



REGIONE SICILIA
Assessorato regionale dell'energia
e dei servizi di pubblica utilità
Dipartimento regionale dell'acqua e dei rifiuti



DIGA GIBBESI

RIVALUTAZIONE SISMICA, STUDIO DELLE PRESSIONI NEUTRE E
MOTI DI FILTRAZIONE, PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO
ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, MANUTENZIONE
STRAORDINARIA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA
- POZZO - PARATOIE E RIEFFICIENTAMENTO STRUMENTAZIONE
DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

A RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Dott. Ing. Antonino Margagliotta

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:

Mandataria

Mandanti



GEO R.A.S. s.r.l.

REDAZIONE DELL'ELABORATO
Dott. Ing.

SOCIETA' : Gabriele
SERING INGEGNERIA

RESPONSABILE:

Dott. Ing. Gabriele Speciale

DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI :

TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

TITOLO ELABORATO:

1. GENERALI
RELAZIONE GEOTECNICA

ELABORATO N° :

II122F-A-GET-RT-110-00

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		E. Salvatore	P. Croce	A. Rizzo		
REVISIONE	N.	DESCRIZIONE		RED.	VER.	APP.
	1	00	Emissione Luglio 2021	E.S.	P.C.	G.S.
	2					
	3					

NOME FILE :



II122F-A-GET-RT-110-00.dwg

DATA :

Luglio 2021

SCALA :

-

 III122F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 2 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	



Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità
 Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti

**“PROGETTO PER L’AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA RELATIVI ALLO
 STUDIO DI RIVALUTAZIONE SISMICA DELLE OPERE STRUTTURALI
 DELL’IMPIANTO, ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA MANUTENZIONE
 STRAORDINARIA DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA – POZZO
 PARATOIE, ALLO STUDIO INTERPRETATIVO E ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA
 DEL RIEFFICIENTAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO E
 CONTROLLO”**

DIGA GIBBESI



Servizio A
Rivalutazione della sicurezza sismica dello
sbarramento in materiale sciolto
e delle opere accessorie

RELAZIONE GEOTECNICA

	<p style="text-align: center;"><i>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</i></p> <p style="text-align: center;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p>	
<p>II122F-A-GEO-RT-110-00</p>	<p style="text-align: center;">RELAZIONE GEOTECNICA</p>	<p style="text-align: right;">Pag. 3 di 75</p>

SOMMARIO

1	Oggetto.....	1
2	Informazioni generali	2
3	Storia progettuale	7
4	Inquadramento geologico	9
5	Inquadramento geotecnico	11
5.1	Campagne d'indagini pregresse.....	11
5.2	Campagna d'indagine 2021	13
5.2.1	Indagini in-situ	13
5.2.2	Prove di laboratorio	32
6	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	48

 III22F-A-GEO-RT-110-00	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p>	 Pag. 4 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

Indice delle figure

Figura 2-1 Vista satellitare del territorio comunale di Sommatino con indicazione della diga Gibbesi (modificata da Google Earth).....	2
Figura 2-2 Stralcio della Carta Tecnica Regionale con indicazione della diga Gibbesi.....	3
Figura 2-3 Fotografia dell'invaso scattata dalla sponda sinistra.....	3
Figura 2-4 Sezione tipo della diga Gibbesi (progetto esecutivo di adeguamento, documento B 7). ..	5
Figura 2-5 Planimetria della diga Gibbesi (progetto esecutivo di adeguamento, documento B 6).....	6
Figura 3-1 Cartografia del bacino idrografico del torrente Gibbesi con indicazione del sito di realizzazione della diga previsto dal progetto di massima e del sito definitivo individuato nel progetto esecutivo.....	7
Figura 3-2 Confronto tra la sezione tipo prevista dal progetto di massima 1969 e quella definita dal progetto esecutivo di adeguamento del 1983.....	8
Figura 4-1 Sezione longitudinale della diga con indicazione delle formazioni geologiche.	10
Figura 4-2 Sezione trasversale tipo della diga con indicazione delle formazioni geologiche.	10
Figura 5-1 Valori di peso specifico dell'unità di volume asciutta, contenuto d'acqua e permeabilità misurata mediante le prove eseguite nell'ambito della visita di collaudo del 01/12/1989.	12
Figura 5-2 Vista planimetrica della diga con indicazione delle indagini in-situ eseguite nell'ambito della campagna d'indagini del 2021. I piezometri e le celle piezometriche sono stati installati durante la costruzione della diga.....	13
Figura 5-3 Vista planimetrica della diga con indicazione delle perforazioni di sondaggio eseguite nell'ambito della campagna d'indagini del 2021.....	14
Figura 5-4 Sezione longitudinale in asse diga con sovrapposizione della stratigrafia così come da progetto esecutivo e di quella risultante dalle perforazioni di sondaggio della campagna d'indagine 2021.....	15
Figura 5-5 Sezione trasversale della diga numero 9 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N8 ed N13DH eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	15
Figura 5-6 Cassetta catalogatrice numero 1 della perforazione di sondaggio N8 (0.0-5.0m) contenente carote del sottofondo stradale e del nucleo della diga.....	16
Figura 5-7 Cassetta catalogatrice numero 4 della perforazione di sondaggio N8 (15.0-20.0m) contenente in materiale del nucleo.	16
Figura 5-8 Cassetta catalogatrice numero 2 della perforazione di sondaggio N13DH (5.0-10.0m) contenente materiale del contronucleo.	17
Figura 5-9 Cassetta catalogatrice numero 5 della perforazione di sondaggio N13DH (20.0-25.0m) contenente carote della formazione delle argille puddingoidi di base.....	17
Figura 5-10 Colonna stratigrafica relativa alla perforazione di sondaggio N20 in sponda sinistra con fotografie delle cassette catalogatrici. La prima contiene il materiale del sottofondo stradale e materiale di riporto, la seconda le argille del tortoniano più profonde.....	18



 III22F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 5 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

