



ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 4 - GESTIONE INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

PROGETTO DEI LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL SISTEMA
DI TENUTA DELLA DIGA SAN GIOVANNI NEL TERRITORIO
DEL COMUNE DI NARO (AG) (SCHEDA INTERVENTO N. 080)

CUP: G29E18000040001 - CIG: 7725373B77



RTP

mandatario

mandanti

PRO-GEO
progettazione geotecnica

S P A I
SOCIETÀ DI INGEGNERIA

s.i.a.

STUDIO INGEGNERI ASSOCIATI

Studio di Geologia

G. Graziano e M. Masi

Studio di Ingegneria

Ing. E. Giannone Codiglione



PROGETTO ESECUTIVO

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO (R.U.P.) :

Dott. Ing. Salvatore Stagno

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE :

Dott. Ing. Pietro Umiltà

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO N° :

GEO 3.1.1.1

		ELABORATO		CONTROLLATO		APPROVATO	
SIGLA		G. V. Graziano		M. Masi		G. V. Graziano	
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE				
	0	DIC 2021	Emissione elaborati progetto esecutivo				
	1						
	2						

DATA :

DICEMBRE 2021

SCALA :



RELAZIONE GEOLOGICA

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO.....	4
3. GEOMORFOLOGIA	
3.1 Lineamenti generali.....	5
3.2 Dettaglio delle criticità rilevate e analisi geomorfologica.....	8
4. GEOLOGIA	
4.1 Inquadramento geologico-strutturale.....	12
4.2 Rilevamento geologico di superficie.....	12
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	
5.1 Precedenti indagini.....	14
5.2 Sondaggi eseguiti in questo ambito.....	16
6. CARATTERI IDROGEOLOGICI	
6.1 Caratteri generali.....	28
6.2 L'area della diga.....	28
7. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA ATTESA	
7.1 Storia sismica dell'area.....	30
7.2 Definizione della pericolosità sismica di base.....	31
7.3 Caratteristiche della superficie topografica.....	31
7.4 Definizione dell'azione sismica di riferimento.....	32
8. INDICAZIONI PROGETTUALI.....	34
9. CONCLUSIONI.....	37



1. PREMESSA

A seguito della procedura negoziata per l'affidamento del servizio di progettazione definitiva, esecutiva, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, consulenza geologica, indagini geognostiche e prove di laboratorio, dell'intervento "Scheda n. 080 – Diga San Giovanni – Interventi di manutenzione straordinaria del sistema di tenuta della Diga San Giovanni nel territorio del Comune di Naro (AG)" svolta dalla Regione Siciliana – Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità – Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti, è rimasto aggiudicatario il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (RTP) composto dalla mandataria PRO-GEO e dai mandanti SPAI S.r.l., S.I.A. Studio Ingegneri Associati, Studio Geologico Graziano e Masi, Ing. Elisa Giannone Codiglione e CON.GEO. s.r.l.



Fig. 1: coronamento della diga

La Diga San Giovanni è un'importante infrastruttura idraulica, realizzata tra il 1969 e il 1981, destinata alla raccolta delle acque del Fiume Naro, che vengono utilizzate prevalentemente per l'irrigazione delle campagne che costituiscono il sub comprensorio "San Giovanni-Furore".

La diga, che sbarra il suddetto corso d'acqua a circa 20 km dalla foce, raccoglie i deflussi di circa 80 kmq di bacino e possiede un'altezza di massima ritenuta di 28,83 m. Il suo coronamento, che si sviluppa per 740 m, si attesta alla quota di 319 m s.l.m. ed è capace di contenere un volume d'acqua di 1.450.000 mc.

Realizzato in materiali sciolti, con nucleo centrale di materiale limosi e rinfianchi costituiti da materiali a grana grossa, specificamente calcarei per il fianco di monte e calcarenitici per quello di valle, presenta un asse ad andamento rettilineo per quasi tutto lo sviluppo, fatta eccezione per il settore destro dove l'asse si incurva leggermente per una migliore impostazione sui terreni della spalla.

Gli interventi da realizzare nel presente ambito progettuale sono finalizzati essenzialmente al ripristino e al miglioramento di alcune strutture della diga per rinnovare l'integrità strutturale e funzionale dell'opera, così da consentire una più sicura e corretta gestione dell'impianto nel tempo. Essi riguardano la viabilità, la sicurezza morfologica dei versanti, i sistemi di eduazione delle acque dai cunicoli e l'impiantistica relativa agli organi di manovra. Più precisamente è previsto il consolidamento dei tratti di strada in frana sul coronamento e dei tratti prossimi alla casa di guardia, la



RELAZIONE GEOLOGICA

realizzazione di opere di miglioramento di sicurezza sul coronamento della diga, nonché la manutenzione straordinaria delle opere di scarico e delle altre opere accessorie e il ripristino della tenuta dell'impianto oleodinamico per la movimentazione delle paratoie, dell'indicatore del grado di apertura e delle altre opere accessorie della suddetta diga.

Il sopra citato RTP è composto, tra gli altri mandanti, dallo Studio Geologico G. Graziano e M. Masi, del quale lo scrivente geologo è associato e legale rappresentante, nonché estensore dello studio geologico propedeutico alla progettazione definitiva ed esecutiva dei soli interventi interagenti con i terreni, che riguardano:

1. i cedimenti della sede stradale circumlacuale in prossimità del piazzale d'ingresso (Fig. 7);
2. i dissesti del muro di contenimento, a rischio di ribaltamento, nei pressi della Casa di guardia (Fig. 8);
3. il dissesto presente nel pendio a valle della stessa Casa di guardia, prossimo alla viabilità di collegamento fra l'ingresso e gli uffici (Fig. 9).
4. la realizzazione di una pista provvisoria di collegamento della strada circumlacuale con una stradella interna all'area della diga posta a quota maggiore.

Lo studio geologico, parte integrante del progetto, è stato redatto per definire il modello geologico dell'area, sulla scorta della vigente normativa tecnica (tra cui il D.M. 17.01.2018), inquadrandone gli aspetti geomorfologici, idrogeologici e geologico-strutturali e acquisendo le principali caratteristiche fisiche e geomeccaniche dei terreni interessati dagli interventi di consolidamento dei dissesti nell'ambito della generale manutenzione straordinaria del sistema di tenuta della diga.

E' stato condotto preliminarmente attraverso una accurata ricerca bibliografica di ordine geologico generale, poi integrato dalle indispensabili ricognizioni sui luoghi e da una specifica campagna di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche programmata sulla scorta sia della documentazione tecnica progressivamente acquisita (carte tematiche), sia degli elaborati relativi al progetto di fattibilità tecnica ed economica posto a base di gara, tra i quali la relazione geologica.

La campagna di indagini ha consentito di delineare un quadro geologico abbastanza definito, ottenendo importanti informazioni sulle principali caratteristiche dei terreni interessati dagli interventi di progetto.

Inquadrati allo stesso tempo gli aspetti geomorfologici e idrogeologici dell'area e definito l'assetto geologico del sottosuolo, è stato possibile in definitiva caratterizzare i terreni indagati, descrivendo anche la tipologia di movimento e lo stato di attività dei dissesti rilevati. Sono state redatte sezioni geologiche in ciascuna delle aree vulnerabili, oggettivate dalle indagini geognostiche effettuate in questo ambito e da alcune indagini precedenti contenute nella relazione geologica del progetto di fattibilità tecnica ed economica.

Sulla base di tutti gli accertamenti svolti e dei dati di conoscenza progressivamente acquisiti, è stato redatto lo studio geologico di supporto ad entrambi i livelli di progettazione definitiva ed esecutiva, che consente di descrivere il modello geologico dell'area e di inquadrare, per gli aspetti di competenza, le problematiche connesse con i lavori da realizzare. Si ritiene che lo studio geologico posto a corredo della progettazione abbia fornito le informazioni di carattere geologico necessarie per una opportuna scelta delle soluzioni tecniche da adottare e per trarre utili indicazioni circa le modalità di esecuzione dei lavori.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

La Diga San Giovanni si trova nel territorio comunale di Naro (AG), in località *Stretta del Molino San Giovanni*, a Nord-Ovest del centro abitato.

Per i riferimenti topografici essa ricade nel Foglio 271 I N.O. "Naro" della Carta d'Italia in scala 1:25.000 edita dall'I.G.M.

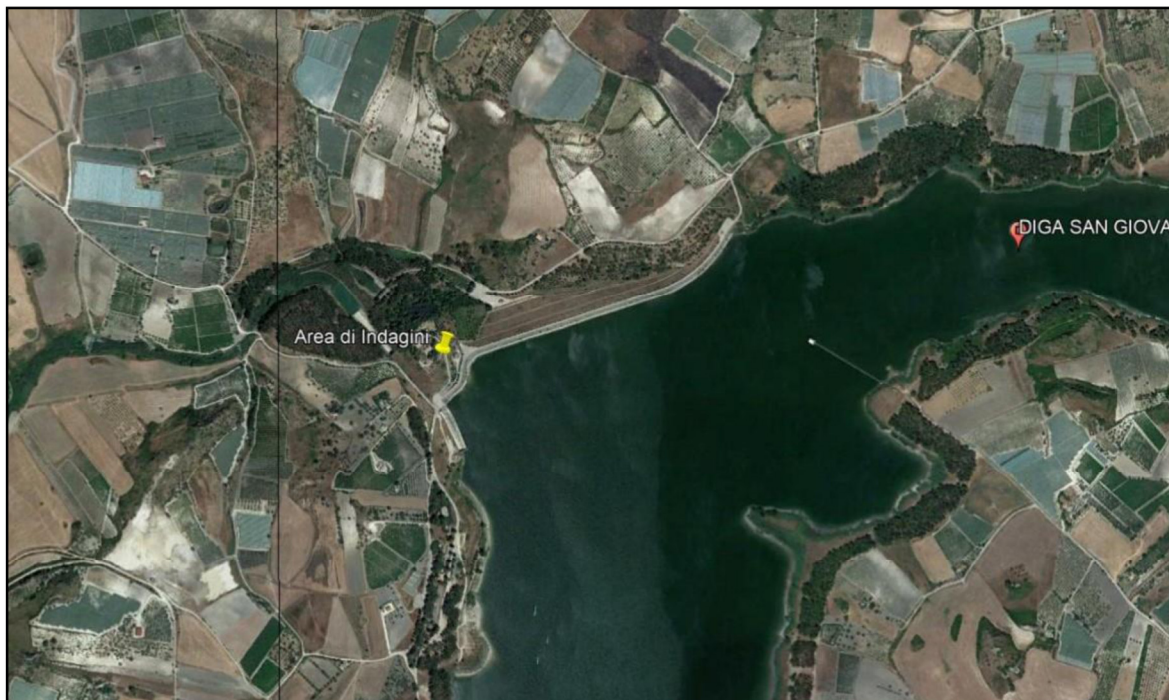


Fig. 2: ortofoto dell'area della diga (tratta da Google)

Ricade poi nel Foglio n. 637060, denominato "Castrofilippo" della Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000 della Regione Sicilia, dal quale è stata stralciata la corografia di seguito allegata.

I settori strettamente interessati dagli interventi di progetto sono localizzati sia sul coronamento, dunque in prossimità dello specchio d'acqua della diga, sia a monte, ma sempre a breve distanza. Le relative quote altimetriche sono comprese tra m 293,5 s.l.m. e m 318,3, in un contesto di forme morfologiche dolci e modellate, tipiche dei complessi a comportamento plastico, cui si alternano rilievi isolati di natura calcarea, a forte pendenza, con azioni degli agenti esogeni che si differenziano in funzione dell'assetto topografico e della diversa resistenza dei litotipi affioranti.

Dal punto di vista del regime vincolistico, sull'area oggetto degli interventi sono presenti i vincoli paesaggistici di cui all'art. 134, lett. b, del D/lgs 42/2004 e s.m.i. (aree di cui all'art. 14), relativi a:

- Territori contermini ai laghi compresi in una fascia di 300 metri dalla battigia (comma 1, lett.b);
- Fiumi, torrenti e corsi d'acqua e relative sponde per una fascia di 150 metri (comma 1, lett. c);
- Territori ricoperti da boschi o sottoposti a vincolo di rimboscimento (comma 1, lett.g).

Dal punto di vista ambientale gli interventi da realizzare, seppure siano finalizzate alla assoluta necessità di aumentare le condizioni di sicurezza della infrastruttura stessa e di migliorarne gli aspetti gestionali, sono tuttavia di bassissimo impatto, sia perché sono da eseguire in aree generalmente



RELAZIONE GEOLOGICA

pavimentate e adibite anche al transito di autoveicoli, in cui la perdita di suolo risulta minima, sia perché non prevedendosi alcun taglio di piante, non saranno apportate modifiche nella struttura degli ecosistemi esistenti e non sarà danneggiata alcuna vegetazione residua di interesse naturalistico.

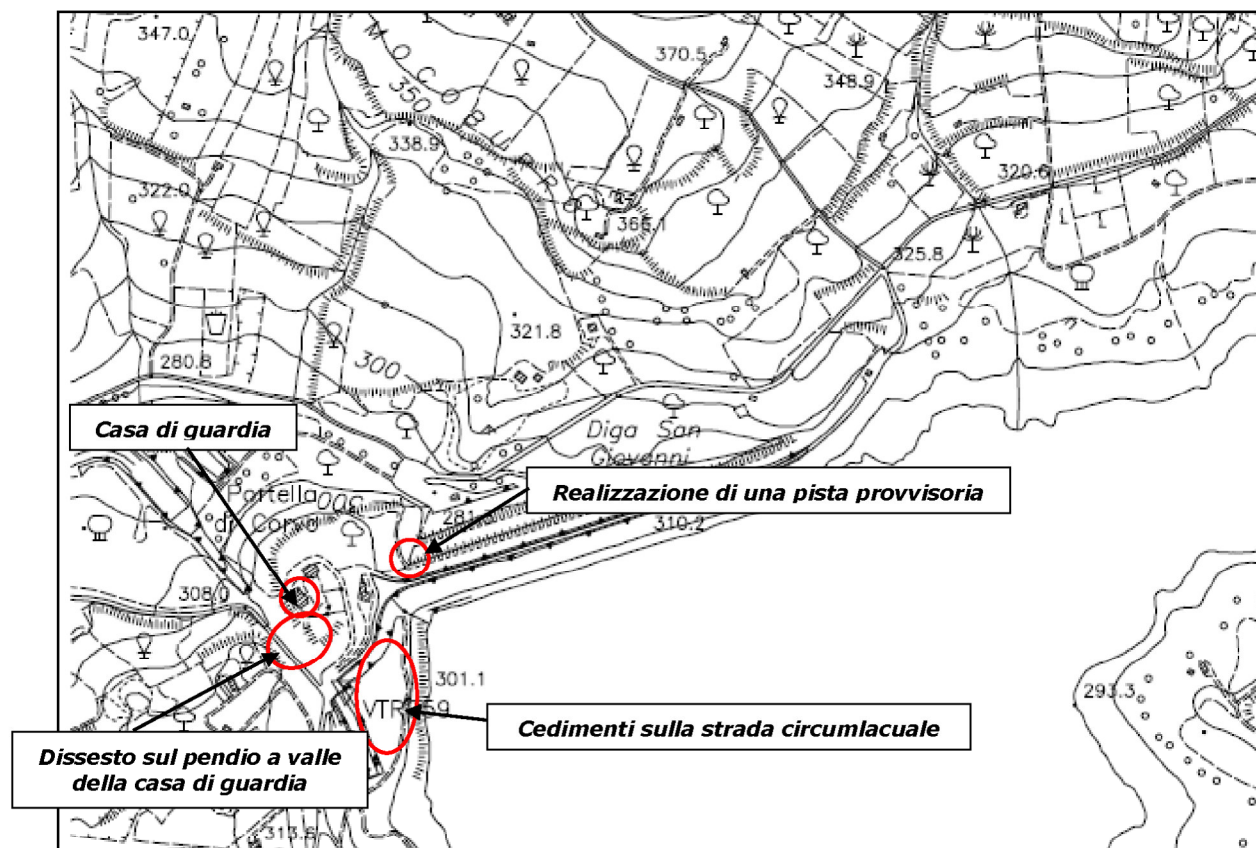


Fig. 3: stralcio della Carta Tecnica Regionale - Foglio n. 637060 - in scala 1:10.000

3. GEOMORFOLOGIA

3.1 Lineamenti generali

La diga San Giovanni, oggetto degli interventi di manutenzione straordinaria, è inserita in un contesto morfologico tipicamente collinare, con superfici debolmente acclivi, caratterizzate da affioramenti di terreni di natura argillosa che conferiscono all'area un assetto blando e generalmente regolare, interrotto da locali rilievi a forte pendenza, costituiti da corpi rocciosi lapidei carbonatici caratterizzati da elevate asperità, che danno luogo a un assetto morfologico più aspro, con rotture di pendenza e salti di quota che, soprattutto in alcune porzioni dell'area, si presentano sub-verticali.

