l'assenza di direzioni critiche. Le condizioni 'mediocre' e 'sfavorevole' e 'molto sfavorevole' sono identificabili con la presenza di una, due e tre direzioni critiche, rispettivamente.

La condizione 'favorevole' si ha quando non ci sono direzioni critiche, ma basta la variazione di pochi gradi nel valore attribuito all'angolo d'attrito di base perché si verifichi la possibilità d'instabilità dei cunei rocciosi.

L'indice RMR ottenuto dalla classificazione di Bieniawski, può essere inoltre correlato con l'indice Q (Classificazione di Barton) e con RSR (Classificazione di Wickham).

## **Verifiche speditive della stabilità dei fronti di scavo in roccia**

La stabilità dei fronti di scavo risulta essere di grande interesse per la definizione delle opere e per la mitigazione del rischio associato alle pericolosità dell'area. Lo studio geostrutturale evidenzia attraverso la proiezione equiangolare di Wulff che i settori sono assoggettati ad un sistema di fratture riconducibili a lineeazioni sistematiche, e dunque a fratturazioni che si evidenziano con incidenza statistica predefinita. Pertanto l'analisi successiva, svolta attraverso la proiezione equiangolare di



ABBANOVA S.p.A. – SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO – **Relazione geologica**

Wulff e l'utilizzo del Test di Markland (1972), attraverso l'individuazione **quantitativa delle discontinuità** che rappresentano piani di scivolamento in un pendio in roccia, e su un numero elevato di misure.

La rappresentazione dei cunei e della loro potenziale instabilità è rappresentata dai seguenti diagrammi per 7 ammassi del tracciato nella configurazione senza andamento del pendio (**sp**) e con andamento del pendio (**p**).

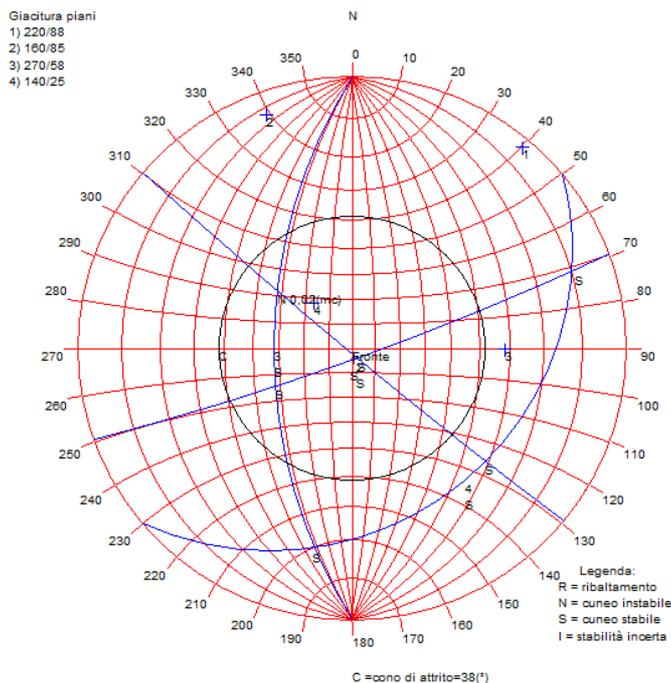
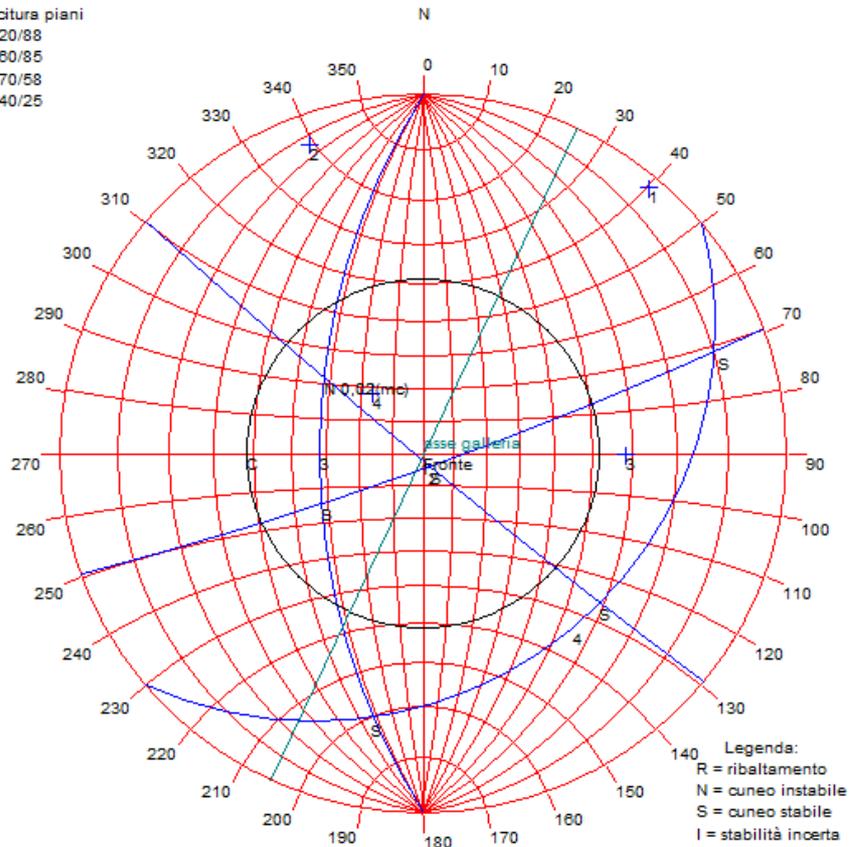


Diagramma di Wulff – ammasso I (sp)



ABBANOVA S.p.A. – SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO – **Relazione geologica**

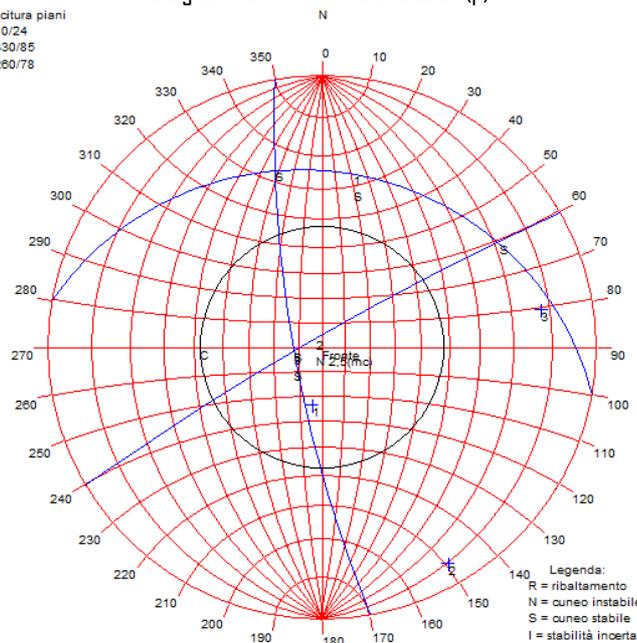
Giacitura piani  
 1) 220/88  
 2) 160/85  
 3) 270/58  
 4) 140/25



C = cono di attrito = 38(°)

Diagramma di Wulff – ammasso 1 (p)