Figura 5-11	Colonna stratigrafica relativa alla perforazione di sondaggio N16 in sponda destra con fotografie delle cassette catalogatrici. La prima contiene la prima formazione argillosa di copertura mentre la seconda la formazione delle argille olistostromiche.....	19
Figura 5-12	Sezione trasversale della diga numero 3 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N1 ed N14 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	20
Figura 5-13	Sezione trasversale della diga numero 4 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N2 ed N3 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	20
Figura 5-14	Sezione trasversale della diga numero 6 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N4DH ed N5 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	20
Figura 5-15	Sezione trasversale della diga numero 7 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N6 ed N7 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	21
Figura 5-16	Sezione trasversale della diga numero 9 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N8 ed N13DH eseguiti nella campagna d'indagine 2021.....	21
Figura 5-17	Sezione trasversale della diga B da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N8 eseguito nella campagna d'indagine 2021.	21
Figura 5-18	Sezione trasversale della diga numero 14 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N9 eseguito nella campagna d'indagine 2021.	22
Figura 5-19	Sezione trasversale della diga numero 15 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N9 eseguito nella campagna d'indagine 2021.	22
Figura 5-20	Sezione trasversale della diga numero 18 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N11 eseguito nella campagna d'indagine 2021.	22
Figura 5-21	Planimetria della diga con indicazione delle misure soniche eseguite nell'ambito della campagna d'indagini del 2021.....	23
Figura 5-22	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N4DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.	24
Figura 5-23	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N10DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.	25
Figura 5-24	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N10DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.	26
Figura 5-25	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW1 eseguita sul coronamento della diga. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.	27
Figura 5-26	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW2 eseguita sulla seconda berma di valle. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.....	28
Figura 5-27	Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW3 eseguita sulla terza berma di valle. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.	29







 III22F-A-GEO-RT-110-00	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE GEOTECNICA</p>	 Pag. 6 di 75
---	---	---

Figura 5-28 Vista planimetrica della diga con indicazione dei piezometri.	30
Figura 5-29 Risultati delle prove SPT riportati nel diagramma di Gibbs and Holtz (1957).....	31
Figura 5-30 Risultati delle prove SPT riportati nel diagramma di Schmertmann (1977).....	32
Figura 5-31 Curve granulometriche dei campioni estratti dal nucleo della diga.....	33
Figura 5-32 Curve granulometriche dei campioni estratti dalle tre formazioni argillose di base: argille del tortoniano, argille olistostromiche ed argille puddingoidi.....	34
Figura 5-33 Curve granulometriche dei campioni prelevati dal contronucleo di valle della diga. ...	34
Figura 5-34 Peso dell'unità di volume naturale, peso dell'unità di volume asciutta e porosità in funzione della quota di prelievo dei campioni per il materiale del nucleo della diga..	35
Figura 5-35 Peso dell'unità di volume naturale, peso dell'unità di volume asciutta e porosità in funzione della quota di prelievo dei campioni per i materiali della formazione di base: argille del tortoniano (AT), argille olistostromiche (AS) ed argille puddingoidi (AP).36	36
Figura 5-36 Risultati delle analisi di consistenza eseguite sul materiale del nucleo in funzione della quota di prelievo dei campioni.	38
Figura 5-37 Indice di consistenza del materiale del nucleo della diga in funzione della quota di prelievo dei campioni.	38
Figura 5-38 Risultati delle analisi di consistenza in funzione della quota di prelievo dei campioni per i materiali della formazione di base: argille del tortoniano (AT), argille olistostromiche (AS) ed argille puddingoidi (AP).	39
Figura 5-39 Indice di consistenza in funzione della quota di prelievo dei campioni per i materiali della formazione di base: argille del tortoniano (AT), argille olistostromiche (AS) ed argille puddingoidi (AP).....	40
Figura 5-40 Risultati delle analisi di consistenza eseguite sui materiali del nucleo e della formazione di base (argille del tortoniano - AT, argille olistostromiche -AS ed argille puddingoidi AP) riportati sulla carta di Casagrande.	41
Figura 5-41 Risultati delle prove di taglio diretto rappresentati nel piano di Mohr per i provini ricavati dai campioni indisturbati del nucleo.	42
Figura 5-42 Risultati delle prove di taglio diretto rappresentati nel piano di Mohr per i provini ricavati dai campioni indisturbati delle formazioni di base.	43
Figura 5-43 Risultati delle prove di compressione uniassiale eseguite sui provini del nucleo e delle formazioni di base rappresentati in termini di curve tensione-deformazione.....	44
Figura 5-44 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga nel piano indice dei vuoti – tensione verticale efficace.	45
Figura 5-45 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga nel piano permeabilità – tensione verticale efficace.....	46
Figura 5-46 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga nel piano indice dei vuoti – tensione verticale efficace.46	46
Figura 5-47 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga nel piano permeabilità – tensione verticale efficace.....	47

 III122F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 7 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

Indice delle tabelle

Tabella 5-1 Parametri fisici e meccanici dei materiali del corpo diga e delle argille di fondazione da progetto esecutivo di adeguamento.....	11
Tabella 5-2 Velocità di propagazione delle onde di taglio (m/s) misurata nei materiali costituenti il corpo diga e nella formazione di base.....	24
Tabella 5-3 Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT.....	31
Tabella 5-4 Prove di laboratorio eseguite per ogni campione indisturbato.	32
Tabella 5-5 Valori medi Caratteristiche fisiche medie (γ_{nat} , γ_d , n) delle formazioni.	36
Tabella 5-6 Risultati delle prove di consistenza eseguite sui campioni prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base.	37
Tabella 5-7 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di consistenza.	41
Tabella 5-8 Risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini del nucleo.	42
Tabella 5-9 Risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini delle formazioni di base.....	43
Tabella 5-10 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di consistenza.	43
Tabella 5-11 Risultati delle prove di compressione uniassiale eseguite sui provini del nucleo e delle formazioni di base.	44
Tabella 5-12 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di compressione uniassiale.	44
Tabella 5-13 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga.....	45
Tabella 5-14 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga.	46
Tabella 6-1 Caratteristiche geotecniche ricavate dalle indagini in-situ e di laboratorio.....	48

 III22F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 1 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

1 Oggetto

La presente relazione è finalizzata alla caratterizzazione geotecnica dei materiali del corpo diga e delle formazioni geologiche presenti nella sezione d'imposta della diga Gibbesi, al fine si eseguire le verifiche statiche e sismiche del corpo diga.

Dopo aver riepilogato sinteticamente le informazioni generali sulla diga (posizione geografica, tipologia di sbarramento, quote idrauliche di riferimento, etc.) si ripercorre brevemente la storia progettuale dello sbarramento. Si procede quindi a fornire un inquadramento idraulico/geologico dell'area interessata dall'opera. La caratterizzazione geotecnica è introdotta analizzando dapprima le campagne d'indagine pregresse e successivamente esaminando in dettaglio i risultati della campagna d'indagine 2021 eseguita *ad-hoc* per integrare i dati geotecnici necessari per effettuare le verifiche della diga.

La relazione termina con il modello geotecnico di sottosuolo, in cui si identificano i materiali e le formazioni presenti, fornendo per ognuno di essi una stima ragionata e cautelativa dei parametri fisici e meccanici utili alla verifica sismica della diga (parametri caratteristici).