La natura sostanzialmente impermeabile degli affioramenti argillosi, presenti diffusamente e prevalentemente nell'area, è all'origine del notevole sviluppo del reticolato idrografico, rappresentato da numerose piccole linee d'impluvio a basso ordine di gerarchizzazione, tributarie del Fiume Naro, che decorre con andamento E-W sino allo sbarramento della diga.

Il regime delle acque che scorrono in seno al reticolo idrografico è di tipo torrentizio, con piene improvvise, ma sostanzialmente modeste, durante la stagione invernale, e assenza d'acqua per buona parte dell'anno. L'azione erosiva delle stesse acque è tipicamente di fondo, che vede un



RELAZIONE GEOLOGICA

lento e graduale approfondimento dell'alveo medesimo, ma che si esplica soltanto in concomitanza di precipitazioni meteoriche intense e prolungate e si traduce nel trasporto in sospensione delle particelle argillose asportate lungo il percorso, che vengono depositate più a valle, dove tratti a minore pendenza consentono il loro deposito. Quasi del tutto assente è l'erosione laterale.

I processi morfodinamici che in atto caratterizzano questa porzione di territorio sono strettamente legati, per tipologia, alla natura litologica del substrato affiorante, costituito principalmente da terreni di natura argillosa, ricoperti da coltri detritiche di alterazione: sono visibili le tipiche forme morfologiche legate a processi gravitativi che hanno luogo sui terreni incoerenti, ovvero "colamenti", nelle porzioni altimetricamente meno elevate, mentre, laddove l'acclività dei versanti tende ad aumentare, in alcuni casi è possibile rinvenire dei fenomeni superficiali di erosione accelerata o comunque la presenza di un ruscellamento concentrato che determina la formazione di incisioni nella coltre superficiale di alterazione; la stessa coltre di alterazione in alcune zone risulta essere interessata da processi morfologici più rilevanti, quali frane di "scorrimento rotazionale". Si rilevano talvolta delle superfici interessate da lenti movimenti gravitativi che coinvolgono solo ed esclusivamente la porzione più superficiale di alterazione ("creep").

Queste locali situazioni di criticità geomorfologica sembrano non trovare riscontro nel Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico (PAI), di cui D.A.R.T.A. n. 298/41 del 04.07.2000 e successive integrazioni, dispositivo di pianificazione nel quale sono state individuate le aree soggette a pericolosità e a rischio di natura idrogeologica

Dalla consultazione delle carte tematiche, di pericolosità e di rischio idrogeologico, nonché di pericolosità e di rischio idraulico (Bacino Idrografico del Fiume Naro – 068) sembra infatti che l'intero settore della diga compreso tra la Casa di guardia e il lago sottostante non sia gravato da situazioni di pericolosità e/o rischio geomorfologico.

Va però evidenziato che, come è stato possibile verificare durante le ricognizioni compiute sui luoghi, le criticità geomorfologiche rilevate nell'area di progetto, solo in un caso ascrivibili peraltro ad una vera e propria fenomenologia franosa, possiedono estensioni areali molto limitate per poter consentire di essere cartografate nelle carte tematiche del PAI, la cui rappresentazione avviene alla scala 1:10.000.

Gli stralci della Carte dei dissesti e della Carta delle pericolosità e del rischio geomorfologico, di cui alle Figg. 5 e 6, fanno riferimento all'edizione 2006 del Piano stralcio del bacino del Fiume Naro (n. 068).

Sempre con riferimento al Piano stralcio del bacino del Fiume Naro (068), ma con riferimento al rischio idraulico, si riporta poi di seguito in Fig. 7 anche la *Carta delle Aree di esondazione per manovra di scarico ed ipotetico collasso dello sbarramento San Giovanni*, da cui si rileva che i settori di intervento si trovano fuori dall'area di possibile esondazione della diga.



RELAZIONE GEOLOGICA

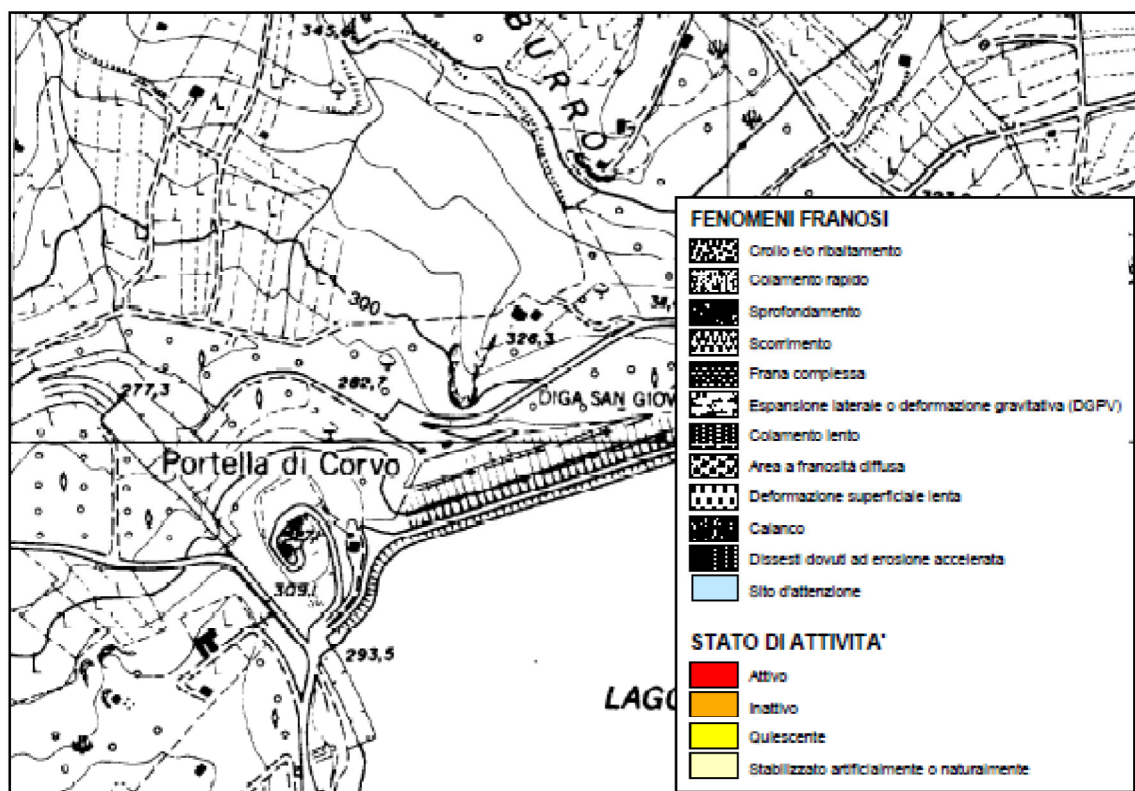


Fig. 4: stralcio della Carta dei Dissesti, di cui al PAI Sicilia, ed. 2006

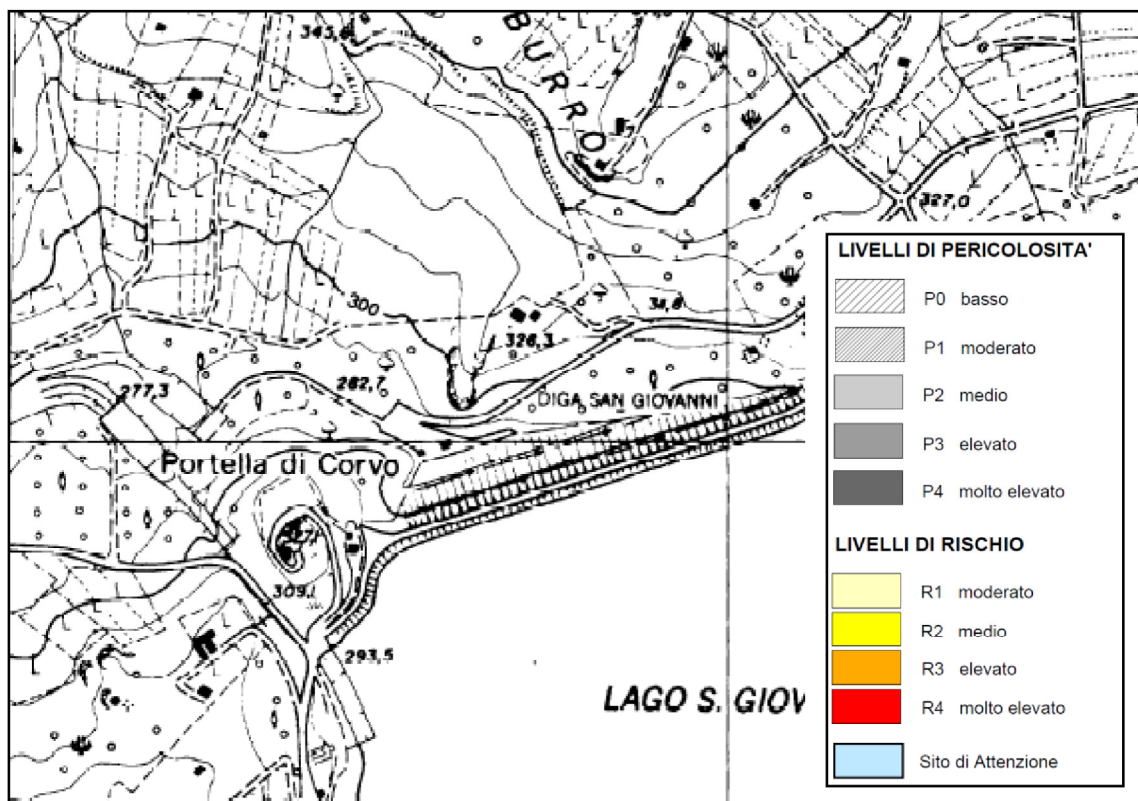


Fig. 5: stralcio della Carta della Pericolosità e del Rischio geomorfologico, PAI, ed. 2006

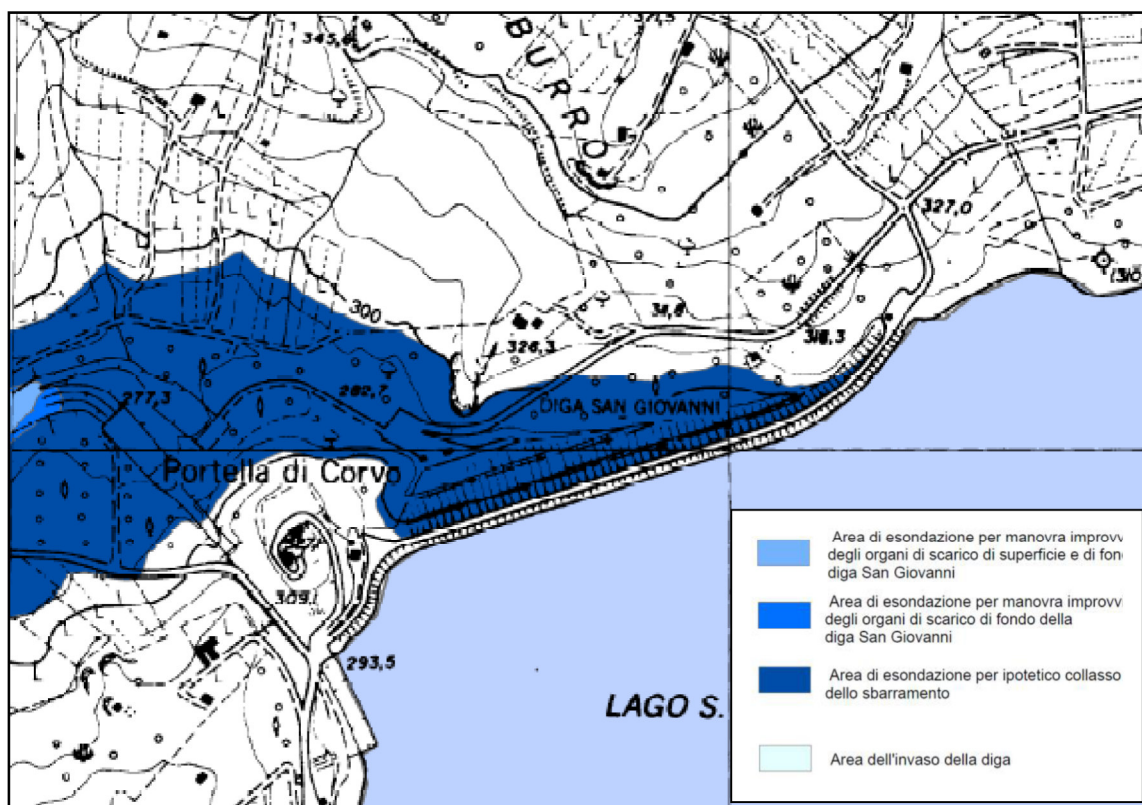


Fig. 6: Carta delle aree di esondazione per manovra di scarico e ipotetico collasso dello sbarramento

3.2 Dettaglio delle criticità rilevate e analisi geomorfologica

Sono tre le aree d'intervento nelle quali si sono evidenziate criticità geomorfologiche sulle quali dover agire.

Strada circumlacuale

La prima riguarda la viabilità della strada circumlacuale, nei pressi del piazzale di ingresso, che presenta un evidente cedimento della sede stradale e di fessure sul manto stradale di dimensioni superiori ai dieci centimetri. Si rileva anche la traslazione del cordolo di bordo strada e dei pali di illuminazione stradale posti sul lato di valle, oggi visibilmente spostati rispetto all'originaria posizione.

Si tratta di un'area di circa 45,00 metri di lunghezza, monitorata già dagli anni '90 (nel 1991 fu eseguito un intervento di bonifica consistente nella parziale asportazione e ricostruzione del rilevato stradale), che fu poi oggetto di approfondimenti già durante le fasi di collaudo della diga.