Giacitura piani  
 1) 10/24  
 2) 330/85  
 3) 260/78



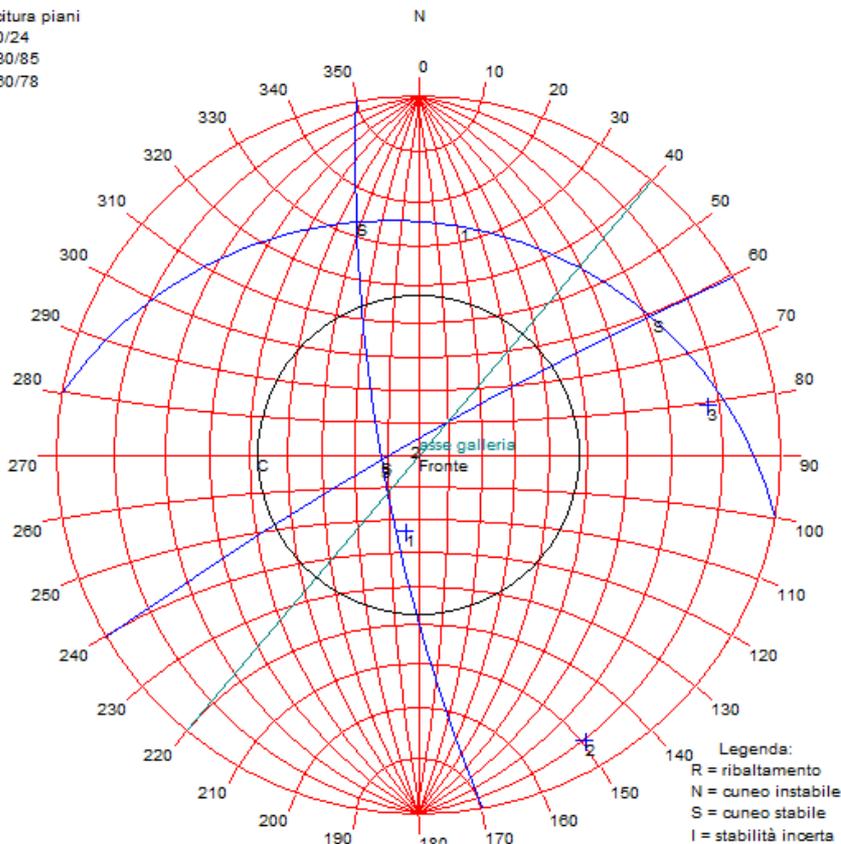
C = cono di attrito = 42(°)

Diagramma di Wulff – ammasso 3 (sp)



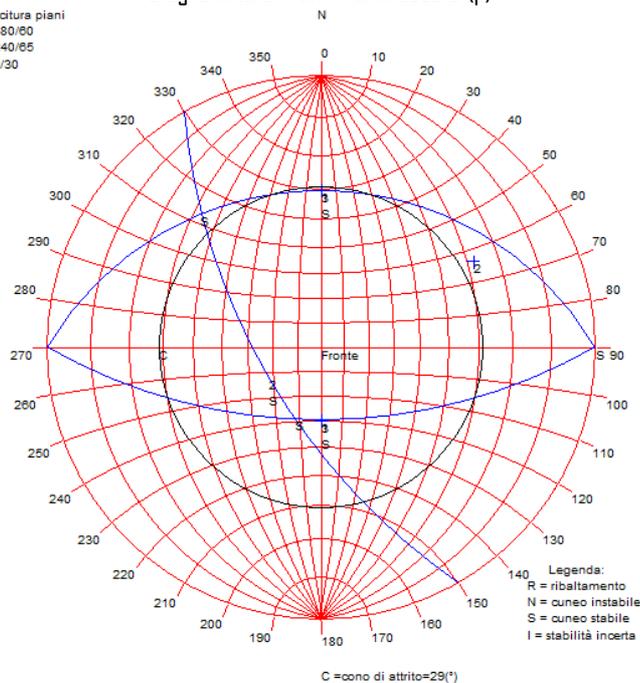
ABBANOVA S.p.A. – SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO – **Relazione geologica**

Giacitura piani  
 1) 10/24  
 2) 330/85  
 3) 280/78



**Diagramma di Wulff - ammasso 3 (p)**

Giacitura piani  
 1) 180/80  
 2) 240/85  
 3) 0/30

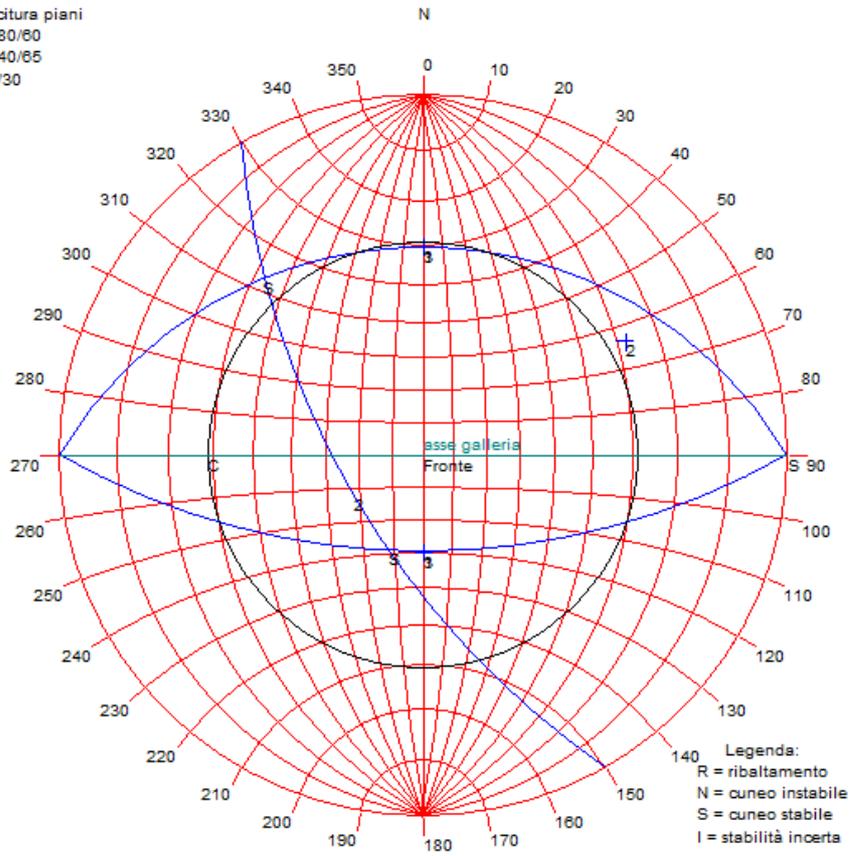


**Diagramma di Wulff - ammasso 4 (sp)**



ABBANOVA S.p.A. - SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO - **Relazione geologica**

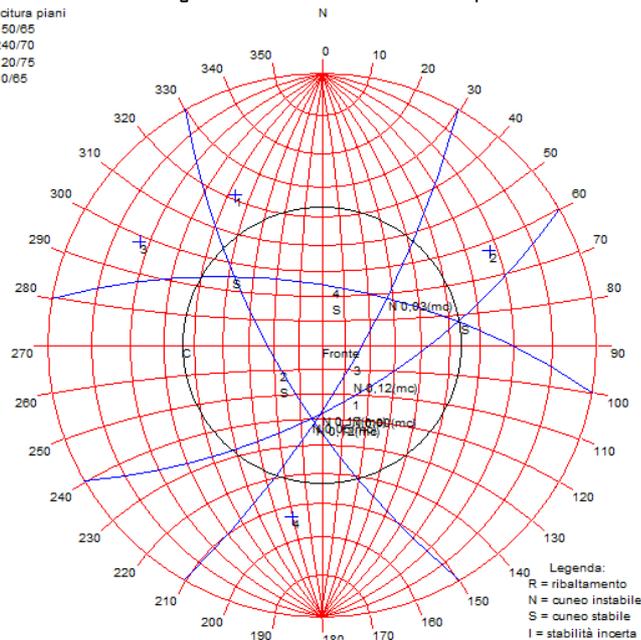
Giacitura piani  
 1) 180/60  
 2) 240/65  
 3) 0/30



C = cono di attrito = 29(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 4 (p)