Si elenca di seguito la documentazione tecnica consultata per la redazione della presente relazione geotecnica:

- [1] Progetto di massima, Relazione tecnica, O I 9 A/1, 23/07/1969, Dott. Ing. F.S. Harrauer, Dott. Ing. N. Scavone.
- [2] Progetto di massima, Relazione geologica, O I 9 A/2, 23/07/1969, Dott. Geologo C. Vincenzi.
- [3] Progetto di massima, Relazione geologica, O I 9 b/1, 23/07/1969, Dott. Geologo C. Vincenzi.
- [4] Appalto concorso, Relazione geognostico-geologica, I - 1/A1. 20/06/1972, Prof. Dott. G. Ruggieri.
- [5] Appalto concorso, Relazione geotecnica – quadri riassuntivi delle prove di laboratorio, I - 1/A2b. 20/06/1972.
- [6] Appalto concorso, variante N° 1, Relazione geologica, OI 09 – C 502/2, Maggio 1982.
- [7] Appalto concorso, progetto esecutivo di adeguamento, Diga – sezione longitudinale in asse, B8, Dicembre 1982, Ing. G. Baldovin, Ing. L. Trischitta.
- [8] Appalto concorso, progetto esecutivo di adeguamento, Diga – sezioni trasversali 8÷13 1:500, B8, Dicembre 1982, Ing. G. Baldovin, Ing. L. Trischitta.
- [9] Appalto concorso, progetto esecutivo di adeguamento, Relazione tecnica, A1, Gennaio 1983, Ing. G. Baldovin, Ing. L. Trischitta.
- [10] Appalto concorso, progetto esecutivo di adeguamento, Relazione geognostico geotecnica, A3, Gennaio 1983, Ing. G. Baldovin, Ing. L. Trischitta.

2 Informazioni generali

La diga Gibbesi è collocata nella valle dell'omonimo torrente in località "Canalotto" (coordinate geografiche 37°18'44.3"N, 13°59'01.5"E) nel territorio comunale di Sommatino in provincia di Caltanissetta ad una distanza di circa 2.5 Km in direzione Sud-Ovest rispetto l'abitato (Figura 2-1 e Figura 2-2).

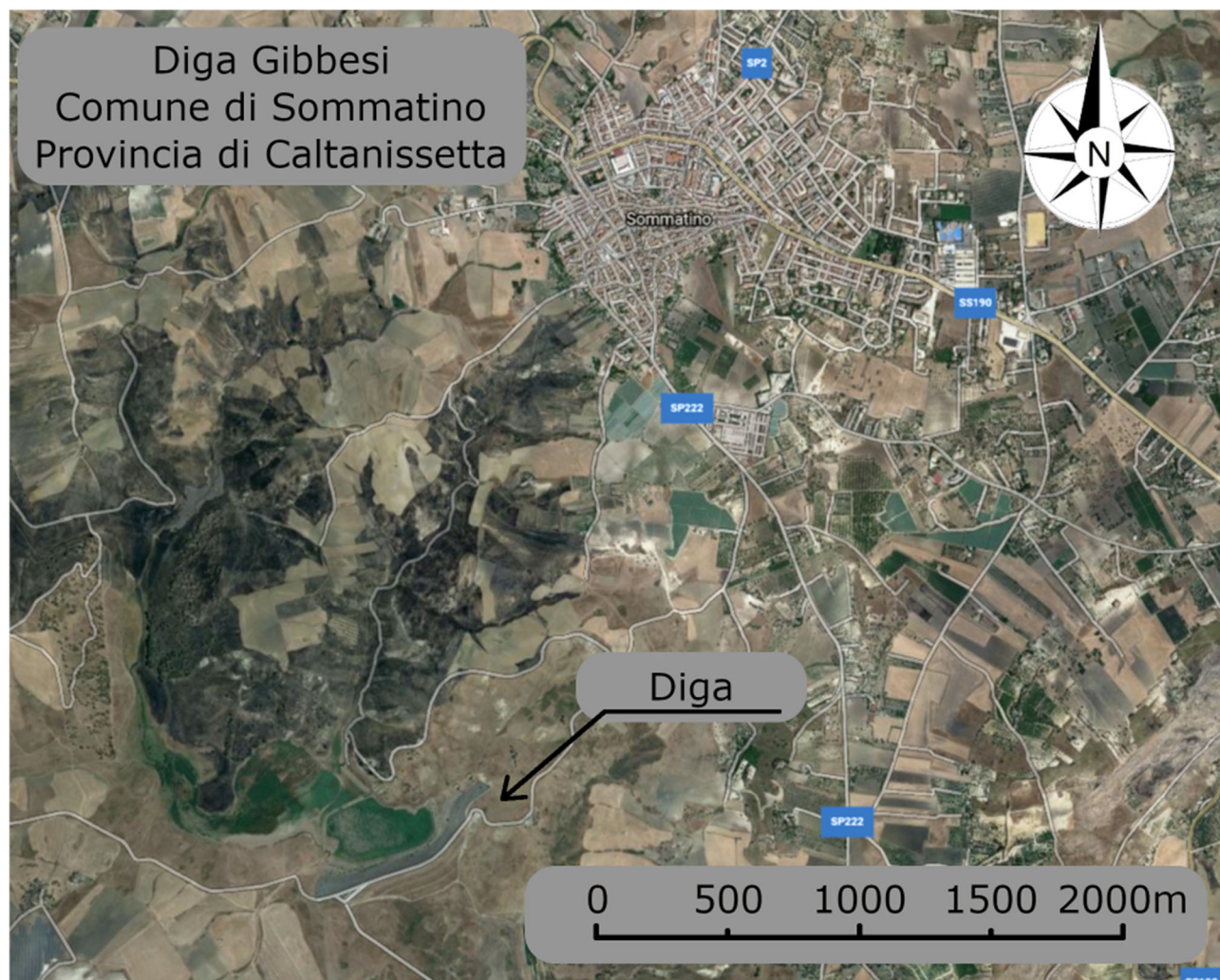


Figura 2-1 Vista satellitare del territorio comunale di Sommatino con indicazione della diga Gibbesi (modificata da Google Earth).

Il bacino imbrifero di riferimento, alla sezione di sbarramento, si estende sui comuni di Naro, Canicattì, Delia e Sommatino, con una estensione complessiva di circa 116 km².

L'invaso artificiale ha una superficie dello specchio liquido a pieno regime di 1.13 Km² e una capacità massima di progetto pari a 11.4 milioni di m³.

La destinazione della risorsa idrica invasata è per uso irriguo.