La sede stradale presentava già nel 2003 una deformazione del manto, tanto che nel 2005 l'E.S.A., precedente gestore dell'invaso, su specifica richiesta del Registro Italiano Dighe (R.I.D.) e della commissione di collaudo ex art. 14 D.P.R. 1363/1959, produsse una relazione avente ad oggetto "Accertamento delle condizioni della strada di collegamento fra il piazzale antistante lo sfioratore e il coronamento della diga".

In quella sede, la deformazione della sede stradale venne attribuita ad un movimento a prevalente componente verticale, che, a seguito di misurazioni effettuate tra l'agosto 2003 e il marzo 2005, evidenziò cedimenti nell'ordine del centimetro solo in corrispondenza del massimo avvallamento della



RELAZIONE GEOLOGICA

strada. Lo studio consentì di stabilire che non vi era alcuna correlazione tra il cedimento del tratto di strada indagato e i livelli idrici raggiunti dall'invaso. L'avvallamento riscontrato venne infatti attribuito alle caratteristiche del materiale utilizzato per costruire il rilevato stradale, le cui caratteristiche sono poi state poi accertate attraverso l'esecuzione di un pozzetto esplorativo, realizzato mediante escavatore meccanico e spinto fino alla profondità di m 4,00 dal piano stradale.

Il pozzetto ha intercettato sotto l'asfalto uno strato di circa 0,80 m di spessore di misto di cava calcarenitico, attribuibile ai materiali utilizzati nell'intervento di bonifica eseguito nel 1991, poggiante sopra una coltre di materiali limo-argillosi con inclusi calcarei, a loro volta poggianti su argille gessose grigie.

Ad ogni modo, constatato che l'avvallamento non riguardava il rilevato diga, che era stato realizzato indipendentemente e in epoca antecedente alla costruzione della strada di accesso al coronamento, non si ritenne di procedere alla realizzazione di interventi strutturali, ma venne piuttosto suggerito di tenere sotto controllo l'andamento dei cedimenti, integrando eventualmente le osservazioni con misurazioni di eventuali spostamenti a componente orizzontale.

Pare tuttavia che soprattutto nell'ultimo periodo il cedimento abbia subito un rilevante incremento e, tenuto conto che la viabilità interna della diga rappresenta un elemento sostanziale per una sua ottimale gestione e che il settore interessato è quello relativo alla tratto di strada che dal piazzale di ingresso e dalla casa di guardia permette il collegamento con il coronamento e con altre importanti strutture della diga (organi di manovra, sistemi di controllo e monitoraggio con misurazioni giornaliere), non è più derogabile un intervento di sistemazione basato sulla precisa conoscenza del fenomeno.

L'analisi geomorfologica del dissesto permette di distinguere facilmente sulla sede stradale una superficie di dissesto di forma arcuata, che però non sembra potersi ricondurre ad una vera e propria frana, quanto ad una forma morfologica connessa ai processi di consolidazione dei materiali che costituiscono il corpo stradale.

L'evoluzione del movimento interessa i terreni immediatamente a monte della strada, richiamati dal progressivo abbassamento del corpo stradale, mentre quelli a valle non sembrano coinvolti, a conferma che i materiali mobilizzati sono soltanto quelli che costituiscono il rilevato stradale. Non sembrano coinvolti neanche i blocchi rocciosi che formano la scogliera antistante e in definitiva al momento sembra essere assente qualunque forma di accumulo al piede.



Fig. 7: dissesto lungo la strada circumlacuale

Seppure l'analisi di superficie conduca quindi ad individuare una dissesto legato all'abbassamento del corpo stradale, non può tuttavia escludersi del tutto che il corpo stradale sia invece coinvolto da uno scorrimento di tipo rotazionale, con un'ampia superficie di rottura che giace sotto la stessa strada e la cui zona di accumulo sia soltanto mascherata dallo specchio acqueo antistante, ossia si trovi sui fondali del lago che non sono però distinguibili.

In questo caso il movimento di scorrimento della massa di terra verso la base del versante posto dentro il lago avverrebbe per deformazioni di taglio lungo una o più superfici, entro uno spessore che, come si è poi accertato attraverso i sondaggi geognostici, si attesterebbe intorno ai 5 metri sulla verticale della strada.

In entrambi i casi, che si tratti cioè del progressivo assestamento del corpo stradale per effetto della consolidazione dei materiali che lo costituiscono o che si tratti di un corpo di frana più ampio, il movimento gravitativo va sempre considerato come un dissesto attivo, il cui cinematismo non si è ancora esaurito.

Casa di guardia

Un muro di contenimento in cemento debolmente armato nell'area limitrofa alla casa di guardia, di altezza variabile da 1,00 a 1,80 metri e di circa dieci metri di lunghezza complessiva, versa in condizioni di equilibrio alquanto precarie, tali da paventare un imminente rischio di ribaltamento.

Fessurato e rotto in più segmenti, esso delimita a valle un'area a verde, al centro della quale sorge una grossa palma.

Attraverso il puntellamento con tubi in ferro, il muro è stato messo in condizioni di minore rischio di crollo, ma l'intervento, oltre a non potersi considerare risolutivo, non garantisce la sicurezza per chi vi transita a valle ed ha peraltro ristretto l'ampiezza della sede stradale.

L'analisi geomorfologica del dissesto permette di escludere che vi sia in atto un movimento gravitativo dei terreni, ma piuttosto il fenomeno sembra riconducibile alla spinta attiva dei terreni retrostanti su un muro, che sotto il profilo strutturale non è in grado di contrastarla.

Il paramento murario è progressivamente ruotato intorno alla base del muro, che appare invece sostanzialmente fissa. Un eventuale movimento gravitativo avrebbe fatto traslare invece anche la base del muro.



Fig. 8: muro a ridosso della Casa di guardia

Man mano che la spinta dei terreni agiva, il muro, oltre a ruotare, si è rotto secondo linee di fessura verticali, che lo hanno frazionato in diversi tratti contigui.

Versante a valle della casa di guardia

Lungo il versante presente nell'area compresa fra la casa di guardia e il cancello di ingresso, in parte limitrofo alla viabilità di collegamento fra l'ingresso e gli uffici della diga, è presente un dissesto che interessa la parte centrale del pendio.

I depositi che in atto risultano essere mobilizzati dal movimento gravitativo sono caratterizzati da materiali detritici, derivanti dalle attività di movimentazione delle terre effettuate durante il periodo di realizzazione della diga.

A monte della nicchia di coronamento della frana ("corona di frana") sono presenti delle linee di servizio, elettrica, citofonica e idraulica, che in passato hanno subito danni a causa dell'evolversi del movimento.

Il fenomeno risulta essere circoscritto rispetto all'intero versante e per tale motivo sui luoghi appare facilmente riscontrabile.

L'analisi geomorfologica del dissesto permette di distinguere sul versante una superficie di dissesto arealmente modesta, che ha visto mobilizzarsi gli orizzonti di terreno più superficiali lungo una superficie di scivolamento semi planare o comunque poco arcuata, dando luogo ad un altrettanto modesto accumulo al piede.

Il movimento di scivolamento della massa di terra verso la base del versante è avvenuta per deformazioni di taglio lungo una superficie molto prossima al piano di campagna, entro uno spessore che, come si è poi accertato attraverso i sondaggi geognostici, si attesta intorno ai 2 metri sulla verticale della strada.

Partendo dall'alto si può ben distinguere la zona di distacco localizzata a partire dal ciglio superiore del versante, così come a valle si distingue la zona di accumulo,



Fig. 9: dissesto sul versante a valle della Casa di guardia

Il movimento gravitativo va considerato come un dissesto attivo, il cui cinematismo non si è ancora esaurito. In assenza di opere di consolidamento, il versante continuerebbe a evolversi alla ricerca di una sua nuova condizione di equilibrio, coinvolgendo man mano le strutture e le infrastrutture presenti a monte.



4. GEOLOGIA

4.1 Inquadramento geologico-strutturale

La bibliografia tematica disponibile ha consentito di delineare la costituzione geologica dell'area di progetto, localizzata nel settore centro-meridionale della Sicilia e costituita dal complesso dei depositi evaporitici e marnoso-calcarei (Messiniano-Pliocene inf.), che formano i bacini di Castelvetro e Caltanissetta, in complicati rapporti geometrici con le unità calcaree dei domini sicani e saccensi. I litotipi che li compongono appartengono a diversi cicli sedimentari, i depositi terrigeni e carbonatici tardorogeni del Miocene superiore e i quelli evaporitici e calcareo-marnosi messiniani e pliocenici.

Con specifico riferimento all'area di progetto, essa si colloca ai margini del bacino evaporitico in cui durante il I ciclo di sedimentazione è avvenuta la deposizione del Calcare di Base, mentre soltanto in occasione del II ciclo si è avuta la sedimentazione dei Gessi (Gessi di Pasquasia).

L'assetto geologico locale è dunque caratterizzato dagli affioramenti di età terziaria e quaternaria, in cui prevalgono i termini evaporitici compresi fra le unità terrigene pre-evaporitiche e quelle post-evaporitiche, distribuiti secondo un sistema prevalente di pieghe con assi orientati in direzione NW-SE.



Fig. 10: distribuzione delle facies evaporitiche del complesso inferiore (da Decima e Wezel, 1971)

4.2 Rilevamento geologico di superficie

Dopo il preliminare inquadramento dell'area a scala vasta, le successive ricognizioni sui luoghi nell'intorno della diga San Giovanni, lungo le aree interessate dagli interventi di manutenzione straordinaria in progetto, hanno fatto rilevare un vasto affioramento di argille tortoniane, che costituiscono peraltro i terreni strettamente interessati dagli interventi progettuali, sui quali poggiano, con contatto discordante, i termini calcarei del cosiddetto "Calcare di base", che costituiscono l'ossatura dei rilievi collinari presenti.

Le argille tortoniane, attribuibili a un ambiente deposizionale da piattaforma costiera a scarpata, presentano un colore grigio scuro e sono piuttosto consistenti. Si tratta di un'unità terrigena, interpretata come deposito post-orogeno, di notevole spessore; dal punto di vista litologico è costituita da peliti e argille sabbiose grigiastre e azzurre, argille siltose e marne grigio-verdastre, in strati da decimetrici a centimetrici, e lenti di sabbie giallastre di spessore decametrico. Presentano, solitamente, laminazione parallela e un ricco contenuto fossilifero (lamellibranchi, gasteropodi e foraminiferi). Il



RELAZIONE GEOLOGICA

complesso argilloso costituisce il substrato profondo dell'intera area in studio; al di sopra delle argille è presente una coltre estesa e piuttosto potente di argille e limi talora sabbiosi, di colore bruno-nocciola, a cui si ritiene di dover attribuire un carattere detritico, ossia un'origine legata al progressivo smantellamento dei rilievi collinari ad opera degli agenti erosivi esterni. I sondaggi geognostici, dei quali si dirà più avanti nel dettaglio, hanno infatti evidenziato la presenza di piccoli inclusi lapidei e noduli, a profondità variabile.

La formazione argillosa tortoniana costituisce la base della successiva serie *Serie Gessoso-Solfifera* messiniana, rappresentata nell'area esclusivamente dal primo deposito evaporitico, ovvero i suddetti calcari di base. Questo ultimi sono osservabili sui versanti collinari presenti a Nord e ad Ovest della infrastruttura idraulica: è probabile che la formazione rocciosa sia stata scompaginata e smembrata per sforzi tettonici, e poi erosa progressivamente sino al raggiungimento dell'attuale assetto, che vede spesso alcuni livelli di gesso inseriti in seno ai banchi delle sottostanti argille.

Il *Calcare di base*, attribuibile dunque ad ambiente evaporitico, è costituito da calcari biancastri o grigiastri, presenti in affioramento in strati e banchi massicci dello spessore da 1 a 15 m; la geometria degli strati è grossolanamente lenticolare, a base irregolare, localmente erosiva. I banchi principali sono alternati a livelli, spessi da 30 a 150 cm, costituiti da marne calcaree, calcari laminati, dolomie, o, più raramente, da gessi. Talvolta il passaggio dai banchi calcarei alle intercalazioni marnose si realizza tramite l'interposizione di orizzonti calcarei laminati. Talvolta i banchi calcarei presentano un aspetto brecciato, a seguito di un collasso da dissoluzione di minerali o di interstrati evaporitici e/o di processi meccanici di tipo gravitativo: in quest'ultimo caso gli strati calcarei mostrano base erosiva, gradazione normale e una divisione gessarenitica, solitamente laminata, al tetto. Lo spessore del Calcare di Base, stratigraficamente attribuibile al *Messiniano*, varia da 20,00 a circa 60,00 m.

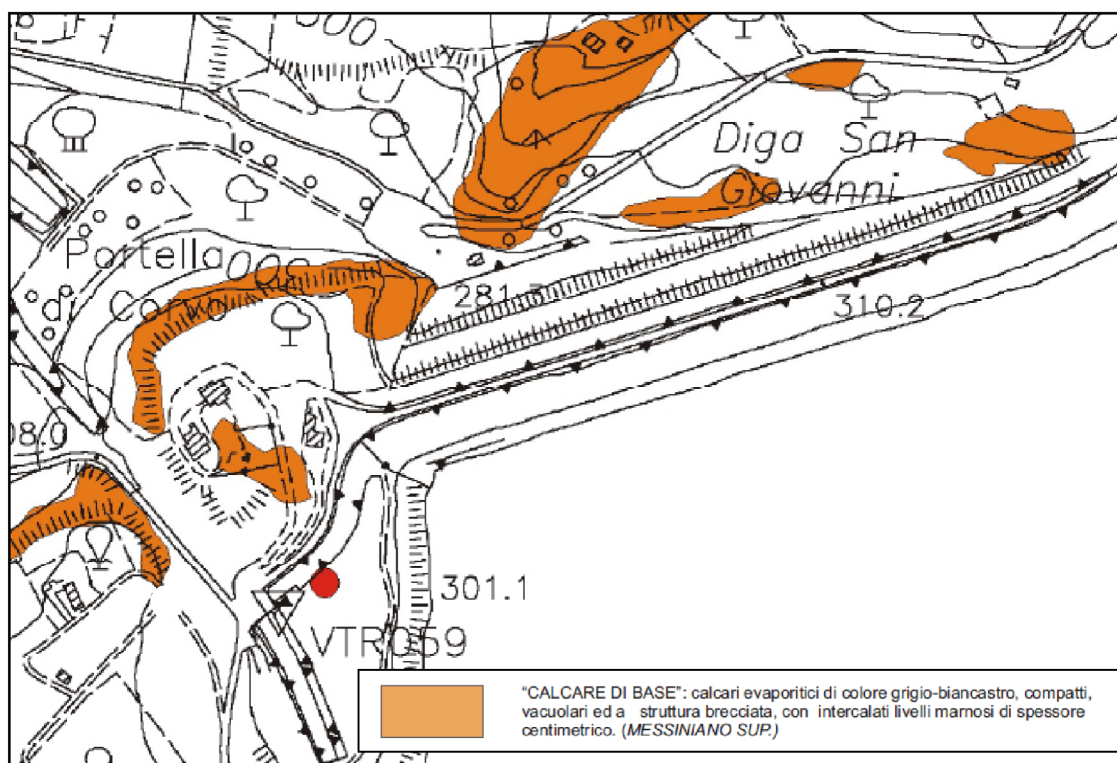


Fig. 11: carta geologica in scala 1:5000 tratta dalla Relazione geologica del Progetto di fattibilità

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

5.1 Precedenti indagini

Come accennato nei precedenti paragrafi, nell'anno 2005, l'E.S.A., precedente gestore dell'invaso, su specifica richiesta del Registro Italiano Dighe (R.I.D. e della commissione di collaudo ex art. 14 D.P.R. 1363/1959), ha condotto uno studio per l' "Accertamento delle condizioni della strada di collegamento fra il piazzale antistante lo sfioratore e il coronamento della diga", a causa dell'evoluzione del dissesto che aveva interessato la viabilità interna della diga, nel tratto di collegamento tra il piazzale d'ingresso e la casa di guardia e il coronamento della diga stessa.