Giacitura piani  
 1) 150/65  
 2) 240/70  
 3) 120/75  
 4) 10/65



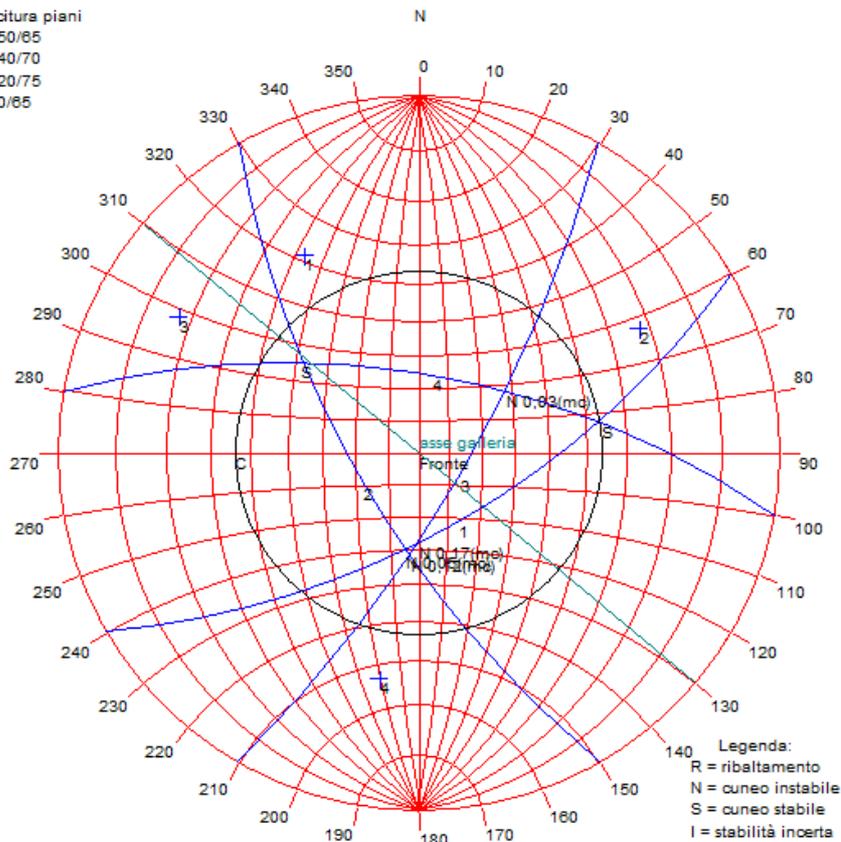
C = cono di attrito = 36(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 5 (sp)



ABBANOVA S.p.A. - SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO - **Relazione geologica**

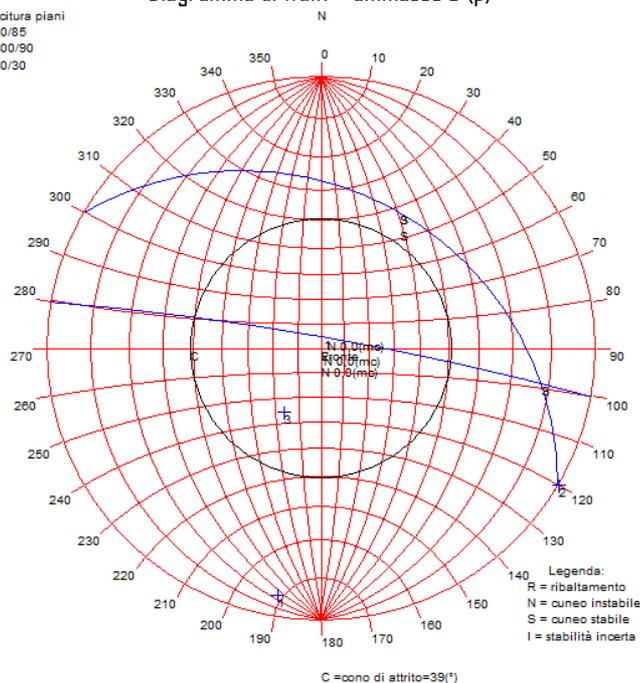
Giacitura piani  
 1) 150/65  
 2) 240/70  
 3) 120/75  
 4) 10/65



C = cono di attrito=36(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 5 (p)

Giacitura piani  
 1) 10/85  
 2) 300/90  
 3) 30/30



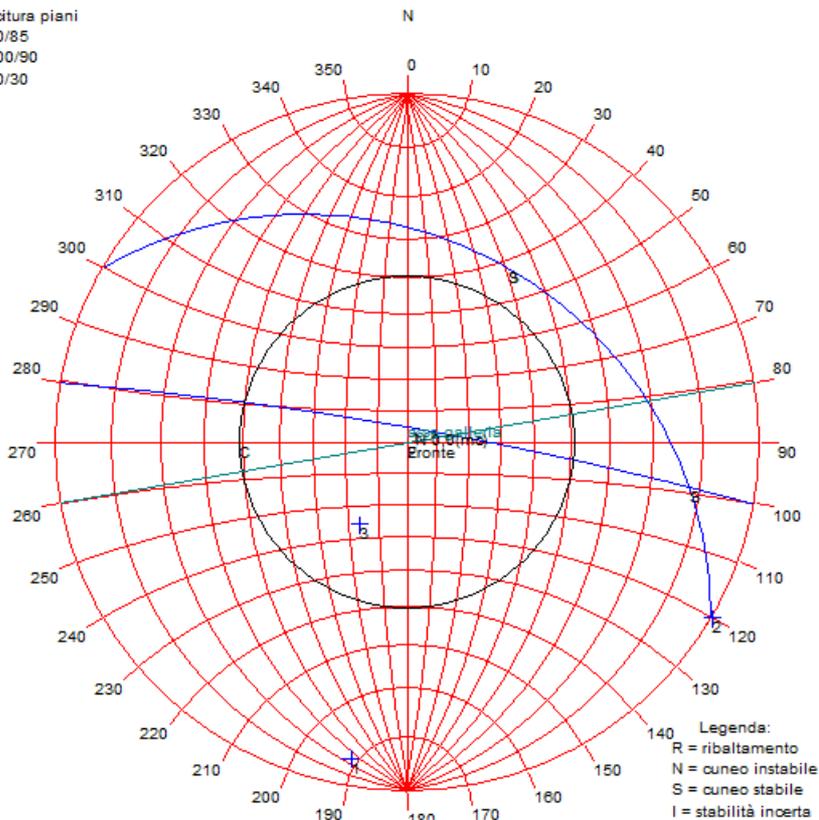
C = cono di attrito=39(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 6 (sp)



ABBANOVA S.p.A. - SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO - **Relazione geologica**

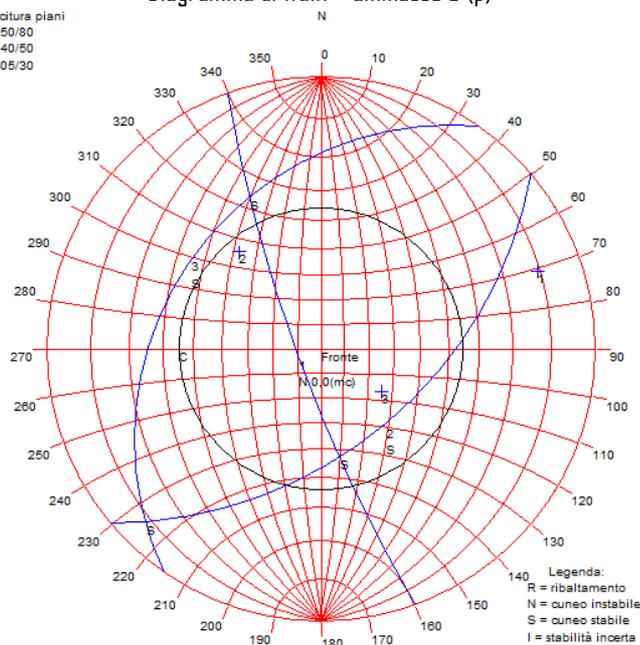
Giacitura piani  
 1) 10/85  
 2) 300/90  
 3) 30/30



C =cono di attrito=39(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 6 (p)