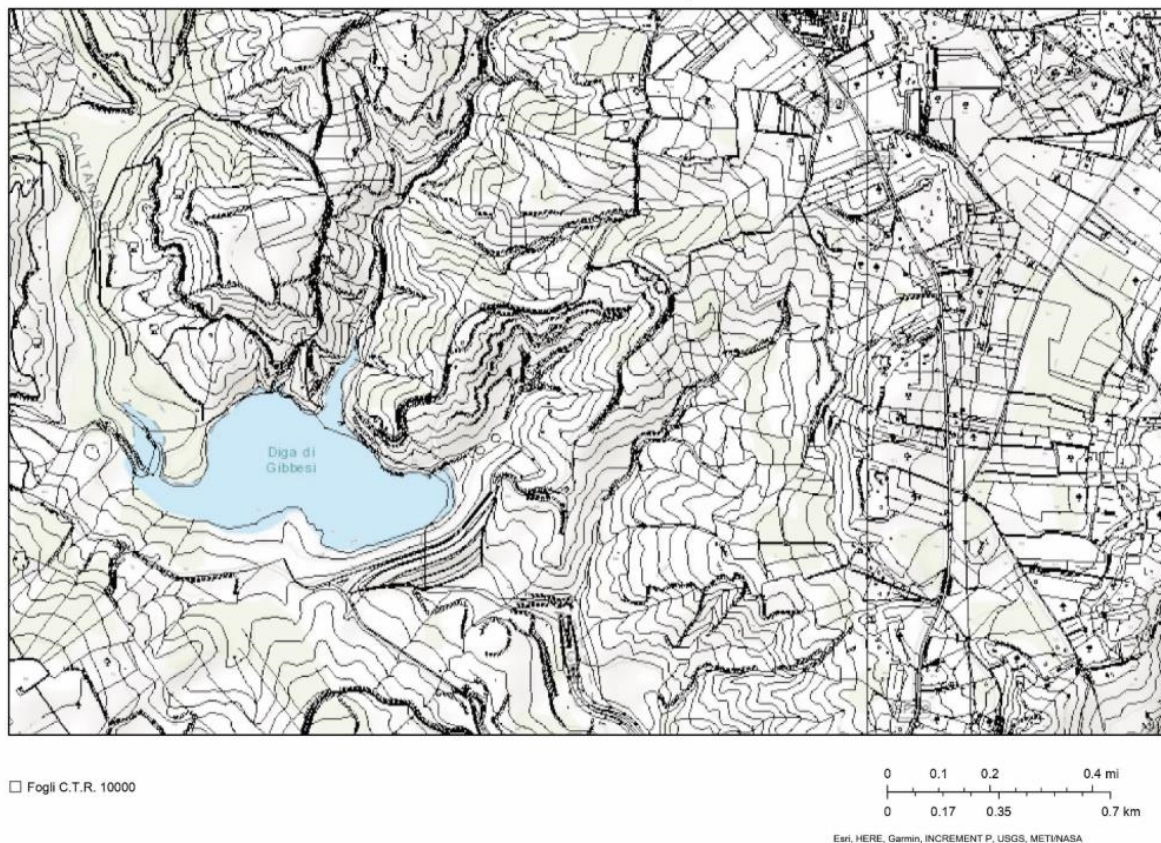


Figura 2-2 Stralcio della Carta Tecnica Regionale con indicazione della diga Gibbesi.





Figura 2-3 Fotografia dell'invaso scattata dalla sponda sinistra.

La diga, realizzata tra il 1978 e il 1992, è del tipo a materiali sciolti con nucleo di tenuta centrale e struttura zonata.

Planimetricamente lo sbarramento ha andamento mistilineo, con uno sviluppo complessivo in testa al coronamento di 607 m.

La sezione trasversale della diga ha forma trapezoidale con larghezza in testa al coronamento di m 9 e alla base di m 276.50. La sommità del rilevato è posta a quota 236 m s.l.m., con altezza totale dello sbarramento di 46 m.

Il collaudo (ex art. 14 del D.P.R. 1363/59) è ancora oggi in corso e il serbatoio è nella condizione di invaso sperimentale con le relative operazioni avviate il 18/07/2007.

 III122F-A-GEO-RT-110-00	<p style="text-align: center;">Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p style="text-align: center;">DIGA GIBBESI</p> <p style="text-align: center;">RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p>	 Pag. 4 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

Di seguito si riportano i dati prevalenti della diga e dell'invaso desunti dai progetti approvati.

Corpo diga:



- altezza della diga (ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82) 46.00 m;
- altezza della diga (ai sensi della Legge 584/94) 30.00 m;
- altezza di massima ritenuta 31.50 m;
- quota coronamento 236.00 m s.l.m.;
- franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82) 4.50 m;
- franco netto (ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82) 4.01 m;
- sviluppo del coronamento 607.00 m;
- volume della diga 1720000 m³;
- grado di sismicità assunto nel progetto $S = 9$;
- classifica ai sensi del D.M. n° 44 del 24/03/82: B-b.

Dati principali dell'invaso:

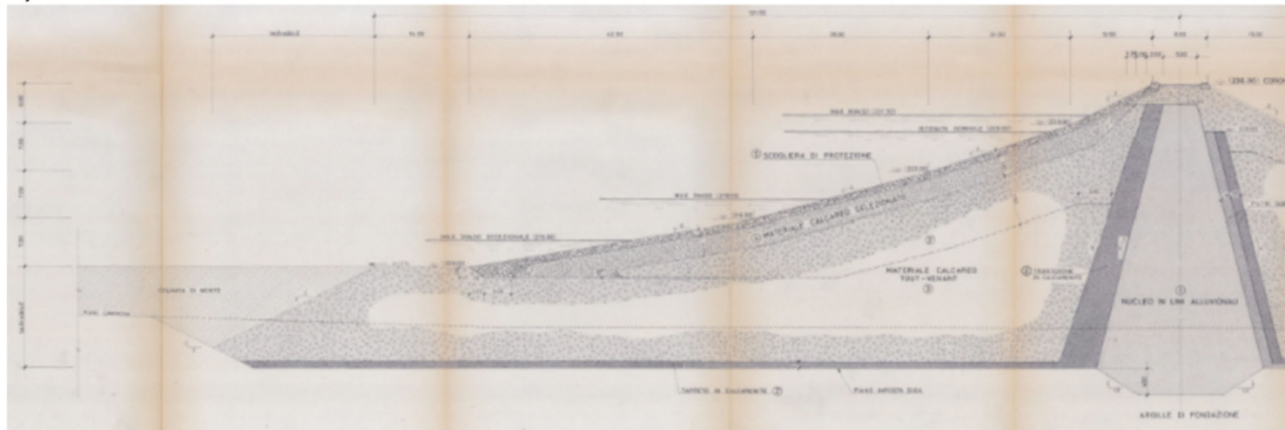
- quota di massimo invaso 231.50 m s.l.m.;
- quota di massima regolazione 229.00 m s.l.m.;
- quota minima di regolazione 219.00 m s.l.m.;
- superficie dello specchio liquido (quota massimo invaso) 1.29 km²;
- volume totale di invaso (ai sensi del D.M. n° 44/82) 14x10⁶ m³;
- volume di invaso (ai sensi della Legge n° 584/1994) 11.4 x10⁶ m³;
- volume utile di regolazione 7.90x10⁶ m³;
- volume di laminazione 2.60x10⁶ m³;
- superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso 116 km²;
- portata di massima piena di progetto 1400 m³/s.