A supporto di quello studio fu eseguito un pozzetto geognostico, con escavatore meccanico, spinto sino alla profondità di 4,00 dal piano stradale.

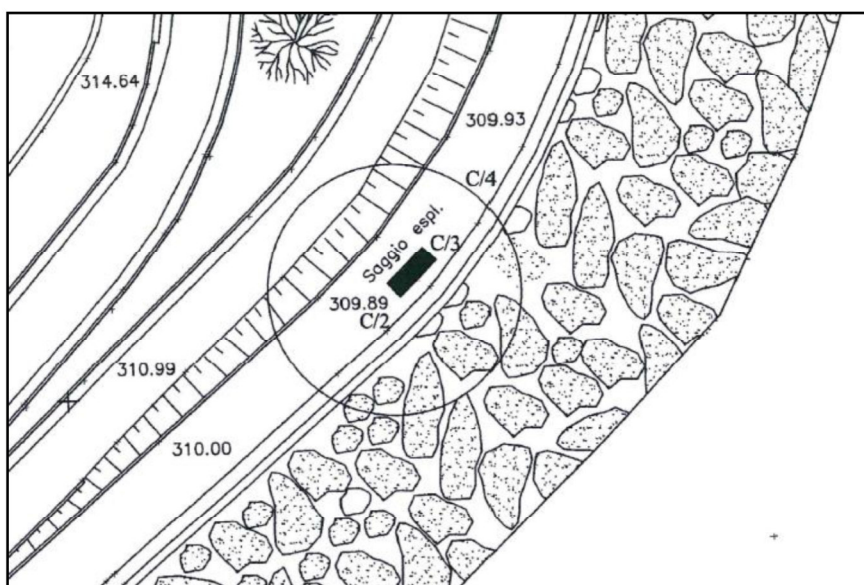


Fig. 12: localizzazione del pozzetto geognostico eseguito nel 2005 dall'E.S.A. tratta dalla documentazione posta a base di gara

La stratigrafia restituita negli atti della commissione di collaudo riporta testualmente:



Pozzetto del 2005

- 0,0 ÷ 0,2 - asfalto;
- 0,2 ÷ 1,0 - misto di cava calcarenitico di colore bruno rossastro (posto in opera a seguito di un intervento di bonifica nell'anno 1991);
- 1,0 ÷ 3,0 - materiale saturo d'acqua limo-argilloso biancastro con inclusi elementi calcarei di varie pezzature (probabile rifiuto di cava calcarea misto a detrito) e con pezzi di radici di piante;
- 3,0 ÷ 4,0 - argille gessose grigie con venature brune al tetto dello strato".

Si riporta in Fig. 13 la sezione geologica redatta dai tecnici della commissione di collaudo, estratta ancora una volta dalla documentazione posta a base di gara.

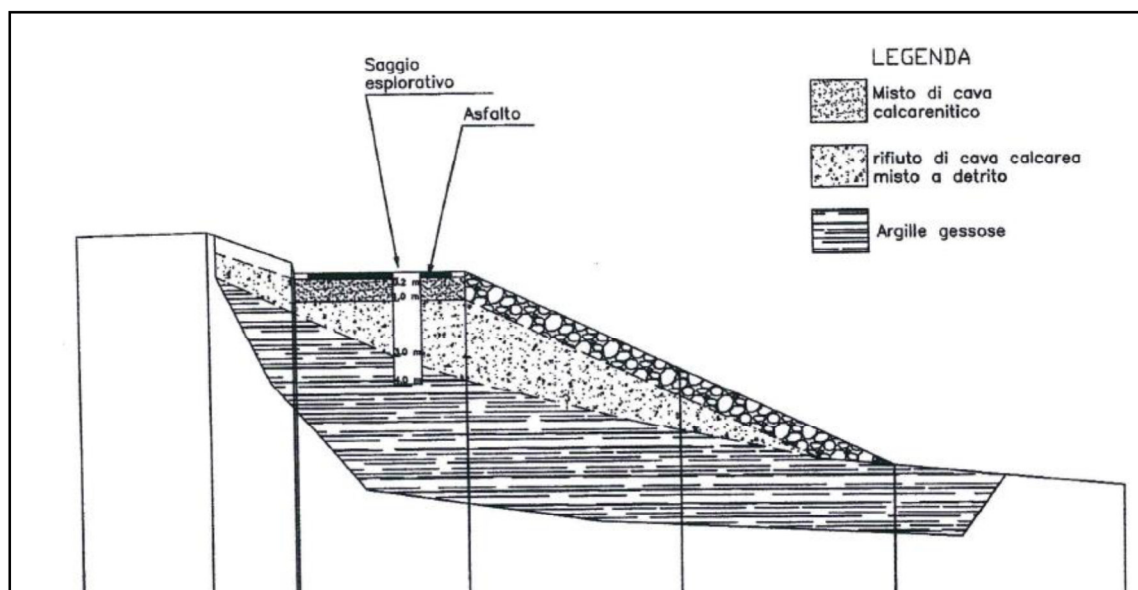


Fig. 13: sezione geologica ricavata dall'esecuzione del pozzetto geognostico del 2005

Anche i tecnici del Servizio 4 - Gestione infrastrutture per le Acque - del Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti, subentrato all'E.S.A. nella gestione della diga, hanno di recente inteso approfondire la conoscenza delle condizioni stratigrafiche dell'area, ma in questo caso di quelle al piede della scogliera in corrispondenza della zona interessata dal dissesto.

Probabilmente anch'essi non escludevano che il corpo stradale potesse essere coinvolto da uno scorrimento di tipo rotazionale, con una superficie di rottura, passante sotto la stessa strada, estesa sino ai fondali lacustri antistanti.

Approfittando del più basso livello del lago nella stagione estiva, hanno fatto eseguire un ulteriore pozzetto geognostico, che ha permesso di stabilire "se vi fosse continuità di substrato con quanto rilevato nel pozzetto posto in corrispondenza della strada" (rif. Tav. 4 - Inquadramento geologico di massima). Le stratigrafia che se ne ricava è la seguente:



0.00 – 0.60 copertura detritica a forte componente calcarea
 0.60 – 1.70 limi argillosi marroncini con venature bruno-rossastre
 1.70 – 2.20 argille limose grigio azzurre a struttura omogenea

Si riporta in *Fig. 14* uno schema geologico ricavato dal pozzetto geognostico, estratto ancora una volta dalla Tav. 4 del progetto di fattibilità tecnica ed economica.

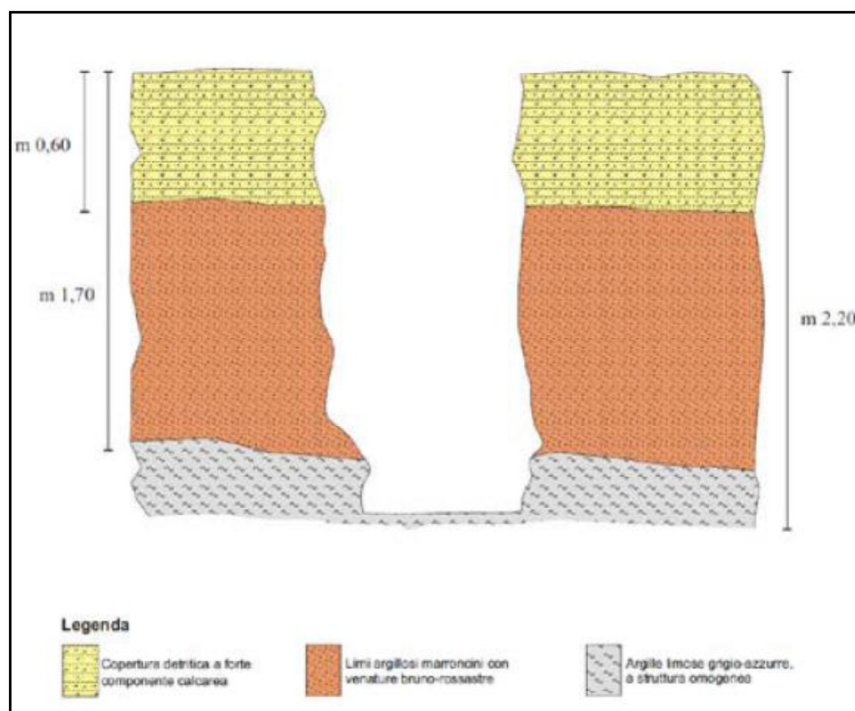


Fig. 14: schema geologico ricavato dal pozzetto geognostico tratto dalla Relazione geologica del Progetto di fattibilità

5.2 Sondaggi eseguiti in questo ambito

Per ricostruire in modo dettagliato la locale serie stratigrafica, definire gli spessori e le caratteristiche strutturali e giaciture dei terreni in posto e delle coperture e, non ultimo, procedere al prelievo di campioni di terreno da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio, è stata programmata e successivamente eseguita da CON.GEO. s.r.l., mandataria del RTP, una campagna geognostica mediante perforazioni meccaniche a rotazione e a carotaggio continuo, prove geotecniche di laboratorio e indagini geofisiche, queste ultime finalizzate all'acquisizione del parametro velocimetrico $V_{s,eq}$ (di cui si dirà al capitolo 7) in applicazione del Cap. 3 del D.M. 17.01.2018.

La campagna mediante perforazioni si è articolata in cinque sondaggi, denominati da *S1* a *S5* e riportati nelle *Figg. 14* e *15*, spinti a profondità variabile da m 5,00 a m 15,00 dalla superficie topografica, i quali hanno consentito ottenere importanti informazioni sulle principali caratteristiche geologiche dei terreni e di redigere le sezioni geologiche rappresentative dello stato dei luoghi, con riferimento ovviamente alle situazioni geomorfologiche precedentemente delineate.

Strada circumlacuale

Il sondaggio *S1* è stato eseguito nel tratto di strada circumlacuale prossima all'ingresso della diga interessata dall'evidente cedimento della sede viaria, mentre il sondaggio *S2* è stato eseguito in asse col primo, ma nella strada interna posta immediatamente a monte, separata da un dislivello di circa un metro.

RELAZIONE GEOLOGICA

Spinti entrambi a m 10,00 di profondità, hanno messo in luce la presenza, sopra un orizzonte di argille limose a diversa consistenza, di materiali di riempimento calcarenitici e calcareo-marnosi di m 4,30 di spessore in S1 e di materiali soltanto calcareo-marnosi di m 3,20 di spessore in S2.

E' molto probabile che la presenza dei materiali calcarenitici in S1 sia legata alle operazioni di "ricarica" del corpo stradale a seguito dei cedimenti pregressi.

Ad una profondità variabile tra m 5,00 e m 7,00 di profondità si ritrovano le argille azzurre di base.

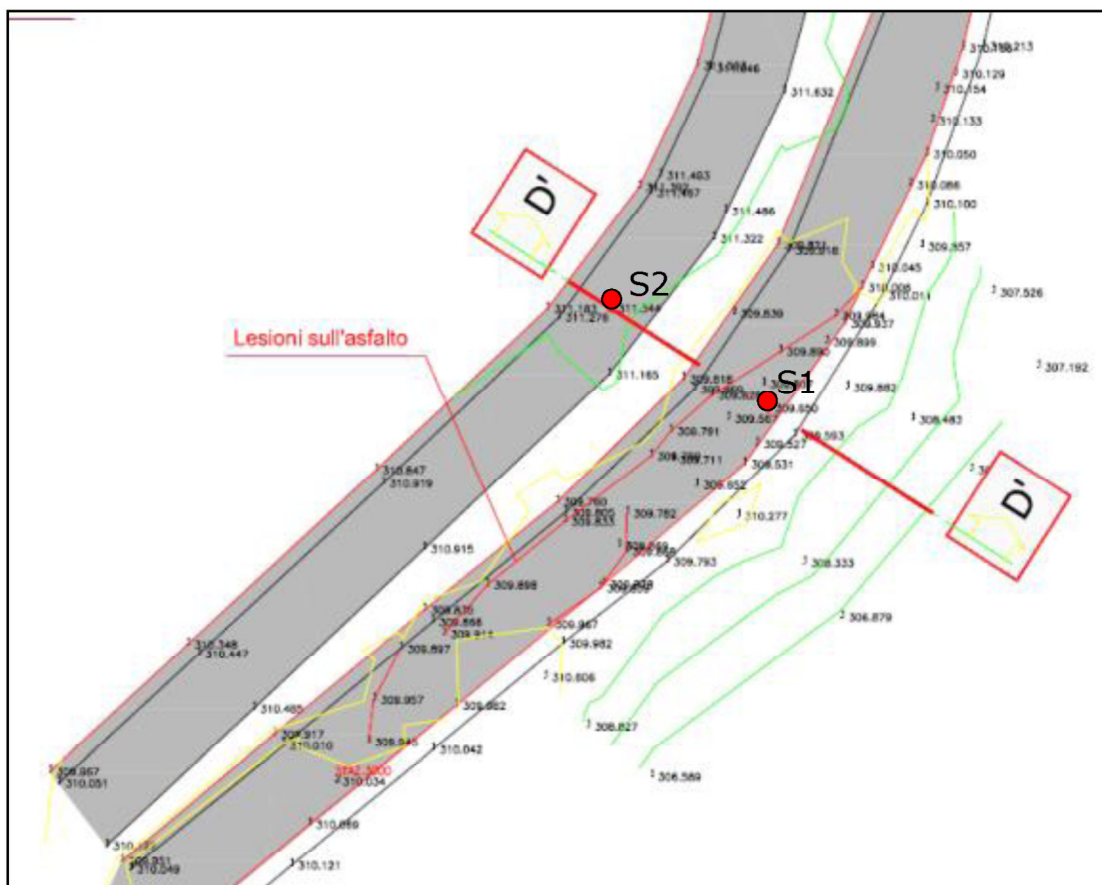


Fig. 15: localizzazione dei sondaggi S1 e S2

Casa di Guardia

Il sondaggio S5 è stato eseguito sulla strada che conduce alla della Casa di Guardia, immediatamente a ridosso del muro prossimo al ribaltamento e puntellato proprio per questo.

E' stato spinto sino alla profondità di m 15,00 dal piano stradale ed ha messo in evidenza la presenza di argille marnose biancastre con intercalazioni di marne e calcari marnosi sino alla profondità di m 5,80, cui seguono marne argillose con intercalazioni sempre più frequenti di calcari marnosi all'aumentare della profondità.