Giacitura piani  
 1) 250/80  
 2) 140/50  
 3) 305/30

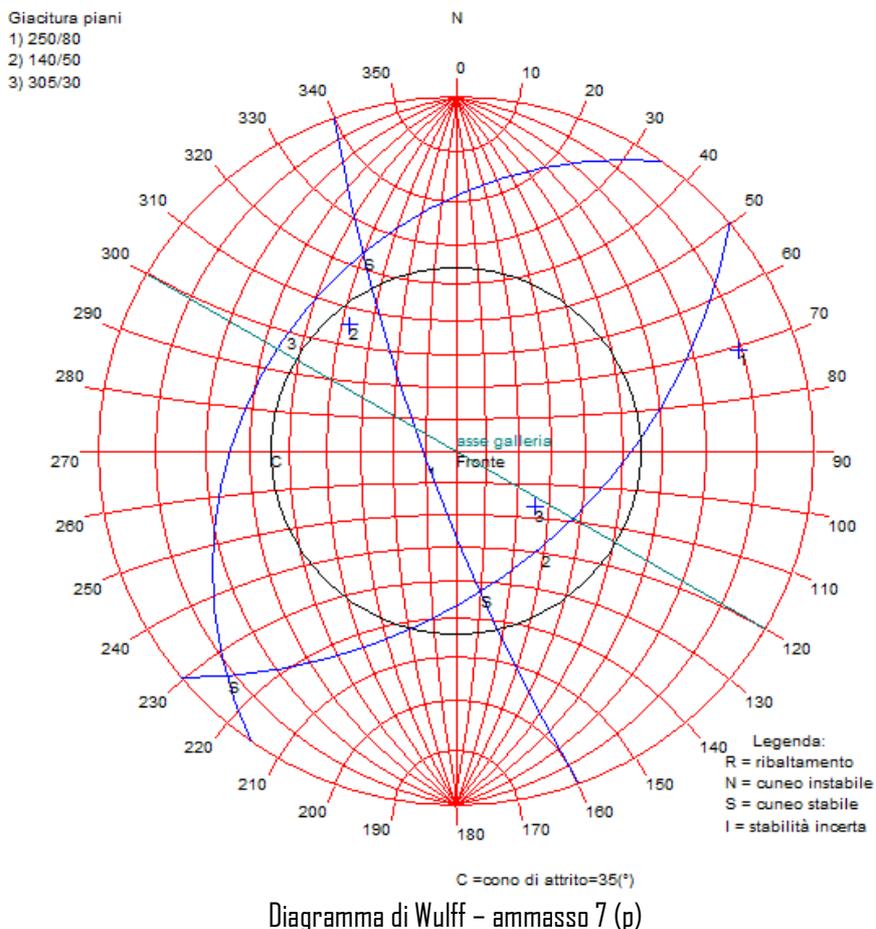


C =cono di attrito=35(°)

Diagramma di Wulff - ammasso 7 (sp)



ABBANOVA S.p.A. – SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
 Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO – **Relazione geologica**



## Pericolosità geologica del territorio.

Correlazione versioni antecedenti	PROGETTO ESECUTIVO 2017			Correlazione versioni antecedenti	PROGETTO ESECUTIVO 2017		
	<b>COMUNE SEDINI</b>				<b>COMUNE BULZI</b>		
		TRATTO	Hg			TRATTO	Hg
P59 a P60	sezioni da 31 a 33	A-B	Hg2	P366	sezioni da 123 a 128	N-O	Hg3
P71 a P101	sezioni da 38-42; da P88-P101	C-D	Hg2		sezioni da 128 a 129	O-P	Hg2
P101 a P122	sezioni da P101-P122	D-E	Hg3		sezioni da 130 a 131	Q-R	Hg2
P122 a P126	sezioni da P122-P126	E-F	Hg4	P446	sezioni da 131 a 154	R-R1	Hg3
P126-P155	sezioni da P126-P155	F-G	Hg3	P447 a P 468	sezioni da 154 a 160	R1-S	Hg2
P339	sezioni da P339-116	H-I	Hg3	P474 a P484	sezioni da 161 a 167	T-U	Hg2
P352	sezioni da 117-118	L-M	Hg3	P518 a P 530	sezioni da 175 a 182	V-V1	Hg3
P365	sezioni da 121-123	N-O	Hg3	<b>COMUNE LAERRU</b>			
				P554 a P561	sezioni da 190 a 194	Z-Z1	Hg2

## Indagine Geologica

L'indagine in situ è stata effettuata tenendo in debito conto quanto riportato nella Circolare n. 617 che a titolo indicativo, nella Tabella C6.2.I elenca i mezzi di indagine e le prove geotecniche in sito di più frequente uso.

**Tabella III – rif Tabella C6.2.I - Mezzi di indagine e prove geotecniche in sito**

	Terreni a grana fine	Prove penetrometriche Prove scissometriche Prove dilatometriche Prove pressiometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
--	----------------------	--



Proprietà fisiche e meccaniche	Terreni a grana grossa	Prove penetrometriche Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
	Rocce	Prove speciali in sito (prove di taglio) Prove di carico su piastra Prove di laboratorio
Misure di pressione interstiziale	Terreni di qualsiasi tipo	Piezometri
Permeabilità	Terreni a grana fine	Misure piezometriche Prove di laboratorio
	Terreni a grana grossa	Prove idrauliche in fori di sondaggio Prove di emungimento da pozzi
Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	Prove di carico su pali singoli Prove di carico su gruppi di pali
	Impermeabilizzazioni	Prove di permeabilità in sito e misura di altezza piezometrica prima e dopo l'intervento
	Consolidamenti	Determinazione delle proprietà meccaniche in sito prima e dopo l'intervento
Indagini di tipo geofisico	Prove di laboratorio In foro con strumentazione in profondità	Cross hole Down hole Con "suspension logger"
	Senza esecuzioni di fori, con strumentazione in profondità	Penetrometro sismico Dilatometro sismico
	Con strumentazione in superficie	Prove SASW Prove di rifrazione sismica Prove di riflessione sismica

*Il tipo e la tecnica esecutiva delle perforazioni di sondaggio devono essere scelti in funzione della natura dei terreni e delle operazioni da compiere nel corso del sondaggio (prelievo di campioni indisturbati, installazione di strumenti di misura, esecuzione di prove, ecc.).*

A corredo dello studio di compatibilità geologica e geotecnica saranno effettuate le indagini da eseguire in conformità alle direttive riportate alla sezione B del DM 11.3.1988 e hanno lo scopo di accertare la costituzione del sottosuolo e la presenza di acque sotterranee a pelo libero ed in pressione e di misurare e consentire la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

La profondità da raggiungere con le indagini va computata dalla quota più bassa dell'opera di fondazione. Essa va stabilita e giustificata caso per caso in base alla forma, alle dimensioni, alle caratteristiche strutturali del manufatto, al valore dei carichi da trasmettere in fondazione, alle caratteristiche degli stessi terreni di fondazione ed alla morfologia di un'area di adeguata estensione intorno all'opera, nonché alla profondità ed al regime della falda idrica.

Indagini di carattere speciale devono essere eseguite nelle aree dove per motivate ragioni geologiche o relative al precedente uso del territorio possono essere presenti cavità sotterranee, possono manifestarsi fenomeni di subsidenza, o interferenze con la circolazione idrica superficiale e sotterranea ed altri fenomeni che condizionino il comportamento statico dei manufatti.

Nel caso di modesti manufatti che ricadono in zone già note, le indagini in sito ed in laboratorio sui terreni di fondazione possono essere ridotte od omesse, sempreché sia possibile procedere alla caratterizzazione dei terreni sulla base di dati e di notizie raccolti mediante indagini precedenti, eseguite su terreni simili ed in aree adiacenti. In tal caso, dovranno essere specificate le fonti dalle quali si è pervenuti alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo e riprodotti in allegato i certificati di prova in laboratorio e/o in situ.

Nel caso di fabbricati di civile abitazione la profondità da raggiungere con le indagini può essere dell'ordine di  $b$  o  $2b$  ove  $b$  è la lunghezza del lato minore del rettangolo che meglio approssima la forma in pianta del manufatto. Nel caso di fondazioni su pali, la profondità, computata dall'estremità inferiore dei pali, può essere dell'ordine di  $0,5b$  o  $1b$ . Delle indagini in sito si ricordano in particolare prove penetrometriche, statiche e dinamiche, e quelle scissometriche e potranno essere svolte secondo lo schema della tabella II.