L'opera di sbarramento è costituita da un rilevato a sezione trapezoidale con uno sviluppo mistilineo di circa 607m in corrispondenza del coronamento.

La diga è a materiali sciolti di tipo zonato con nucleo di tenuta (Figura 2-4).

 II122F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 5 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

a) contronucleo di monte



b) contronucleo di valle

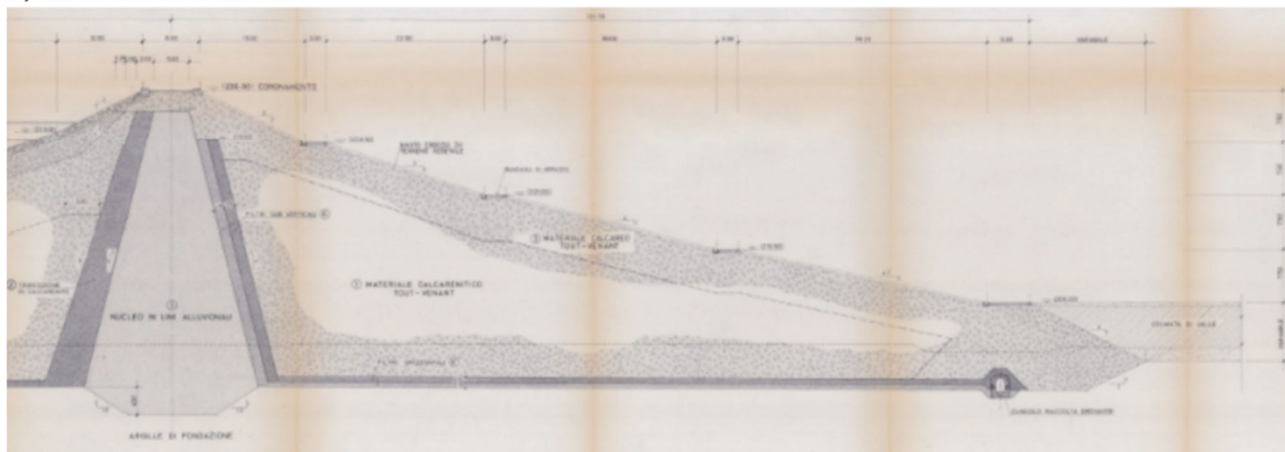


Figura 2-4 Sezione tipo della diga Gibbesi (progetto esecutivo di adeguamento, documento B 7).

La diga ha una larghezza alla base di circa 280 m ed una altezza massima, nella parte centrale, misurata rispetto al taglione di ammorsamento del nucleo nella formazione argillosa di base, pari a circa 46 m. Il coronamento ha una larghezza di 9 m e si colloca a quota 236 m s.l.m.m.

I livelli di ritenuta alla massima regolazione ed alla massima piena sono rispettivamente pari a 229.00 m e 231.50 m s.l.m.m.

Il nucleo è costituito da limo argilloso ed è ammorsato nella formazione di base costituita da materiali argillosi e marnosi mediante un taglione di 4 m di altezza con pendenza, su entrambi i versanti di 1.5/1. I paramenti laterali del nucleo sono sagomati con pendenza 1/4 e la larghezza minima del nucleo, in testa, è di 4.50 m. A ridosso del nucleo sono disposti, verso monte, uno strato di transizione in calcarenite, e verso valle, un filtro a tre strati a granulometria crescente. Sia la transizione che i filtri ricoprono anche la superficie di fondazione.

Il fianco di monte è costituito da materiale calcareo, tout-venant nella parte interna e selezionato verso il paramento. Il paramento è sagomato con pendenza variabile tra 2/1 a 6/1, decrescente dal

3 Storia progettuale

La realizzazione della diga Gibbesi fa parte delle numerose iniziative industriali lungo la costa meridionale della Sicilia intraprese dall'Ente Minerario Siciliano negli anni '60-'70 per favorire lo sviluppo economico di quelle zone particolarmente depresse [1].

Così come si evince dalla Relazione tecnica elaborata per il Progetto di massima del 1969 [1] e dalla Relazione geognostico-geologica presentata nell'ambito dell'appalto concorso del 1972 [4], la realizzazione dello sbarramento fu inizialmente prevista in località "Rocca Pizzuta", dopodiché a seguito di criticità emerse durante le indagini geognostiche il sito di costruzione fu spostato in località Canalotto per ragioni connesse alla natura geotecnica-geologica dei materiali in-situ (Figura 3-1).