Versante a valle della casa di guardia

Il sondaggio S3 è stato eseguito a valle del versante interessato dalla frana superficiale, mentre il sondaggio S4 è stato eseguito, in asse con il precedente, sopra il ciglio superiore del versante stesso. Il dislivello tra i due sondaggi è di circa 10 metri.



RELAZIONE GEOLOGICA

Nessuno dei due sondaggi interessa direttamente il corpo di frana, che appare tuttavia, almeno sotto il profilo geometrico, sufficientemente definito.

Spinti uno sino a m 5,00 (S3) l'altro sino a m 10,00 di profondità, i due sondaggi hanno messo in luce la presenza, sopra un orizzonte di argille limose a diversa consistenza, di argille debolmente limose piuttosto rimaneggiate e alterate, in seno ai quali avviene il movimento gravitativo.

Le argille azzurre di base si rinvennero ad una profondità di soli m 1,80 nel sondaggio in testa S4 e di ben m 6,00 in quello in basso S3.

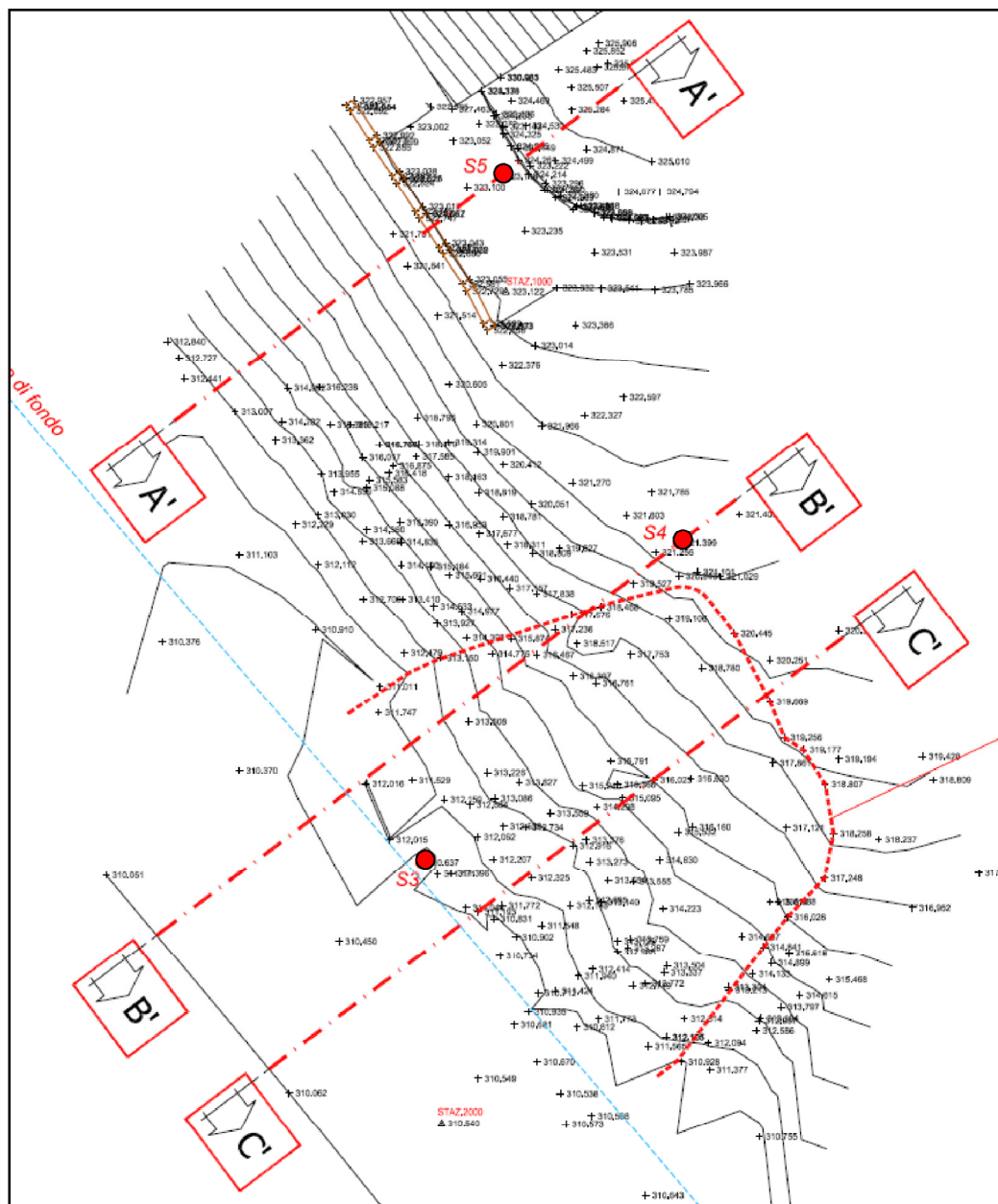


Fig. 16: localizzazione dei sondaggi S3, S4 e S5 – scala 1:500



RELAZIONE GEOLOGICA

Nei fori di sondaggio S1, S3 e S5 sono stati installati dei piezometri, mentre nei fori di sondaggio S2 ed S4 sono stati installati degli inclinometri, entrambi finalizzati al monitoraggio dei terreni dopo l'esecuzione delle opere.

In nessuno dei sondaggi è stata intercettata alcuna superficie piezometrica, ma d'altronde, come si dirà al prossimo capitolo, si tratta di terreni a permeabilità molto bassa, con un grado di permeabilità che può senz'altro definirsi trascurabile.

Anche le misure dei livelli nei piezometri eseguite nei giorni immediatamente successivi all'esecuzione dei sondaggi non hanno indicato alcuna presenza d'acqua, ma va evidenziato che queste prime misurazioni sono state eseguite in un periodo di assenza di precipitazioni meteoriche. E' molto probabile che in corrispondenza di eventi piovosi anche non particolarmente intensi si possano invece instaurare dei livelli freatici.

Le colonne litostratigrafiche dei sondaggi meccanici, insieme ai dettagli sulle tecniche di perforazione adottate e sulle attrezzature utilizzate, sono riportate nella allegata relazione di cantiere fornita dalla ditta. Nelle schede di cui alle *Figg. 17, 18, 19, 20 e 21* sono sinteticamente riportate la colonna stratigrafica di ciascun sondaggio ed un piccolo report fotografico relativo al posizionamento della trivella e alle cassette catalogatrici.

Nelle successive *Fig. 22, 23 e 24* sono infine riportate le sezioni geologiche relative alle sezioni di progetto A-A', B-B' e D-D', rappresentative delle tre situazioni di criticità geomorfologica riscontrate.