Finalità	Principali mezzi di indagine
----------	------------------------------



Profili geologico e geotecnico		<ul style="list-style-type: none"> <li>- sondaggi</li> <li>- pozzi</li> <li>- trincee</li> <li>- cunicoli</li> <li>- prospezioni geofisiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati</li> </ul>
Proprietà fisico meccaniche	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di laboratorio su campioni</li> <li>- prove penetrometriche</li> <li>- prove scissometriche</li> <li>- prove di carico su piastra</li> <li>- prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)</li> </ul>	
	Terreni a grana grossa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove penetrometriche</li> <li>- prove di carico su piastra</li> </ul>	
	Rocce	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di laboratorio su campioni</li> <li>- prove di carico su piastra</li> <li>- prove speciali in sito (prove di taglio prove pressiometriche, ecc.)</li> </ul>	
Rilievi sulle falde idriche	Terreni di qualsiasi tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piezometri</li> <li>- sondaggi</li> <li>- pozzi</li> <li>- trincee</li> <li>- cunicoli</li> <li>- prospezioni geofisiche</li> </ul>	
Permeabilità	Terreni a grana grossa o rocce porose molto fratturate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove idrauliche in fori di sondaggio</li> <li>- prove di emungimento da pozzi</li> </ul>	
	Terreni a grana fine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di laboratorio su campioni indisturbati</li> <li>- prove piezometriche</li> </ul>	
Verifica di procedimenti tecnologici	Palificate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di carico su pali singoli o gruppi di pali</li> </ul>	
	Impermeabilizzazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di impermeabilità in sito e misura di quote piezometriche prima e dopo l'intervento</li> </ul>	
	Consolidamenti (terreni o rocce)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prove di laboratorio</li> <li>- determinazione delle proprietà meccaniche in sito eventualmente con l'ausilio di indagini geofisiche prima e dopo l'intervento</li> </ul>	
<b>Tabella IV – Principali tipologie d'indagine dei terreni</b>			

A seconda del tipo di terreno, queste prove possono efficacemente integrare le indagini di laboratorio per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni.



Le indagini geotecniche di laboratorio, da effettuare presso laboratori qualificati nel settore della meccanica delle terre e delle rocce, saranno commisurate al tipo ed alle caratteristiche dell'opera e saranno programmate sulla base della natura dei terreni. Esse consentono di determinare le caratteristiche fisiche generali e le proprietà indici al fine di classificare i terreni, ed inoltre i parametri di resistenza necessari per la verifica a rottura del complesso fondazione-terreno. Nel caso di terreni a grana fine, specifiche prove di laboratorio possono fornire i parametri che definiscono la comprimibilità e, ove necessario, le caratteristiche di consolidazione per valutare i cedimenti e il loro decorso nel tempo.

Nella programmazione delle prove di laboratorio si terrà conto che la resistenza e la deformabilità dei terreni dipendono dal valore delle tensioni nel sottosuolo (dovute al peso proprio del terreno ed ai sovraccarichi trasmessi dalla fondazione) e dalle modalità di applicazione nel tempo dei sovraccarichi stessi.

La relazione geotecnica sulle indagini deve comprendere ed illustrare la localizzazione della area interessata, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche della costruenda opera, ed il programma di eventuali ulteriori indagini, che si raccomandano per la successiva fase esecutiva. Le relazioni devono essere corredate degli elaborati grafici e della documentazione delle indagini in sito ed in laboratorio necessari per la chiara comprensione dei risultati.

La caratterizzazione geotecnica e la ricostruzione geologica devono essere reciprocamente coerenti. A tale riguardo la relazione geotecnica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

Le indagini a corredo del progetto in oggetto sono riportate nell' **Allegato 3 – TAVOLA 3E - PROVE IN SITO E IN LABORATORIO.**

L'interazione tra ubicazione prove e litologia è riassunta nello schema seguente:

N°	DENOMINAZIONE PUNTO INDAGINE	X_COORD	Y_COORD	PROVA ESEGUITA	LITOLOGIA
1	MONTE ULTANA	1487192,85	4519695,94	DPM	Resb
2	PRIMO SCARICO PER BULZI	1486959,14	4519982,11	DPM	LRM
3	EST DI MONTE ZICCHI	1486332,31	4521009,18	DPM	LRM
4	PARTITORE PER BULZI	1485923,82	4521272,86	PROVA DI TAGLIO	HRM
5	DON ZUANNE	1485348,85	4522481,95	DPM	a
6	SS 134 INCROCIO PER PEDRU ELDI	1484142,50	4522705,99	POINT LOAD	Resb
7	SAN GIACOMO	1484553,10	4522943,24	DPM	Resa
8	INCROCIO SP 141 CON SP 133	1484394,85	4524037,85		
9	INCROCIO SP 133 SARAGHINU	1484602,04	4525017,31	POINT LOAD	LGU
10	PIANU ILADU	1484757,65	4525458,43	POINT LOAD	LGU
11	MONTE FULCADU	1485079,26	4526160,73	DPM	a
12	INCROCIO SP 133 PEDRA MAJORE	1485436,12	4527418,07	DPM	ELS
13	IMPIANTO PEDRA MAJORE	1485027,94	4528026,17	PROVA DI TAGLIO	ELS

## Caratterizzazione geologica ai sensi del DM 14.01.2008 - DM 17.01.2008 -

Il DM 14.01.2008 definisce le categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (§3.2.2). *Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3.*

*In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).*

<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la



	profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ KPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ KPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

**Tabella V** – Definizione delle Categorie di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II del DM 14.1.2008

*Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.*

*La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT,30}$  (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina. Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.*

<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u,30} < 20$ KPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

**Tabella VI** - Categorie aggiuntive di sottosuolo Tabella 3.2.III del DM 14.01.2008

Il DM 17.01.2018 definisce le categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (§3.2.2). Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3.

*In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche del sottosuolo</b>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.
<b>Tabella VII - Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.</b>	

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$
<b>Tabella VIII - Caratteristiche della superficie topografica Tab. 3.2.III – Categorie topografiche</b>	

Le categorie di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II del DM 14.1.2008 e del DM 17.1.2018, che classificano le formazioni interessate dal tracciato sono le seguenti:

sezione di prog. esec. –	form. geologica	Tabella 3.2.II		sezione di prog. esec. –	form. geologica	Tabella 3.2.II	
		DM 17.1.2018	DM 14.1.2008			DM 17.1.2018	DM 14.1.2008
000 – 31 –	formazione ELS	<b>B</b>	<b>B</b>	157 – 160 –	formazione HRM	<b>B</b>	<b>B</b>
31 – P.152 –	formazione a	<b>E</b>	<b>E</b>	160 – 166 –	formazione Res a	<b>B</b>	<b>B</b>
P.152 – P.156 –	formazione a1	<b>E</b>	<b>E</b>	166 – 168 –	formazione NTA	<b>B</b>	<b>B</b>
P.156 – P.177 –	formazione a	<b>E</b>	<b>E</b>	168 – 170 –	formazione LGU	<b>B</b>	<b>B</b>
P.177 – P.192 –	contatto formazione ELS/LGU	<b>B</b>	<b>B</b>	170 – 171 –	formazione b	<b>E</b>	<b>E</b>
P.192 – P.262 –	formazione b2	<b>E</b>	<b>E</b>	171 – 175 –	formazione LGU	<b>B</b>	<b>B</b>
P.262 – 123 –	formazione Res a	<b>B</b>	<b>B</b>	175 – 187 –	formazione Res a	<b>B</b>	<b>B</b>
123 – 125 –	formazione Res b	<b>B</b>	<b>B</b>	187 – 188 –	formazione HRM	<b>B</b>	<b>B</b>
125 – 135 –	formazione a	<b>E</b>	<b>E</b>	188 – 194 –	formazione Res b	<b>B</b>	<b>B</b>
135 – 157 –	formazione Res a	<b>B</b>	<b>B</b>	1-27 (Dir_Lu padru)	formazione Res b	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>Tabella VII - Categorie di sottosuolo secondo la Tabella 3.2.II del DM 14.1.2008 e del DM 17.1.2018</b>							



## Caratteri idrogeologici

La REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA - ASSESSORATO DELLA DIFESA DELL'AMBIENTE - Servizio della Tutela delle Acque Servizio Idrico Integrato ha redatto e pubblicato il PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE (art. 44 D.Lgs. 152/99 e ss.mm.ii. - art. 2 L.R. 14/2000 - Dir. 2000/60/CE) PIANO STRALCIO DI SETTORE DEL PIANO DI BACINO (art. 17, comma 6-ter L. 183/89). Il piano suddivide il territorio regionale in 16 U.I.O.