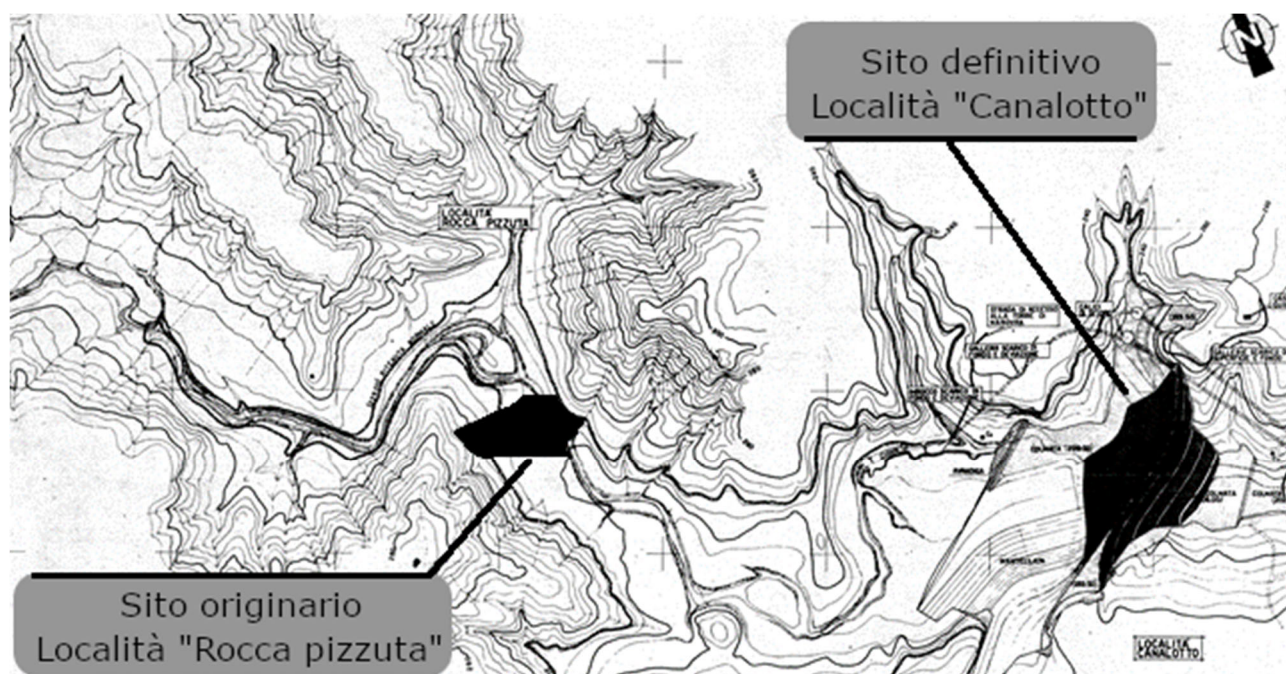




Figura 3-1 Cartografia del bacino idrografico del torrente Gibbesi con indicazione del sito di realizzazione della diga previsto dal progetto di massima e del sito definitivo individuato nel progetto esecutivo.

La costruzione della diga fu affidata dall'Ente Minerario Siciliano all'Impresa Generale Costruzioni Mazzi S.p.A. di Verona a seguito di "Appalto-concorso" in data 30/06/1972 ed il progetto esecutivo fu redatto dalla stessa impresa [9].

Nella Relazione tecnica del progetto esecutivo [9] si evince che rispetto al progetto di massima il progetto esecutivo apportò modifiche significative sia alla lavorazione del piano d'imposta che alla sezione tipo del rilevato.

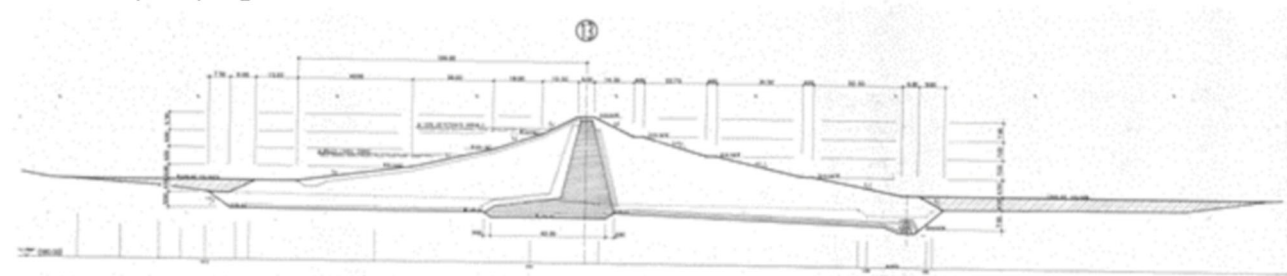
In particolare, a seguito delle campagne di indagini in sito e di laboratorio emersero le necessità di: realizzare opportuni interventi di bonifica sotto i rinfianchi della diga, onde migliorare le condizioni di stabilità, specie in alveo ed in sponda destra; di effettuare l'asportazione totale delle zone alterate e dei limi d'alveo in corrispondenza del nucleo e di un maggiore approfondimento del taglione, al

	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE</p>	
<p>II122F-A-GEO-RT-110-00</p>	<p>RELAZIONE GEOTECNICA</p>	<p>Pag. 8 di 75</p>

fine di garantire un miglior ammassamento nella formazione di base; di far ricorso a materiali di migliori caratteristiche meccaniche per la realizzazione dei rinfianchi.

Si riportano di seguito in Figura 3-2 la sezione tipo originariamente prevista nel progetto di massima e quella modificata dal progetto esecutivo di adeguamento.

Sezione tipo - progetto di massima



Sezione tipo - progetto esecutivo di adeguamento

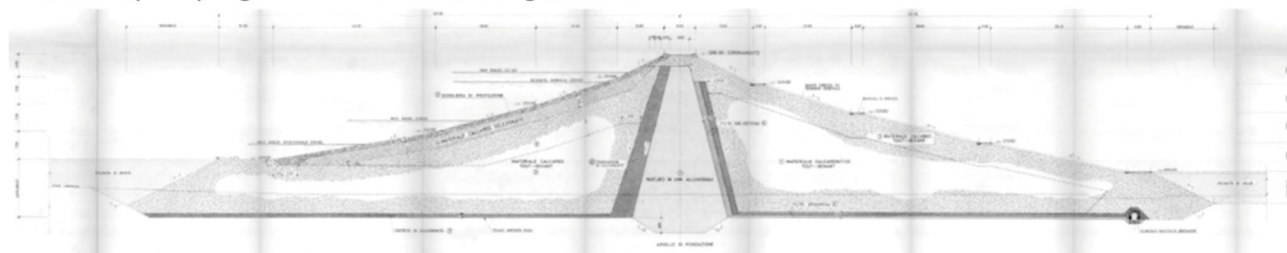




Figura 3-2 Confronto tra la sezione tipo prevista dal progetto di massima 1969 e quella definita dal progetto esecutivo di adeguamento del 1983

 III22F-A-GEO-RT-110-00	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI RIVALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE OPERE ACCESSORIE	 Pag. 9 di 75
	RELAZIONE GEOTECNICA	

4 Inquadramento geologico

La zona in esame è compresa nel settore centromeridionale della Sicilia, a sud di Caltanissetta e ricade nei Fogli I.G.M. n. 267 – Canicatti (II SE), n. 268 – Caltanissetta (III SO), n. 271 – Agrigento (I NE) e n. 272 – Gela (IV NO).

I tributari del fiume Gibbesi formano a monte dello sbarramento un reticolo idrografico caratterizzato da ragioni di testata ampie e ramificate, soprattutto in sinistra idrografica con numerose sorgenti, molte delle quali utilizzate per approvvigionamento potabile [2].

L'ubicazione delle sorgenti e dei pozzi indica la presenza di acquiferi di diversa natura ed origine. Si riscontrano falde nelle coperture quaternarie continentali, nelle zone dove è più cospicua la presenza di detrito, nei terreni sabbioso-arenacei del pliocene e nel complesso calcareo-gessoso. Le acque immagazzinate in queste ultime rocce possono contenere percentuali anche elevate di Sali e di zolfo (acque selenitose, acque solfuree).