RELAZIONE GEOLOGICA

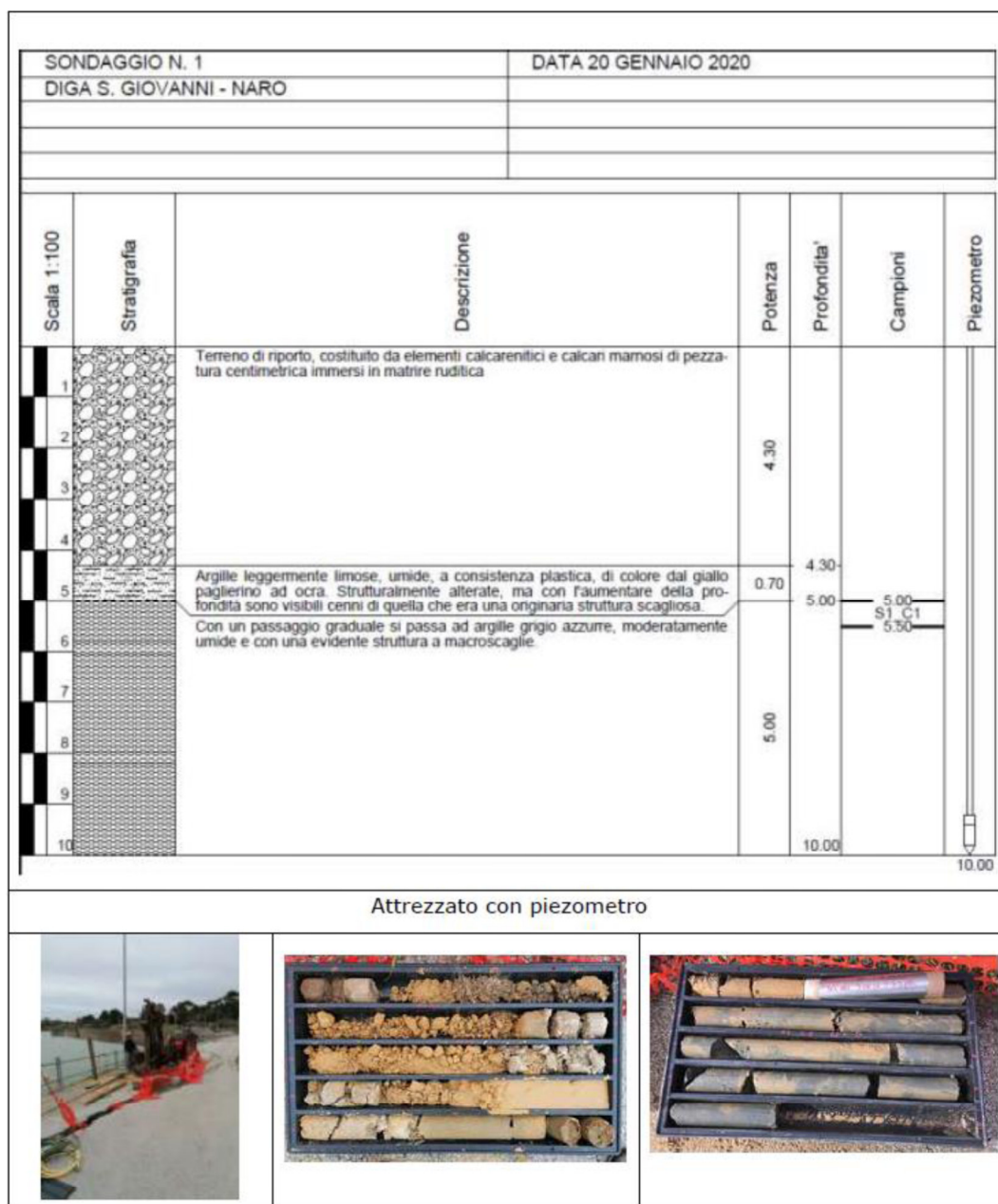


Fig. 17: scheda sondaggio S1



RELAZIONE GEOLOGICA

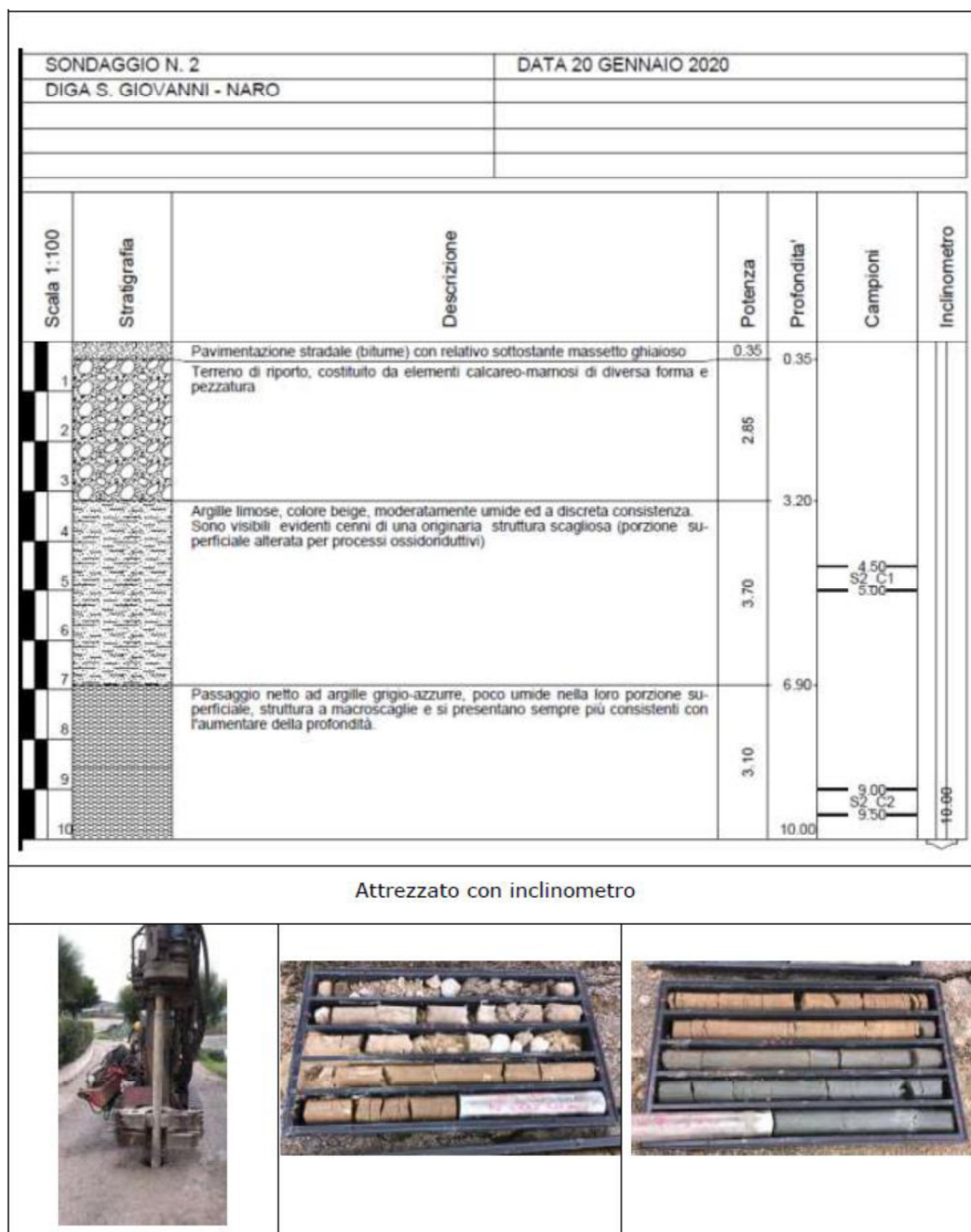


Fig. 18: scheda sondaggio S2



RELAZIONE GEOLOGICA



Fig. 19: scheda sondaggio S3



RELAZIONE GEOLOGICA

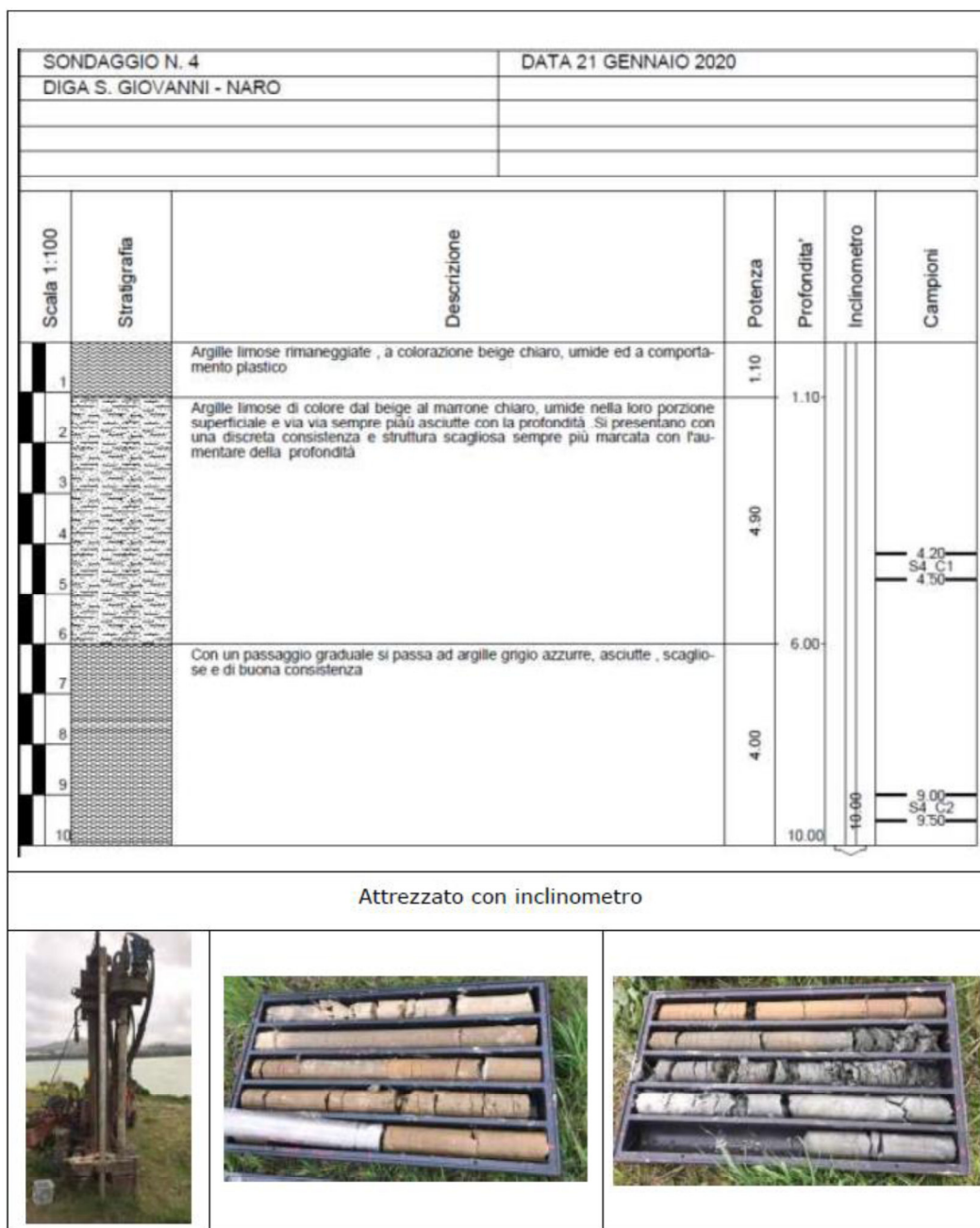


Fig. 20: scheda sondaggio S4



RELAZIONE GEOLOGICA

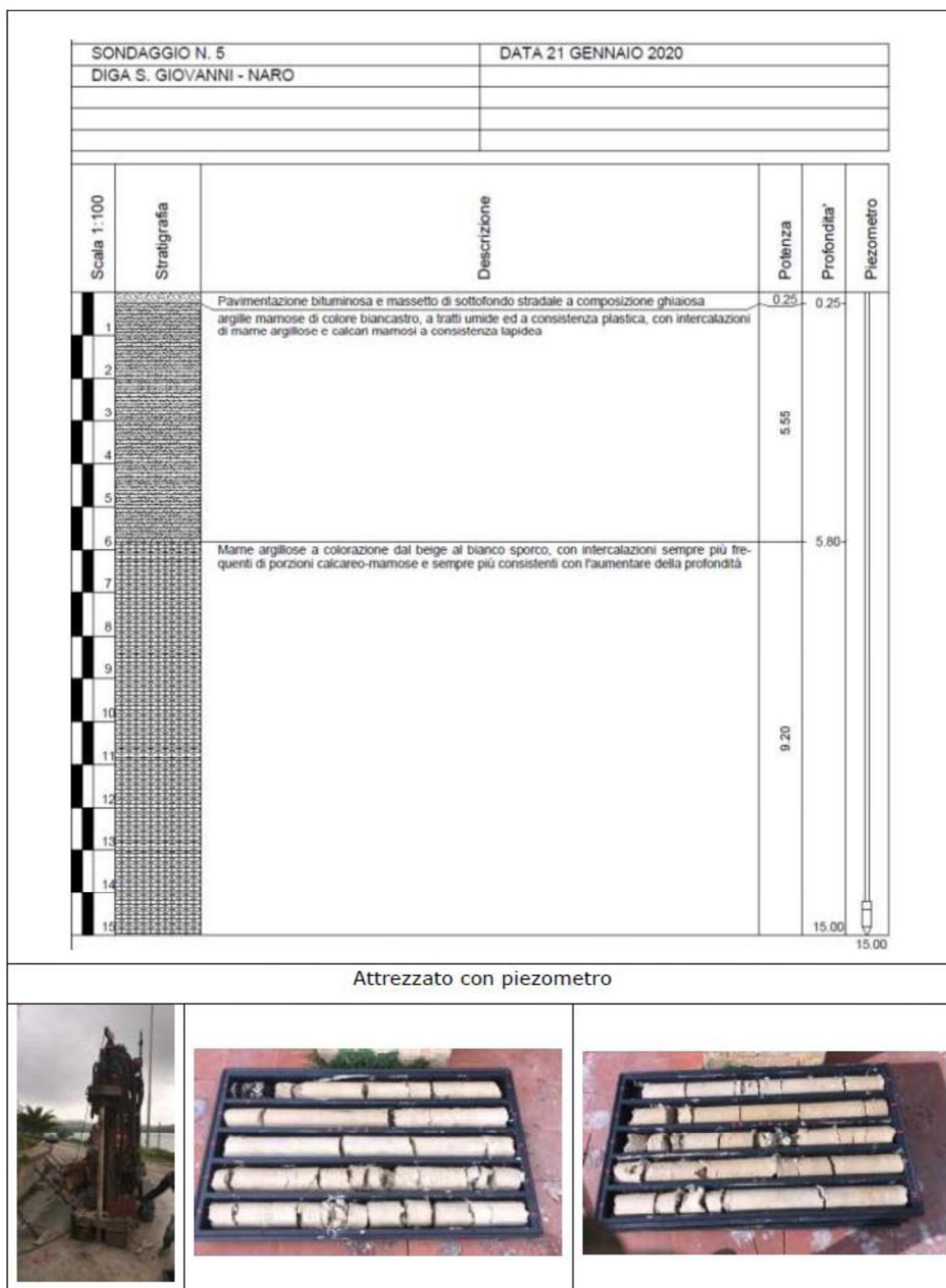
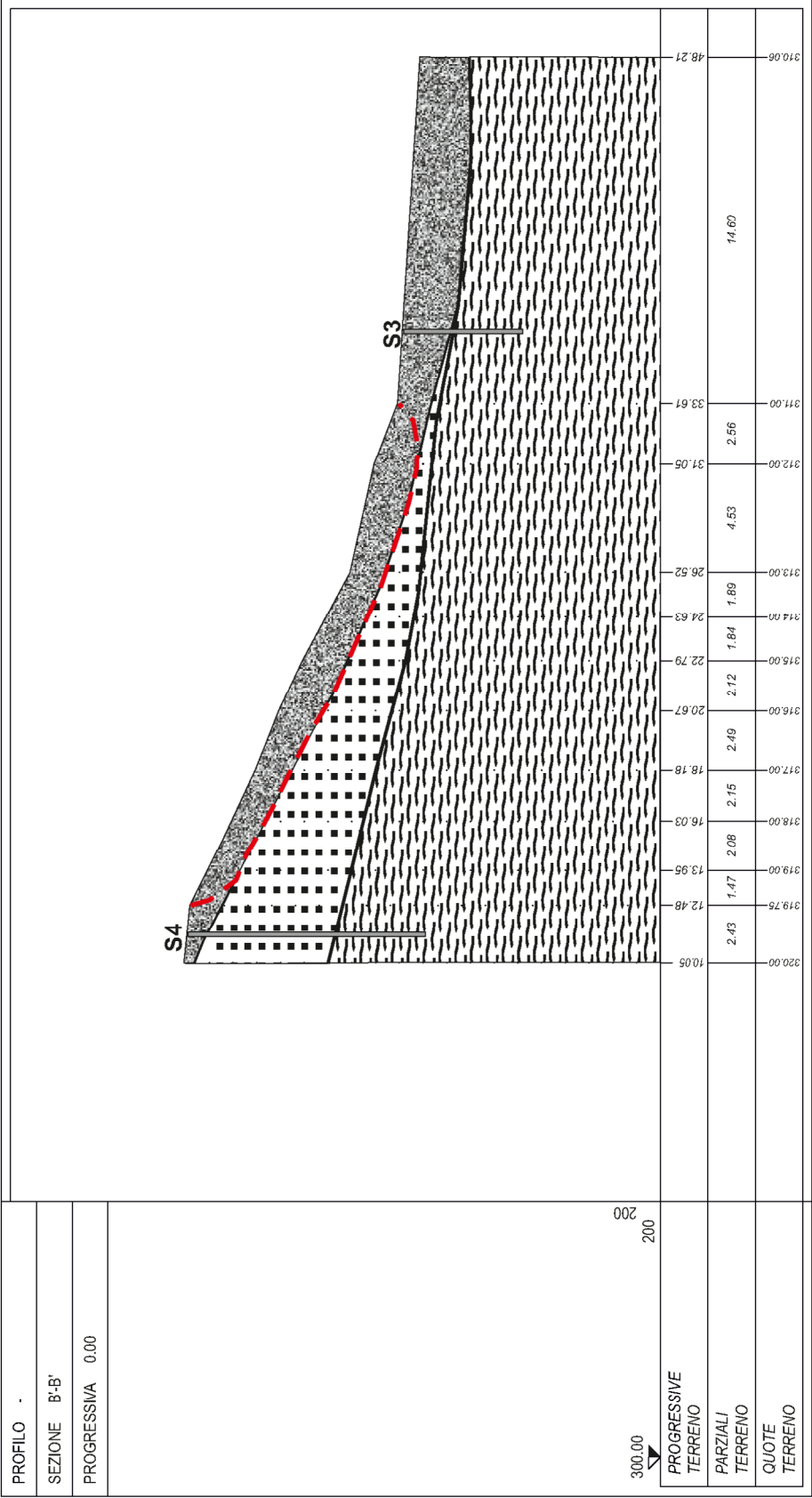
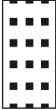


Fig. 21: scheda sondaggio S5

Sez. B-B



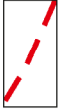
Argille debolmente limose rimaneggiate alterate



Argille limose con accennate strutture scagliose



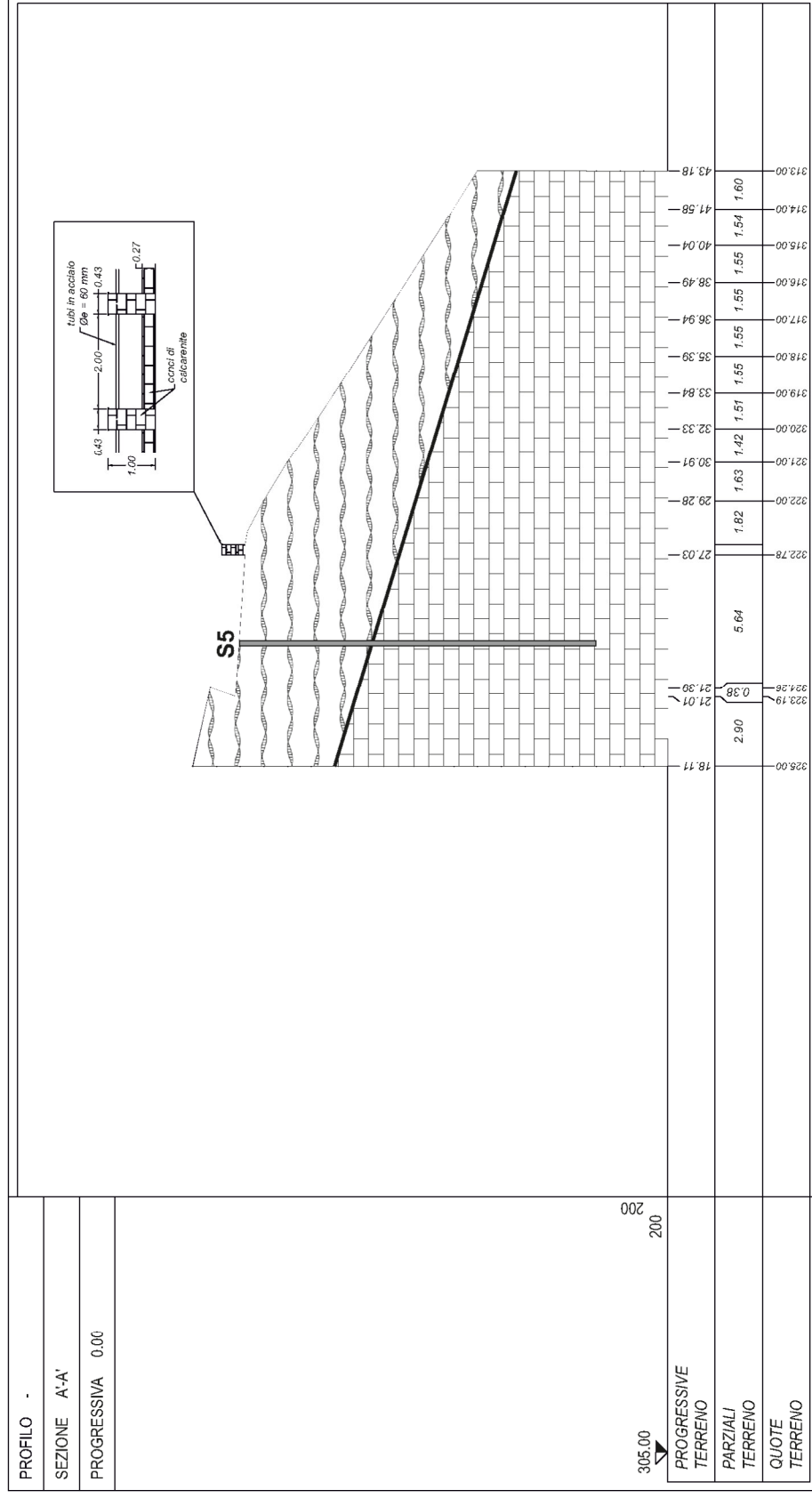
Argille azzurre di base



Superficie di scivolamento

Scala 1:200

Sez. A-A





6. CARATTERI IDROGEOLOGICI

6.1 Caratteri generali

Nel settore studiato i complessi dei depositi evaporitici e marnoso-calcarei (Messiniano-Pliocene inf.), che formano i bacini di Castelvetro e Caltanissetta, si trovano in complicati rapporti geometrici con le unità calcaree dei domini sicani e saccensi. I litotipi che li compongono, appartenenti ai cicli sedimentari dei depositi terrigeni e carbonatici tardorogeni del Miocene superiore e dei depositi evaporitici e carbonatico-marnosi messiniani e pliocenici, costituiscono una sequenza di complessi idrologici di scarsa o bassissima permeabilità.