### Elenco delle Unità Idrografiche Omogenee (U.I.O.)

N	Denominazione U.I.O.	Superficie dell'U.I.O. (km <sup>2</sup> )
1	Flumini Mannu di Cagliari-Cixerri	3566,10
2	Palmas	1299,60
3	Flumini Mannu di Pabillonis-Mogoro	1710,25
4	Tirso	3365,78
5	Mare Foghe (Mannu di Santulussurgiu)	838,12
6	Temo	924,01
7	Barca	555,46
8	Mannu di Porto Torres	1238,69
9	Coghinas	2551,61
10	Liscia	1031,67
11	Padrogiano	1028,95
12	Posada	1040,35
13	Cedrino	1515,02
14	Flumini Durci - Rio Quirra	1065,92
15	Flumendosa	1868,33
16	Picocca	457,08

**Totale 24056.94**

La U.I.O. del fiume Coghinas ha un'estensione di circa 2551 Km<sup>2</sup> ed è delimitata a Sud dalle catene del Marghine e del Goceano, ad Est dai Monti di Alà e dal M.Limbara, ad Ovest dal gruppo montuoso dell'Anglona e a Nord dal Golfo dell'Asinara.

### U.I.O. del Coghinas – elenco bacini

N	Nome Bacino Idrografico	Codice Bacino CEDOC	Area Bacino (Km <sup>2</sup> )
1	Fiume Coghinas	0176	2551,61

**Totale 2551,61**

Il bacino più importante è quello del Coghinas, che prende il nome dal fiume principale, ed è caratterizzato da un'intensa idrografia con sviluppo molto articolato dovuto alle varie tipologie rocciose attraversate. I sottobacini drenanti i versanti occidentali hanno una rete idrografica piuttosto lineare, mantenendosi inizialmente paralleli alla linea di costa per poi richiudersi nel Rio Giabbaduras che corre parallelo alla linea di costa. I corsi d'acqua drenanti le pendici montuose ad est si mantengono paralleli alla linea di costa andando a gettarsi direttamente nel fiume Coghinas. Gli affluenti intestati sulle pendici meridionali sono caratterizzati dapprima da aste fluviali ad andamento lineare ortogonale alla linea di costa per poi ripiegare quasi bruscamente nella piana ad angolo retto.

Il fiume Coghinas trae origine dalla catena del Marghine col nome di Rio Mannu di Ozieri e sfocia nella parte orientale del Golfo dell'Asinara dopo un percorso di circa 115 Km. Nel tratto a monte del lago formato dallo sbarramento di Muzzone, in cui è denominato Rio Mannu di Ozieri, confluiscono:

1. Rio Badde Pedrosu (73 Km<sup>2</sup>)
2. Rio Buttule (192 Km<sup>2</sup>), formato dal Rio Badu Ladu e dal Rio Boletto
3. Rio su Rizzolu (101 Km<sup>2</sup>).

Nel lago stesso confluiscono direttamente i due maggiori affluenti: Rio Mannu di Berchidda e Rio di Oschiri.



Il Rio Mannu di Berchidda, il cui bacino ha un'estensione di 433 kmq e che ha nel Rio Pedrosu il suo maggior affluente, ha origine nel versante meridionale del Massiccio del Limbara. Il Rio di Oschiri, il cui bacino ha un'estensione di 719 kmq, ha origine presso Buddusò.

Dopo lo sbarramento di Muzzone il fiume Coghinas riceve sulla sua sinistra orografica il Rio Giobaduras (280 kmq) formato dai due rami del Rio Anzos e del Rio Altana, e sulla sua destra il Rio Badu Mesina, il Rio Puddina, il Rio Gazzini ed il Rio Badu Crabili.

## **Circolazione idrica sotterranea**

Il Piano di Tutela delle Acque, approvato dalla R.A.S., fornisce una caratterizzazione delle acque sotterranee, partendo dai dati conosciuti, realizzando un programma di indagini integrative volte al completamento delle conoscenze, ed effettuando un'elaborazione ed un'analisi dei dati disponibili.

Partendo dalla Carta delle Unità Idrogeologiche in scala 1:250.000 realizzata nell'ambito del SIRIS sulla base della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:250.000, nel Piano sono stati individuati 37 complessi acquiferi principali, costituiti da una o più Unità Idrogeologiche con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee. Le 14 Unità Idrogeologiche della carta succitata sono elencate di seguito; per ognuna di esse sono indicate le litologie che la costituiscono ed il tipo ed il grado di permeabilità.

### 1) Unità Detritico-Carbonatica Quaternaria

*Sabbie marine, di spiaggia e dunari, arenarie eoliche, sabbie derivanti dall'arenizzazione dei graniti; panchina tirreniana, travertini, calcari; detriti di falda. Permeabilità alta per porosità e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione.*

### 2) Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie

*Depositi alluvionali conglomeratici, arenacei, argillosi; depositi lacustro-palustri, discariche minerarie. Permeabilità per porosità complessiva medio-bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana.*

### 3) Unità delle Vulcaniti Plio-Quaternarie

*Basalti, basaniti, trachibasalti, hawaiiiti, andesiti basaltiche, trachiti, fonoliti e tefriti in cupole e colate con intercalazioni e coni di scorie e con livelli sedimentari fluvio-lacustri intercalati, rioliti, riodaciti e daciti in cupole e colate, con sporadici depositi piroclastici associati; filoni associati. Permeabilità complessiva per fessurazione da medio-bassa a bassa; localmente, in corrispondenza di facies fessurate, vescicolari e cavernose, permeabilità per fessurazione e subordinatamente per porosità medio-alta.*

### 4) Unità Detritica Pliocenica

*Conglomerati, arenarie e argille di sistema alluvionale. Permeabilità per porosità complessiva bassa; localmente media in corrispondenza dei livelli a matrice più grossolana.*

### 5) Unità Detritico-Carbonatica Miocenica Superiore

*Calcari, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati e arenarie. Permeabilità complessiva medio-alta; da medio-bassa a medio-alta per porosità nei termini detritici, medio-alta per fessurazione e/o carsismo nei termini carbonatici.*

*Marne, marne arenacee e siltose, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee. Permeabilità complessiva medio-bassa per porosità; localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.*

### 6) Unità Detritico-Carbonatica Oligo-Miocenica Inferiore



*Conglomerati, arenarie, marne, tuffi, calcari, di ambiente marino. Permeabilità complessiva medio-alta per porosità e subordinatamente per fessurazione e/o carsismo (calcari); localmente medio-bassa in corrispondenza dei termini marnosi e vulcanici.*

*Conglomerati e arenarie con matrice generalmente argillosa, siltiti e argille, con locali intercalazioni di tufi e di calcari selciosi, di ambiente continentale. Permeabilità per porosità bassa.*

#### 7) Unità delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche

*Rioliti, riolaciti, daciti e subordinate comenditi in espandimenti ignimbritici, cupole di ristagno e rare colate, con associati prodotti piroclastici e talora livelli epiclastici; andesiti, andesiti basaltiche, basalti andesitici e rari basalti, talora brecciati, in cupole di ristagno e colate; gabbri, gabbronoriti in corpi ipoabissali e quarzodioriti porfiriche; filoni associati. Permeabilità per fessurazione complessiva medio-bassa, più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbritici e lavici) e più bassa in quelli meno fratturati (cupole di ristagno) e nei livelli piroclastici e epiclastici.*

#### 8) Unità Detritico-Carbonatica Eocenica

*Conglomerati, arenarie e siltiti argillose. Permeabilità bassa per porosità.*

*Calcari, calcari marnosi, marne argillose, argille arenarie e conglomerati. Permeabilità complessiva media; media per porosità nei termini arenacei e conglomeratici, medio-alta per fessurazione e carsismo nei termini carbonatici; bassa per porosità nei termini argillosi.*