La conformazione della valle del torrente Gibbesi in località Canalotto presenta una varice molto ampia con pendii dolci senza fenomeni di instabilità corticale.

In corrispondenza della zona dello sbarramento i versanti delle due sponde sono leggermente asimmetrici: la sponda destra risulta poco acclive, mentre la sponda sinistra è più ripida con una morfologia chiaramente condizionata degli affioramenti di argille stratificate compatte.

L'alveo presenta una morfologia uniforme ed una pendenza modesta per la presenza di un ampio meandro che il torrente descrive prima di addentrarsi nella zona dello sbarramento.

Dal punto di vista geologico, è predominante la presenza delle argille dell'olistostroma che affiorano in spalla destra. Sempre in spalla destra si riscontra la presenza di strati allentati, che possono essere ricondotti alla presenza di una vasta paleofrana, stabilizzata durante la costruzione della diga mediante la realizzazione di una mantellata in calcare tout-venant.

In spalla sinistra si riscontrano invece argille tortoniane stratificate e compatte che più a monte e più a valle dello sbarramento sono a contatto con argille puddingoidi.

A sud dello sbarramento affiorano i terreni della serie gessoso-solfifera che interrompono bruscamente la continuità morfologica delle argille [6].

In Figura 4-1 e Figura 4-2 si riportano le sezioni longitudinale e trasversale in asse diga.

Con riferimento alla sezione longitudinale (Figura 4-1) si osserva che muovendosi dalla spalla sinistra verso la spalla destra si incontrano inizialmente le argille del Tortoniano (AT) approssimativamente sino alla sezione di progetto numero 6, dopodiché sono presenti le argille puddingoidi (AP) per un breve tratto di circa 15m tra le sezioni di progetto numero 6 e 7 e quindi le argille olistostromiche (AS) sino alla spalla destra.

Facendo riferimento alla sezione trasversale di misura B, intermedia tra le sezioni 9 e 10 (vedi elaborato C "Progettazione strumentazione di monitoraggio e di controllo", riportata in Figura 4-2),

si osserva che il contronucleo di monte poggia sulle argille del tortoniano (AT), il nucleo sulle argille olistostromiche (AS) ed il contronucleo di valle sulle argille puddingoidi (AP).

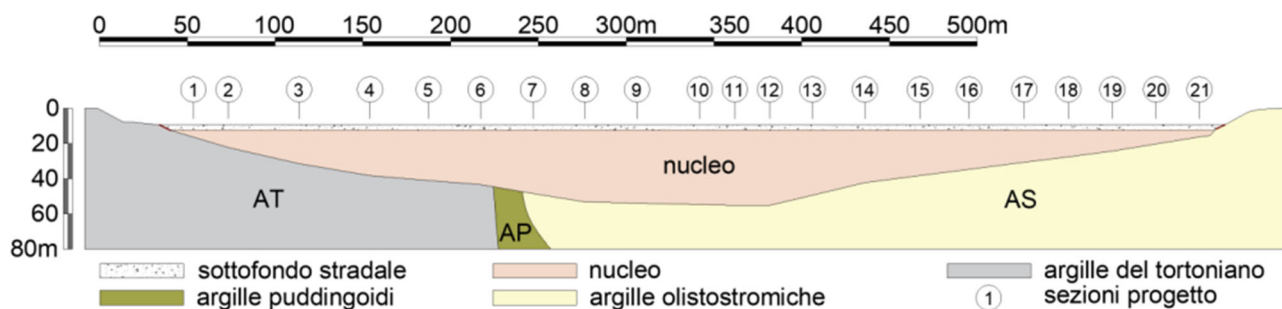


Figura 4-1 Sezione longitudinale della diga con indicazione delle formazioni geologiche.

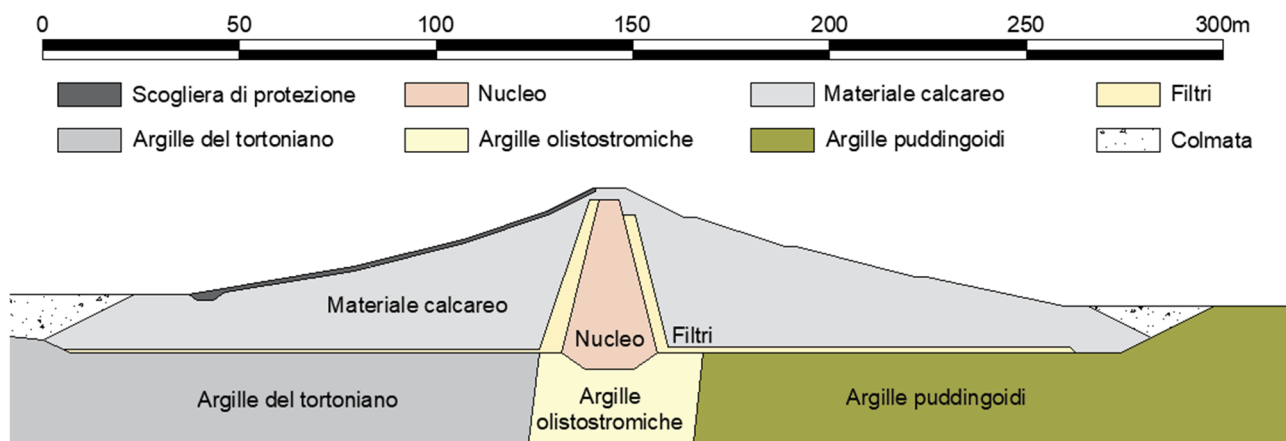


Figura 4-2 Sezione trasversale tipo della diga con indicazione delle formazioni geologiche.

5 Inquadramento geotecnico

5.1 Campagne d'indagini pregresse

Una prima campagna d'indagini geotecniche in-situ e di laboratorio fu eseguita nell'ambito degli studi per la scelta dell'ubicazione dello sbarramento (1972). Sia nella relazione geognostico-geologica [4] che nei quadri riassuntivi delle prove di laboratorio dell'Appalto concorso [5], si fa infatti riferimento ad un ricco programma di sondaggi a carotaggio continuo e prove di laboratorio (caratterizzazione fisica, espansione laterale libera, triassiali, taglio diretto). Tuttavia, non è stata rinvenuta nella documentazione disponibile una planimetria che permettesse di geolocalizzare la posizione dei sondaggi e che quindi permettesse di sfruttare le suddette informazioni per la definizione di un modello geotecnico di sottosuolo.

Una seconda campagna di indagini è stata eseguita nell'ambito del progetto esecutivo di adeguamento del Gennaio 1983 i cui risultati sono esposti nella Relazione geognostico geotecnica a firma dei progettisti Ing. G. Baldovin ed Ing. L. Trischitta [10].