Gli unici litotipi permeabili per fratturazione e carsismo, sono costituiti dai calcari vacuolari o dai gessi della "Serie Gessoso- Solfifera".

Nell'insieme tutte le formazioni appartenenti a questi complessi sono smembrate tettonicamente e ciò giustifica la grande distribuzione spaziale delle manifestazioni sorgentizie di modestissima entità.

Nel comprensorio su cui insiste la diga San Giovanni, il comportamento idrogeologico complessivo è connesso alla presenza dei calcari evaporitici massivi (calcare di base) caratterizzati da una elevata permeabilità, che poggiano sui depositi argillo-sabbiosi e marnosi tortoniani, che costituiscono il substrato profondo, caratterizzati da una permeabilità molto bassa.

Si riconoscono alcune aree particolarmente interessanti dal punto di vista idrogeologico, per effetto di questo assetto litologico e strutturale, anche se in ogni caso, per effetto della loro estensione comunque limitata, rivestono esclusivamente una valenza di tipo locale: queste condizioni si verificano frequentemente in corrispondenza di aree sinclinali impostate sui termini lapidei evaporitici (calcari e gessi) generalmente molto permeabili per fessurazione e carsismo, poggianti sul substrato argilloso tortoniano.

Sono presenti alcune importanti idrostrutture impostate nei calcari evaporitici, all'interno dei quali sono localizzate falde freatiche di un certo rilievo a livello locale: è il caso della zona di Margio Vitale (comprensorio Castrolibero – Canicattì - Naro), dove insistono nel sottosuolo importanti risorse idriche, fondamentali per l'economia agricola locale.

6.2 L'area della diga

Nelle aree strettamente interessate dagli interventi progettuali, la porzione prettamente argillosa dei depositi argillo-sabbiosi tortoniani rilevati in affioramento è caratterizzata, dal punto di vista idrogeologico, da una permeabilità molto bassa, con un grado di permeabilità che può senz'altro definirsi trascurabile. Seppure sia caratterizzata da una porosità elevata, la tessitura argillosa si contraddistingue allo stesso tempo per la sua permeabilità sostanzialmente irrilevante e dunque per una capacità di drenaggio bassissima, se non addirittura nulla: è noto infatti che per granulometrie come quelle delle argille e dei limi, la capacità di drenaggio è sostanzialmente povera.

I modestissimi orizzonti a maggiore percentuale sabbiosa che talvolta si rinvennero in seno al deposito argilloso costituiscono soltanto dei livelli a maggiore permeabilità, ma non sono in grado di modificare il complessivo comportamento idraulico della formazione.

Si tratta in pratica di terreni nei quali, nelle condizioni naturali di pressione, le acque sotterranee si spostano con velocità estremamente basse per l'assenza di meati sufficientemente ampi.



RELAZIONE GEOLOGICA

Una maggiore permeabilità si riscontra tuttavia nelle porzioni superficiali alterate delle stesse argille, laddove un assetto più caotico dei grani consente alle acque meteoriche di infiltrarsi, rendendole capaci di trattenere una discreta quantità d'acqua, tanto che in certe condizioni meteorologiche possono giungere a saturazione, a discapito delle proprie caratteristiche di resistenza al taglio.

Nella tabella di *Casagrande e Fadum* che si riporta in Fig. 25, sono indicati, in termini puramente qualitativi, i diversi valori del coefficiente di permeabilità K in funzione della granulometria: è evidente che le sabbie e le granulometrie superiori sono caratterizzate da una buona capacità di drenaggio, che tende a diminuire in funzione della differente presenza delle frazioni più fini.

k cm/sec	10 ²	10 ¹	1	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
drenaggio	buono						povero			praticamente impermeabile			
	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscela di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fina, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici				
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione o del tempo							

Fig. 25: tabella di Casagrande e Fadum

I calcari di base che costituiscono i rilievi collinari localizzati nell'area di progetto, intercettati peraltro nel sondaggio geognostico S5, possiedono invece una maggiore permeabilità.

Si tratta infatti di rocce fratturate, capaci di veicolare verso gli orizzonti più profondi le acque di infiltrazione e di consentire quindi una buona capacità di assorbimento.

Una discreta circolazione delle acque di infiltrazione è garantita dalle frequenti discontinuità, collegate alla fratturazione originatasi dalle deformazioni tettoniche, che implicano valori di permeabilità generalmente elevati in relazione alla distribuzione delle discontinuità stesse.

Anche se la permeabilità complessiva è spesso limitata dalla presenza di orizzonti limosi e/o argillosi, che ne riducono la capacità di drenaggio, i calcari evaporitici possono comunque considerarsi a permeabilità medio-alta.

La generale capacità di trasmissione delle acque sotterranee all'interno della roccia non si traduce però, almeno per l'area di stretto interesse progettuale, nell'esistenza nel sottosuolo di vere e proprie falde acquifere, ma soltanto di locali orizzonti saturi, di modesta produttività.

Nei sondaggi eseguiti, neanche nel sondaggio S5 in seno alla formazione calcarea, è stata riscontrata d'altronde la presenza di livelli freatici, fatta eccezione per qualche modesto orizzonte a maggior grado di saturazione.



7. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA ATTESA

7.1 Storia sismica dell'area

Dall'elaborazione statistica della distribuzione e delle intensità degli eventi sismici registrati, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha prodotto la carta della pericolosità sismica nazionale, dalla quale in Fig. 26 è estratta la parte rappresentativa della Sicilia.

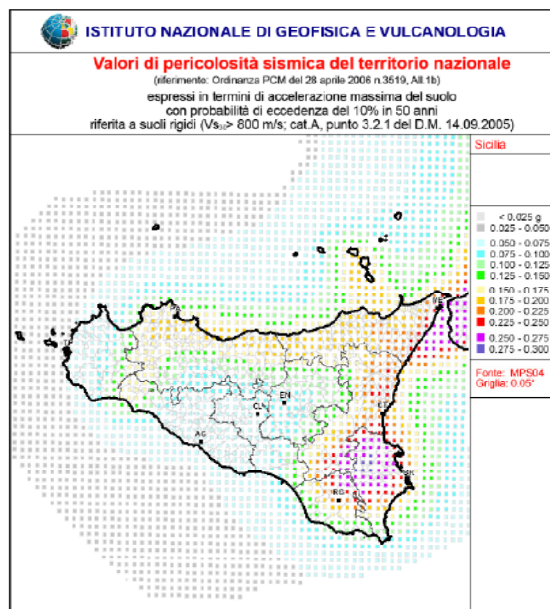


Fig. 26: carta della pericolosità sismica della Sicilia (fonte INGV)

Nello specifico, il territorio di Naro è stato classificato quale appartenente alla classe sismica 4, ovvero “Zona con pericolosità sismica molto bassa”, quindi una zona complessivamente meno pericolosa in cui i terremoti sono piuttosto rari.

La ricerca storica degli eventi sismici ha infatti evidenziato che il settore maggiormente colpito della Sicilia è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal basso Tirreno al Canale di Sicilia, e dal settore della Valle del Belice già in passato oggetto di violenti eventi sismici, mentre il settore centro meridionale, soprattutto quello ad Est di Agrigento risulta meno coinvolto.

Da una ricerca compiuta sul sito web del Servizio Sismico Nazionale sui terremoti storici che hanno interessato l'area di Agrigento, si rileva che l'unico evento significativo è quello che colpì la Valle del Belice nel 1968 (Intensità Sismica 50 MCS).

Andando più indietro nel tempo si cita anche il terremoto della Val di Noto del 9-11 gennaio 1693 che portò ingenti danni ad alcune decine di paesi ad Ovest dell'epicentro, compresi tra questo e la cittadina di Naro, che non subì particolari conseguenze (la popolazione vi riconobbe la protezione del suo patrono San Calogero, tanto che ogni anno l'11 gennaio si ricorda ancora questo evento con una processione).

Andando infine ai fenomeni in assoluto più recenti, si rilevano gli eventi sismici che hanno riguardato anche nel 2020 l'area delle Madonie (tra 2,1 e 2,6 Richter), con epicentri localizzati a distanze intorno ai 70 km rispetto all'area della diga.



RELAZIONE GEOLOGICA

7.2 Definizione della pericolosità sismica di base

Con le NTC 2018 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s,eq} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio che deve essere necessariamente “sito specifico”.

Definite le coordinate del sito di progetto, questo sarà compreso tra 4 punti della griglia di accelerazioni (Allegato B delle NTC 2018), tramite media pesata utilizzando la formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame;

p_i = valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i = distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Si otterranno così i parametri spettrali $P(ag, Fo, T^*c)$:

ag = accelerazione massima orizzontale attesa sul sito rigido specifico di interesse

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione nello spettro in accelerazione con componente orizzontale

T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante nello spettro in accelerazione orizzontale

Tali parametri descrivono i caratteri del moto sismico orizzontale sul sito di riferimento rigido, le cui grandezze definiscono le forme spettrali relative alla particolare PVR.

Nel caso specifico, sulla base dell'indagine geosismica condotta, i terreni di fondazione delle strutture di consolidamento da realizzare in seno alle argille tortoniane sono ascrivibili, come si vedrà nel dettaglio al successivo paragrafo 7.3, alle categorie di terreno "B" e "C".

7.3 Caratteristiche della superficie topografica

I tre interventi da eseguire presso la diga sono localizzati su settori a diversa morfologia.

L'area relativa alla strada circumlacuale è caratterizzata da una morfologia blanda, con pendenza medie inferiori ai 15° , per cui, ai sensi della tabella 3.2.III del D.M. 18.01.2018, gli va assegnata la categoria topografica $T1$ – *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore ai 15°* .

All'area prossima alla Casa di Guardia e al settore interessato dal movimento franoso, entrambi su versanti di pendenza media superiore ai 15° , va invece assegnata la categoria topografica $T2$ - *Pendii con inclinazione media maggiore di 15°* .

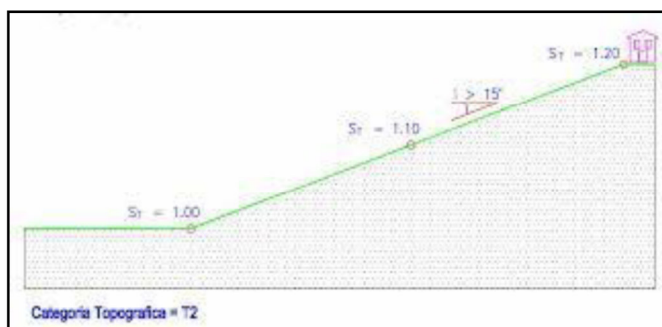


RELAZIONE GEOLOGICA

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

In considerazione del posizionamento delle strutture di consolidamento della frana in testa al pendio, alla categoria topografica T2 corrisponde un coefficiente topografico S_T pari a 1,20.



7.4 Definizione dell'azione sismica di riferimento

Per il dimensionamento strutturale delle opere previste si impongono, ai sensi della vigente normativa sulle costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, gli incrementi dovuti al sisma e dunque la definizione dell'azione sismica di progetto. Per il territorio siciliano la nuova classificazione sismica ha comportato, oltre ad un complessivo aumento delle zone sismiche di 1° livello, tutte ristrette nel settore della Valle del Belice e in Provincia di Messina, alla scomparsa delle zone non classificate che divengono di 4° livello, con facoltà della Regione di applicare eventuali norme tecniche specifiche.

Sempre con riferimento alla normativa sulle costruzioni, si è individuata la categoria del profilo stratigrafico del terreno presente nel sito indagato, tra le cinque previste all'art. 3.2.1 dello stesso decreto.

CLASSIFICAZIONE DEL TIPO DI SUOLO SECONDO LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
 (D.M. 17-01-2018):
 Categorie di Suolo - Descrizione geotecnica V_s, eq (m/s) §3.2.2

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


RELAZIONE GEOLOGICA

Il valore di $V_{s,eq}$ è la velocità equivalente delle onde di taglio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde S di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri sotto il piano di imposta delle fondazioni superficiali.



Per definire questo parametro velocimetrico in maniera sperimentale ci si è avvalsi dell'indagine sismica mediante sondaggi tromografici (HVSr).

Il metodo HVSr consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

L'utilizzo del metodo HVSr consente di ottenere stime affidabili delle principali frequenze di risonanza dei sottosuoli, che possono essere convertite in stratigrafia.

Sul sito di cui in oggetto sono state eseguite n. 5 acquisizioni sismiche HVSr, i cui risultati sono stati sinteticamente riportati nella scheda di Fig. 28.

Come si può osservare i valori delle velocità equivalenti $V_{s,eq}$ sono risultate non particolarmente elevate, quasi sempre prossimi ai 300 m/sec, tranne che nell'ultima acquisizione, in prossimità del sondaggio S5, a ridosso dunque del muro dissestato presso la Casa di Guardia, dove il valore $V_{s,eq}$ è risultato pari a 420 m/s.

Ubicazione sondaggio	Stratigrafia	Vs,eq	Cat.																		
<div></div> <div>In corrispondenza di S1 sulla strada circumlacuale</div>	<table><thead><tr><th>Profondità alla base dello strato [m]</th><th>Spessore [m]</th><th>Vs [m/s]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.00</td><td>1.00</td><td>120</td></tr><tr><td>3.50</td><td>2.50</td><td>200</td></tr><tr><td>23.50</td><td>20.00</td><td>300</td></tr><tr><td>80.50</td><td>57.00</td><td>500</td></tr><tr><td>inf.</td><td>inf.</td><td>810</td></tr></tbody></table>	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	1.00	1.00	120	3.50	2.50	200	23.50	20.00	300	80.50	57.00	500	inf.	inf.	810	299 m/s	"C"
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]																			
1.00	1.00	120																			
3.50	2.50	200																			
23.50	20.00	300																			
80.50	57.00	500																			
inf.	inf.	810																			
<div></div> <div>A monte della strada circumlacuale</div>	<table><thead><tr><th>Profondità alla base dello strato [m]</th><th>Spessore [m]</th><th>Vs [m/s]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.10</td><td>1.10</td><td>135</td></tr><tr><td>4.10</td><td>3.00</td><td>235</td></tr><tr><td>21.40</td><td>17.30</td><td>310</td></tr><tr><td>78.40</td><td>57.00</td><td>500</td></tr><tr><td>inf.</td><td>inf.</td><td>700</td></tr></tbody></table>	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	1.10	1.10	135	4.10	3.00	235	21.40	17.30	310	78.40	57.00	500	inf.	inf.	700	319 m/s	"C"
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]																			
1.10	1.10	135																			
4.10	3.00	235																			
21.40	17.30	310																			
78.40	57.00	500																			
inf.	inf.	700																			

RELAZIONE GEOLOGICA




	<table><tr><th>Profondità alla base dello strato [m]</th><th>Spessore [m]</th><th>Vs [m/s]</th></tr><tr><td>1.00</td><td>1.00</td><td>120</td></tr><tr><td>5.00</td><td>4.00</td><td>210</td></tr><tr><td>32.00</td><td>27.00</td><td>350</td></tr><tr><td>inf.</td><td>inf.</td><td>665</td></tr></table>	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	1.00	1.00	120	5.00	4.00	210	32.00	27.00	350	inf.	inf.	665	304 m/s	"C"			
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]																			
1.00	1.00	120																			
5.00	4.00	210																			
32.00	27.00	350																			
inf.	inf.	665																			
	<table><tr><th>Profondità alla base dello strato [m]</th><th>Spessore [m]</th><th>Vs [m/s]</th></tr><tr><td>1.40</td><td>1.40</td><td>145</td></tr><tr><td>6.40</td><td>5.00</td><td>260</td></tr><tr><td>46.40</td><td>40.00</td><td>445</td></tr><tr><td>inf.</td><td>inf.</td><td>860</td></tr></table>	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	1.40	1.40	145	6.40	5.00	260	46.40	40.00	445	inf.	inf.	860	366 m/sec	"B"			
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]																			
1.40	1.40	145																			
6.40	5.00	260																			
46.40	40.00	445																			
inf.	inf.	860																			
	<table><tr><th>Profondità alla base dello strato [m]</th><th>Spessore [m]</th><th>Vs [m/s]</th></tr><tr><td>1.20</td><td>1.20</td><td>145</td></tr><tr><td>4.40</td><td>3.20</td><td>240</td></tr><tr><td>22.40</td><td>18.00</td><td>468</td></tr><tr><td>67.40</td><td>45.00</td><td>670</td></tr><tr><td>inf.</td><td>inf.</td><td>1100</td></tr></table>	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	1.20	1.20	145	4.40	3.20	240	22.40	18.00	468	67.40	45.00	670	inf.	inf.	1100	420 m/s	"B"
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]																			
1.20	1.20	145																			
4.40	3.20	240																			
22.40	18.00	468																			
67.40	45.00	670																			
inf.	inf.	1100																			

Fig. 27: scheda riassuntiva delle cinque acquisizioni sismiche eseguite

Ne deriva dunque che le categorie di terreni di fondazione cui fare riferimento, secondo le norme tecniche per le costruzioni, sono la "C" per le opere interagenti con i terreni argillosi (*Depositi di 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) e la "B" per quelle interagenti con i terreni marnosi e calcareo-marnosi (*Rocce tenere* caratterizzate da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

8. INDICAZIONI PROGETTUALI

Gli approfondimenti geologici condotti in questa sede, insieme all'analisi critica dei numerosi dati a disposizione relativi agli studi precedenti condotti sulla stessa area, hanno condotto ad una buona definizione del modello geologico e soprattutto ad una definizione geomorfologica dell'area di competenza.