#### 9) Unità Carbonatica Mesozoica

*Calcari, calcari dolomitici, dolomie, calcari oolitici, calcari bioclastici, calcari marnosi, marne, calcareniti, calcari selciferi, arenarie, calcari micritici, dolomie marnose, marne, gessi e argille di ambiente transizionale e marino. Permeabilità complessiva medio-alta per fessurazione e carsismo nei termini carbonatici e per porosità nei termini arenacei; localmente bassa nei termini marnosi e argillosi.*

#### 10) Unità Detritica Permo-Carbonifera e Triassica

*Argille, siltiti, arenarie e conglomerati, talora con intercalazioni di calcari silicizzati, di calcari con selci lacustri e di lenti di antracite di ambiente continentale; subordinate lave acide, tufi e breccie vulcaniche intercalate. Permeabilità per fessurazione complessiva medio-bassa, localmente media in corrispondenza dei livelli arenacei e conglomeratici.*

#### 11) Unità Magmatica Paleozoica

*Complesso intrusivo ercinico: leucograniti, monzograniti, granodioriti, tonaliti, gabbri, gabbro-tonaliti, granitoidi, filoni di porfidi riolitici, aplitici, pegmatitici, di quarzo e basaltici, ammassi di micrograniti; complesso migmatitico ercinico: migmatiti leucocratiche, nebuliti, agmatiti; complesso orto-metamorfico: ortogneiss granodioritici e granitici, anfiboliti, anfiboliti ultramafiche; complesso effusivo: rioliti e riolaciti in espandimenti ignimbritici e in colate, porfidi in ammassi subvulcanici, lave e breccie andesitiche, subordinati espandimenti dacitici. Permeabilità complessiva bassa per fessurazione; localmente media in corrispondenza delle aree con sistemi di fratturazione sviluppati.*

#### 12) Unità Metamorfica Superiore Paleozoica

*Argilloscisti, metarenarie, metasiltiti, metavulcaniti, metatufi, metatuffiti, quarziti, metapeliti, metaconglomerati, metarcosi, metagrovacche, filladi, marmi, metacalcari nodulari, subordinati metacalcari. Permeabilità complessiva bassa per fessurazione; localmente, in corrispondenza delle lenti carbonatiche, medio-alta per fessurazione e carsismo.*

#### 13) Unità Carbonatica Cambriana

*Metacalcari e metadolomie. Permeabilità per fessurazione e carsismo medio-alta.*

#### 14) Unità Metamorfica Inferiore Paleozoica



*Filladi, micascisti, metarenarie, con rari metaconglomerati e marmi, metavulcaniti; lenti di metacalcari e metadolomie. Permeabilità complessiva bassa per fessurazione; localmente, in corrispondenza delle lenti carbonatiche, medio-alta per fessurazione e carsismo.*

I complessi acquiferi sono stati individuati sulla base della loro potenzialità e, secondariamente, della loro vulnerabilità. Per quanto riguarda questo secondo aspetto, è stato dato maggiore risalto agli acquiferi quaternari costieri, maggiormente vulnerabili (centri abitati, insediamenti turistici, ingressione marina, agricoltura intensiva), rispetto ad alcuni acquiferi profondi siti in aree scarsamente antropizzate.

Il settore in studio è ricompreso nell'Unità 14 : la stessa Unità si distingue come di seguito riportato :

**14) Unità Metamorfica Inferiore Paleozoica :** *Filladi, micascisti, metarenarie, con rari metaconglomerati e marmi, metavulcaniti; lenti di metacalcari e metadolomie. Permeabilità complessiva bassa per fessurazione; localmente, in corrispondenza delle lenti carbonatiche, medio-alta per fessurazione e carsismo.*

In relazione a quanto definito nel paragrafo "Caratteri geologici", dal punto di vista idrogeologico in due litotipi possono essere classificati in due formazioni:

<b>formazioni impermeabili :</b>	<b>formazioni permeabili:</b>
5) Unità Detritico-Carbonatica Miocenica Superiore	1) Unità Detritico-Carbonatica Quaternaria
6) Unità Detritico-Carbonatica Oligo-Miocenica Inferiore	4) Unità Detritica Pliocenica
7) Unità delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche	

## **Acquiferi alluvionali**

Il quaternario in Sardegna è rappresentato sedimenti in facies marina, salmastra continentale eoliche, fluviali e d'accumulo.

Gli affioramenti meglio rappresentati sono ubicati nella Sardegna meridionale; si tratta di facies continentali costituite da vari livelli alluvionali terrazzati e spesso arrossati o alterati che affiorano a quota diverse oltre 200m. Si estendono lungo il Campidano, e i bordi nelle piane di Pula e Palmas e formano diversi terrazzi costieri del Sarrabus e nei dintorni di Cagliari. Hanno una composizione ciottoloso-sabbioso-argillosa, dove i ciottoli sono costituiti da rocce sedimentarie e/o granitiche; la sabbia prevalentemente quarzosa. Altri depositi in altri distretti dell'Isola si ritrovano in settori costieri, e lungo i principali fiumi.

I sedimenti recenti ad attuali sono rappresentati da alluvioni che occupano i fondovalle, dai detriti di falda intorno ai rilievi, e dai depositi sabbiosi di spiaggia ed eolici. Questi depositi mostrano una vasta gamma di gradi di porosità, che dipende prevalentemente dalla coerenza dei sedimenti, e dalla presenza della frazione limo-argillosa in livelli e dalla rispettiva potenza. Generalmente hanno modesta potenza, solo nelle fosse tettoniche del Campidano e del Cixerri raggiungono spessori notevoli.

Generalmente lo spessore è modesto se si escludono le fosse tettoniche del Campidano e del Cixerri. Infatti nel Campidano un'interessante falda è ospitata nelle ghiaie dove diversi pozzi perforati ca 15, con profondità prossime ai 100m, emungono con portate complessive intorno ai 220 l/s. Alle terre ghiaio - sabbiose incoerenti è attribuita una permeabilità discreta in un range tra  $10^{-7}$  e  $10^{-3}$  con porosità totale intorno 26-34% e un coefficiente di permeabilità K (cm/s) intorno a  $10^{-1}$  -  $10^{-2}$ . Altri settori idrogeologicamente interessanti sono quelli della piana del Flumendosa e del Picocca dove le portate dei pozzi non superano i 20 l/s.

La valutazione sugli apporti idrici è quantificabile in  $2500 \times 10^6$  mc annui derivanti da precipitazioni comprese tra 432 e 792 mm. L'evapotraspirazione è compresa tra 500 e 600mm e pertanto riassume in toto le precipitazioni. Le acque d'infiltrazione costituiscono un decimo degli apporti, con un coefficiente d'infiltrazione pari al 10% e ritornano a giorno con un drenaggio in periodo di magra pari al 3% degli afflussi. La maggior parte della ricarica degli acquiferi appare provenire dall'apporto dei vari torrenti, che drenano i settori circostanti, più che dalle precipitazioni.



## Acquiferi miocenici

Nell'atlante idrogeologico della Sardegna (Carboni et al 1981 - Figura 5) questa formazione viene denominata Depositi Marini e Continentali Prevalentemente Marnosi e/o Calcareo-Arenacei (Cenozoico)

Con il Miocene ha inizio una nuova trasgressione marina che si estende progressivamente verso l'interno dell'Isola. I depositi marini miocenici sono molto diffusi e affiorano prevalentemente nella zona settentrionale e in quella sud-orientale del *graben* cenozoico mentre nella parte centrale sono coperti dalle vulcaniti recenti. L'affioramento più settentrionale è quello di Capo Testa, quello più orientale è rappresentato da un lembo trasgressivo sul «tacco» di Laconi. Nella Sardegna meridionale la serie è costituita da marne, arenarie marnose e localmente da calcari organogeni ed affiora, con una potenza media di 900 m, nell'area collinare che limita ad oriente la pianura campidanese.

La successione del Logudoro e del Sassarese, potente circa 400 m, è costituita da arenarie, calcari e calcareniti con lenti e intercalazioni marnose. Le conoscenze idrogeologiche relative a questi depositi indicano una serie permeabile di spessore variabile (tra i 20 e 150 m) il cui esito ideologico comprende portate che variano tra 0 e 20 l/sec..

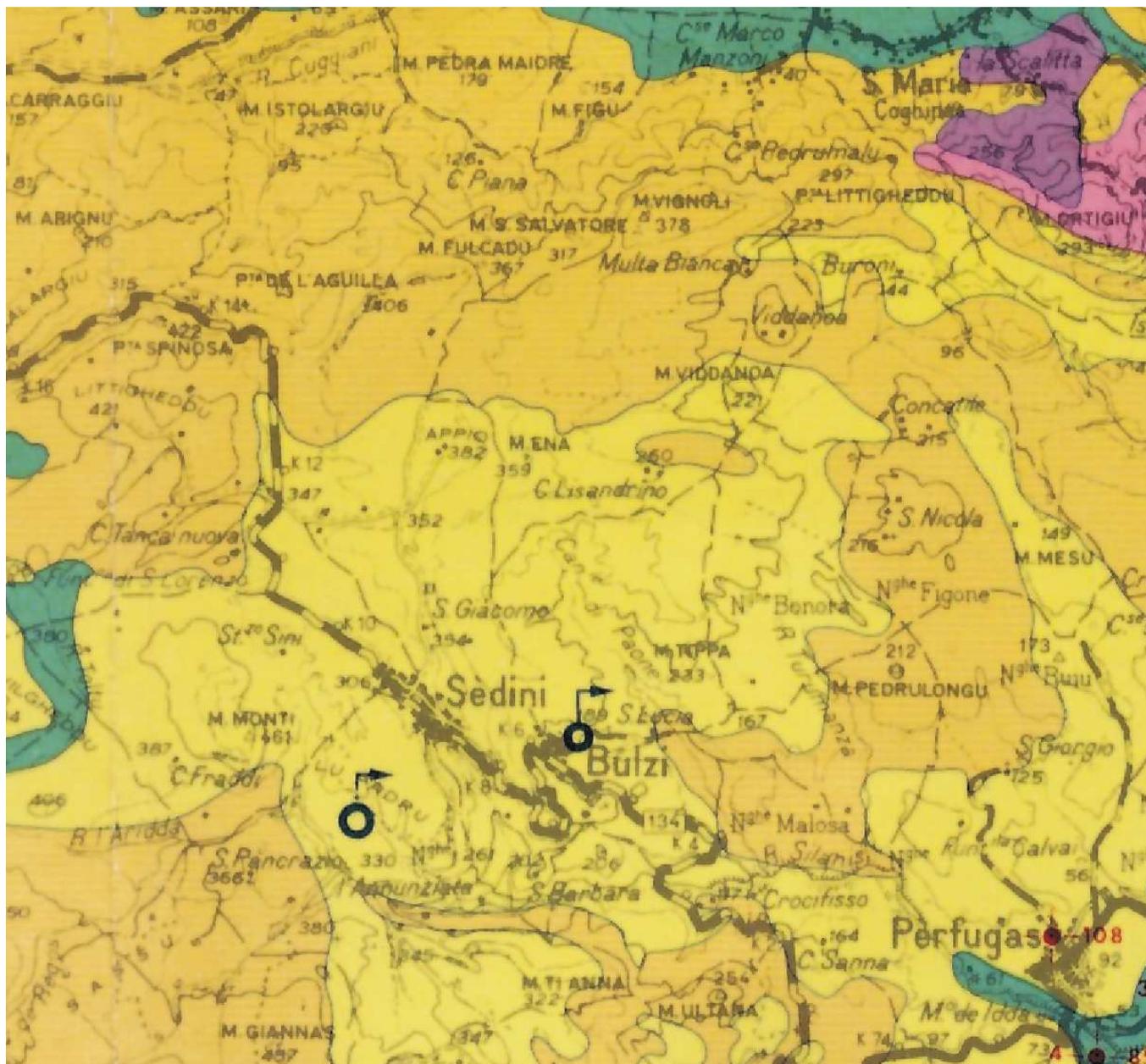
Al Pliocene appartengono piccoli affioramenti di serie trasgressive che affiorano nei dintorni di Orosei e nel golfo di Oristano. Fanno parte di questo complesso anche i depositi lacustri associati alle vulcaniti Oligo-mioceniche che sono distribuiti in tutto il settore cenozoico dell'Isola. Particolarmente potenti sono nel bacino di Oschiri (quasi 300 m) e nei dintorni di Ploaghe (100 m).

## Indagini idrogeologiche specifiche

In riferimento alle indagini geognostiche (Allegato 4) eseguite si evidenzia che non è stata incontrata, nei terreni indagati, circolazione idrica. Si ritiene pertanto che non vi siano moti idrici riferibili a circolazione idrica sotterranea interferenti con il piano di posa della diramazione in progetto. Il dato risulta congruente con l'espressione della carta, in scala 1:100000, idrogeologica della Sardegna (figura 5).



ABBANO S.p.A. – SERVIZIO INGEGNERIA OPERE IDRICHE - SCHEMA N. 1 "VIGNOLA-CASTELDORIA-PERFUGAS"  
Diramazione per Sedini, Bulzi e Perfugas - PROGETTO ESECUTIVO – **Relazione geologica**



**Figura 5** – Stralcio della carta idrogeologica (Da Carboniert al. 1980)



## Considerazioni Conclusive

La geologia del settore evidenzia terreni di natura litoide ricoperti da facies terrigene recenti di potenza variabile. L'interazione tra l'opera in progetto e l'inclusione, nell'elenco di cui alla legge 9 luglio 1908, n. 445, del territorio di Sedini ha imposto ulteriori verifiche geologiche e geotecniche. La costituzione geologica dei pendii definita attraverso la verifica di stabilità globale di pendio indefinito, calcolata per i tratti di pendio interessati dal tracciato, fornisce coefficienti di sicurezza superiori a 1.3 e pertanto definisce la compatibilità geologica e geotecnica del tracciato.

L'analisi geologica e geotecnica del settore in parola, eseguita per le diverse sezioni, evidenzia che il progetto:

1. non è interessato da situazioni di instabilità dei settori per i quali il comune è stato incluso negli elenchi di cui alla L. 445/1908;
2. non determina nessuna situazione di instabilità dei settori per i quali il comune è stato incluso negli elenchi di cui alla L. 445/1908;
3. non è pregiudizievole della stabilità di nessuna opera eseguita per contenere e/o mitigare i fenomeni di instabilità ivi comprese le future opere da realizzarsi nei progetti di consolidamento.

Le terre provenienti dagli scavi e classificate con la norma CNR UNI 10006 e ascrivibili alle diverse categorie della norma possono e devono essere trattate come da previsto dall'art. 186 del D. Lgs. 03.04.2006 n. 152 dal D. Min. Amb. 3.08.2005, dall'art. 41bis della Legge 9 agosto 2013, n. 98; pertanto le terre saranno reimpiegate nella realizzazione delle opere di progetto.

Dai caratteri idrogeologici del settore in studio, così come prima esposti, e dai risultati dello studio esecutivo effettuato, corredato da indagini in situ e in laboratorio, **non emergono particolari situazioni, se non quelle prima espresse, che pregiudichino il prosieguo delle ipotesi di progetto che, resta inteso, dovrà essere eseguito secondo i dettami prima esposti, a regola d'arte e secondo la normativa vigente (L. 9 LUGLIO 1908, n. 445; L. 25.11.1962, n. 1684; L. 2.02.1974 n. 64; D.M. LL. PP. del 12.12.1985; D.M. 11.3.1988; D.M. 14.01.2008; CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617; Ord. P.C.M. del 20.03.2003 n. 3274, D. Ass. LL.PP. 21 febbraio 2005 n. 3 - Esecutività della Del. di G.R. n. 54/33 del 30.12.2004).**

**Muravera, ottobre 2018**

**Dott. Geol Dario Cinus**