Strada circumlacuale

L'analisi geomorfologica del dissesto ha permesso di distinguere una superficie di dissesto di forma arcuata che interseca la sede stradale circumlacuale in prossimità del cancello d'ingresso alla

diga, che sembra potersi ricondurre ai lunghi processi di consolidazione dei materiali che costituiscono il corpo stradale.

L'evoluzione del movimento interessa i terreni immediatamente a monte della strada, richiamati dal progressivo abbassamento del corpo stradale, mentre quelli a valle non sembrano coinvolti, a conferma che i materiali mobilizzati sono soltanto quelli che costituiscono il rilevato stradale. Non sembrano coinvolti neanche i blocchi rocciosi che formano la scogliera antistante e in definitiva al momento sembra essere assente qualunque forma di accumulo al piede.

La mobilizzazione della massa di terra detritica si configura in tutto il suo spessore, sino al tetto della formazione argillosa di base. Lo spessore dei terreni interessati è di m 3,50 sulla verticale della strada.

Gli interventi di tipo profondo sono sostanzialmente riconducibili all'esecuzione di una paratia di pali in cemento armato, trivellati, gettati in opera, di mm 600 di diametro, da ammorsare nel substrato argilloso a partire dalla base dell'attuale cavidotto che sarà demolito per essere ricostruito alla testa dei pali.

L'instaurarsi di una seppur debole e temporanea circolazione idrica al tetto delle argille, dunque in seno ai materiali costituenti il rilevato, obbliga alla scelta di un adeguato interasse tra i singoli pali che scongiuri l'instaurarsi di rilevanti pressioni neutre.

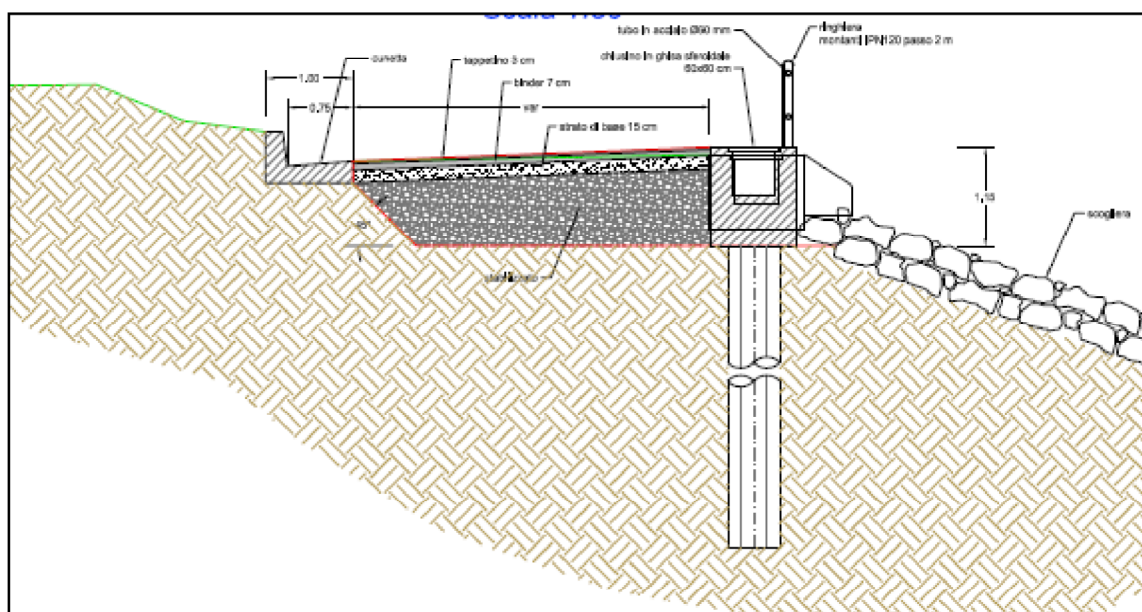


Fig. 28: sezione tipo relativa all'intervento di realizzazione di una paratia di pali (scala 1:100)

Casa di Guardia

L'analisi geomorfologica del dissesto che investe, provocandone la rotazione, il muro di contenimento in cemento debolmente armato nell'area limitrofa alla Casa di Guardia riconduce il fenomeno alla spinta attiva dei terreni retrostanti su un muro, che, sotto il profilo strutturale, non è in grado di contrastarla.

In questo caso si è previsto un semplice intervento di completa ricostruzione del muro, che sarà realizzato in cemento armato e dotato di una fondazione diretta di adeguata larghezza, che invece

manca del tutto in quello attuale.

La fondazione sarà appoggiata sulle argille marnose biancaste, sotto gli orizzonti alterati di superficie.

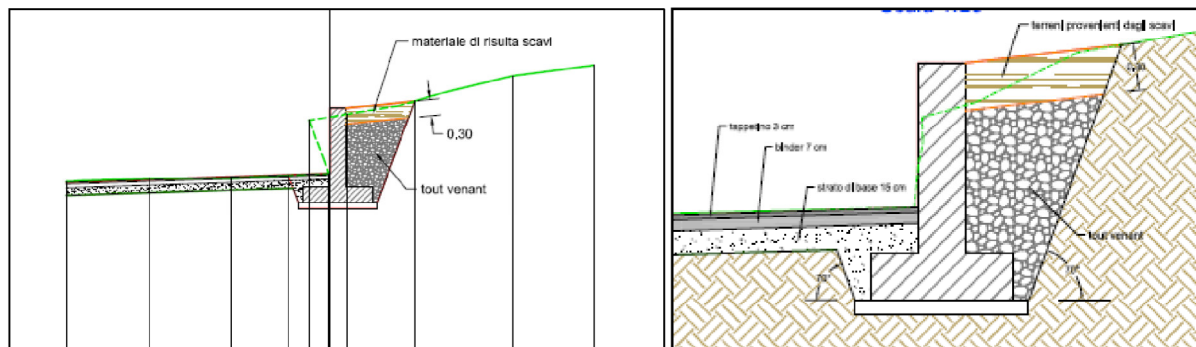


Fig. 29: sezione tipo relativa all'intervento di ricostruzione del muro (a sx) e particolare (a dx) - fuori scala

Versante a valle della Casa di Guardia

Alla situazione di criticità rilevata sul versante a valle della casa di guardia è connesso il dilavamento delle acque meteoriche, che si scaricano diffusamente e disordinatamente sullo stesso versante, portando a saturazione le coltri argillose alterate e alla loro conseguente mobilitazione.

Si è quindi previsto un intervento di consolidamento al piede, con la realizzazione di gabbioni metallici riempiti di pietrame inerte, riprofilando il versante a monte dei gabbioni con un angolo di pendenza di circa 15°.

La base dei gabbioni sarà ammorsata sulle argille debolmente limose a m 1,20 di profondità, superando così l'orizzonte di argille rimaneggiate, e sarà posta ad 2 metri di distanza dall'estradosso della galleria di scarico della diga.

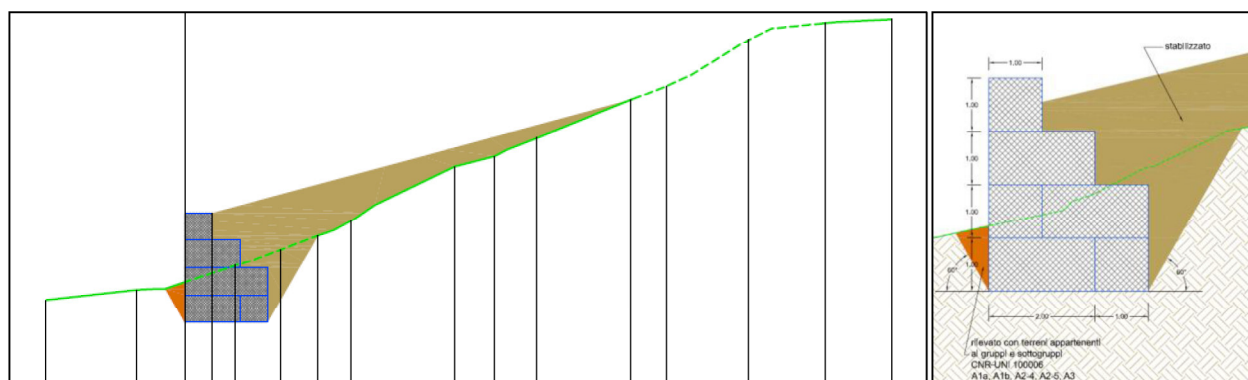


Fig. 30: sezione tipo relativa all'intervento di consolidamento del versante (a sx) e particolare della gabbionata (a dx)

Realizzazione della pista provvisoria

Agli interventi nelle aree caratterizzate da criticità geomorfologiche, si aggiunge la realizzazione della pista provvisoria, che tuttavia interessa un settore interno di debole pendenza e dunque di generale stabilità.

In questo caso si prevede semplicemente la realizzazione di un corpo stradale, parte a mezzacosta, parte in rilevato.



RELAZIONE GEOLOGICA

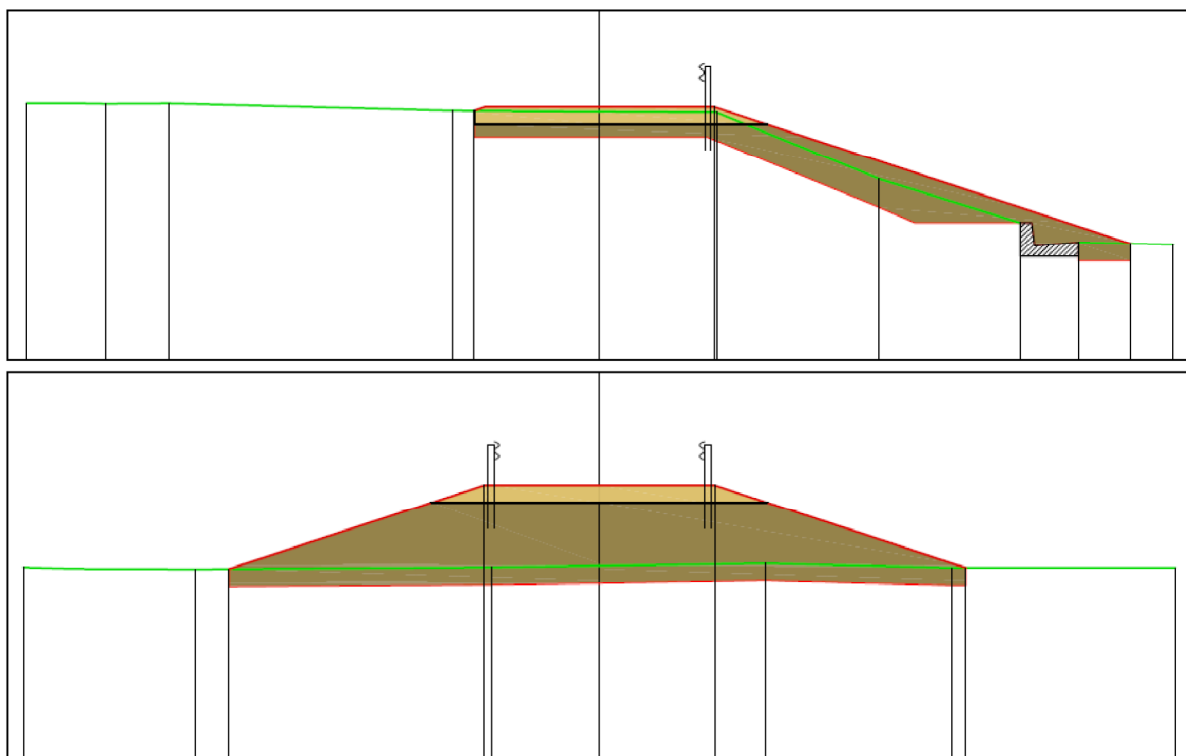


Fig. 31: sezioni tipo relativa all'intervento di realizzazione di una pista provvisoria

9. CONCLUSIONI

Lo studio svolto ha portato ad una definizione di dettaglio del modello geologico dell'area di progetto, ossia alla conoscenza di quegli elementi di ordine geologico necessari alla verifica della realizzabilità dell'opere previste e alla scelta delle più opportune soluzioni progettuali.

Tutti i fattori di conoscenza provenienti dalle ricognizioni di superficie, dall'acquisizione di studi specialistici precedenti, nonché da una specifica campagna di approfondimenti geognostici e geofisici, sono stati criticamente analizzati e illustrati allo scopo di fornire un quadro geologico il più possibile definito rispetto alle necessità dei livelli di progettazione definitiva ed esecutiva.

Sono stati condotti tutti gli "approfondimenti" ritenuti necessari, producendo una mappatura di dettaglio delle criticità geomorfologiche presenti, la descrizione delle tipologie di movimento e dello stato di attività, nonché le sezioni geologiche oggettivate dalle indagini geognostiche complessivamente effettuate.

In considerazione delle caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dell'area sono state fornite in definitiva, per quanto di specifica competenza, le necessarie indicazioni per una scelta consapevole delle più opportune soluzioni progettuali, volte a mitigare le attuali condizioni di pericolosità geologica dell'area.

Palermo, 17 marzo 2020