Anche in questo caso non è stato possibile risalire all'ubicazione planimetrica dei sondaggi e quindi procedere alla formulazione del modello geotecnico. Tuttavia, nella suddetta Relazione geognostico geotecnica [10] gli scriventi propongono sulla base delle indagini e delle prove geotecniche eseguite i parametri geotecnici da adottare per le verifiche di stabilità. Tali valori vengono riassunti in Tabella 5-1.

Tabella 5-1 Parametri fisici e meccanici dei materiali del corpo diga e delle argille di fondazione da progetto esecutivo di adeguamento.

Zona	Materiale	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	k (cm/s)	ϕ' (°)	c' (kPa)
1	Nucleo	18.5	20.0	10^{-8}	20	10
2-2'	Transizione e tappeto in calcarenite	19.0	20.5	$10^{-5} \div 10^{-6}$	30	0
3	Rinfianco di monte e di valle in materiale calcareo tout-venant	20.0	21.0	$10^{-4} \div 10^{-6}$	35	0
4	Rinfianco di monte in materiale calcareo a permeabilità controllata	20.0	21.0	$10^{-3} \div 10^{-4}$	38	0
5	Scogliera in calcare	20.0	21.0		40	0
6	Filtri di valle e tappeto filtrante	19.0	20.0		35	0
	Colmate	16.0	19.0		10	0
	Fondazione	18.0	19.0	$10^{-6} \div 10^{-7}$	20	25

Con γ_{nat} : peso specifico naturale del materiale, γ_{sat} : peso specifico saturo del materiale, k: permeabilità, ϕ' : angolo d'attrito, c': coesione.

Sempre nella Relazione geognostico geotecnica del 1983 [10] si riporta l'esecuzione di cinque sondaggi a carotaggio continuo identificati con la sigla SG, di cui il sondaggio SG1 eseguito in spalla sinistra, SG2 all'interno dell'alveo ed SG3 in spalla destra. Sebbene non sia stata recuperata con precisione la posizione planimetrica dei carotaggi, le colonne stratigrafiche dei predetti sondaggi restituiscono un profilo di sottosuolo ben delineato, che risulta compatibile con la sezioni geologiche riportate in Figura 4-1 e Figura 4-2.

Durante la visita di collaudo eseguita in data 01/12/1989 furono inoltre eseguite prove di permeabilità e misure di densità in-situ all'interno di pozzetti specificatamente escavati. Si tratta

complessivamente di 21 pozzetti, 7 per ciascuna delle sezioni 7, 9 ed 11, realizzati nel rinfilanco di monte, nello strato transizione nucleo-monte, nel nucleo ed infine nel paramento di valle.

I risultati ottenuti sono riassunti in forma tabellare nella Figura 5-1 estratta dagli atti di collaudo. La tabella riportata mostra inoltre che i valori misurati in-situ del peso specifico dell'unità di volume asciutta sono generalmente più elevati di quelli prescritti in fase di progettazione. D'altra parte, i valori misurati in-situ della permeabilità risultano mediamente di un ordine di grandezza inferiori rispetto ai valori di progetto.

Ubicazione delle prove	Valori della prova			Valori specifiche			NOTE	
	Yd	W	k	Yd	W	k		
	t/m ³	%	cm/sec	t/m ³	%	cm/sec		
S	Rinf. monte(Calcare)	2,035	5,6	6,5E-03	1,91	2÷10	E-4÷E-2	zona 4
e	Rinf. monte(Calcare)	2,027	6,4	7,0E-03	1,91	2÷10	E-4÷E-2	zona 4
z	Trans. (Calcarenite)	1,960	8,7	7,5E-06	1,80	5÷14	E-6÷E-5	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,760	15,9	5,8E-08	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,750	17,2	1,7E-08	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
7	Rinf. valle(Calcare)	2,084	7,3	1,1E-04	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
.	Rinf. valle(Calcare)	2,064	8,9	8,4E-04	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
S	Rinf. monte(Calcare)	2,154	8,4	6,5E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
e	Rinf. monte(Calcare)	2,091	7,1	7,0E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
z	Trans. (Calcarenite)	1,867	8,4	9,1E-05	1,80	5÷14	E-6÷E-5	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,746	15,3	3,9E-08	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,774	16,8	4,5E-08	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
9	Rinf. valle(Calcare)	2,087	7,9	1,4E-04	1,91	2÷10	E-4÷E-3	zona 3'
.	Rinf. valle(Calcare)	2,064	9,1	5,9E-04	1,91	2÷10	E-4÷E-3	zona 3'
S	Rinf. monte(Calcare)	2,017	8,5	6,8E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
o	Rinf. monte(Calcare)	2,007	6,8	7,0E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
z	Trans. (Calcarenite)	1,887	9,3	1,9E-05	1,80	5÷14	E-6÷E-5	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,799	16,0	3,8E-07	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
.	Nucleo (Arg. Draffù)	1,776	16,1	1,2E-08	1,70	12÷20	E-8÷E-7	
11	Rinf. valle(Calcare)	2,164	8,4	6,6E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3
.	Rinf. valle(Calcare)	2,084	8,0	6,0E-05	1,91	2÷10	E-5÷E-4	zona 3

Figura 5-1 Valori di peso specifico dell'unità di volume asciutta, contenuto d'acqua e permeabilità misurata mediante le prove eseguite nell'ambito della visita di collaudo del 01/12/1989.

Nell'ambito del procedimento in cui ricade il presente studio è stata avviata una nuova campagna d'indagini in situ e di laboratorio che si riporta nel dettaglio nei paragrafi successivi.

La campagna di indagini in-situ ha previsto:

- L'ubicazione di tutte le prove eseguite è riportata sulla planimetria della diga (estratta dal progetto esecutivo) in Figura 5-2.



5.2.1.1 Perforazioni di sondaggio

Sono state eseguite 24 perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo (Figura 5-3). Di queste, 9 sondaggi sono stati eseguiti dal coronamento (N1, N2, N4DH, N6, N8, N9, N10DH, N11 ed N12), 2 sondaggi dalla prima berma di valle (N14 ed N3), 3 sondaggi dalla terza berma di valle (N5, N7 ed N13DH), 2 sondaggi in sponda sinistra (N21 ed N20), 1 sondaggio in sponda destra (N16), 2 sondaggi nelle vicinanze dello scarico di fondo (N18 ed N19DH), 2 sondaggi nelle vicinanze dello scarico di superficie (N23 ed N24), 1 sondaggio nel piazzale della casa di guardia (N25), 1 sondaggio lungo la strada che collega la casa di guardia al pozzo paratoie (N15) e 1 sondaggio a valle della vasca di dissipazione (N17).

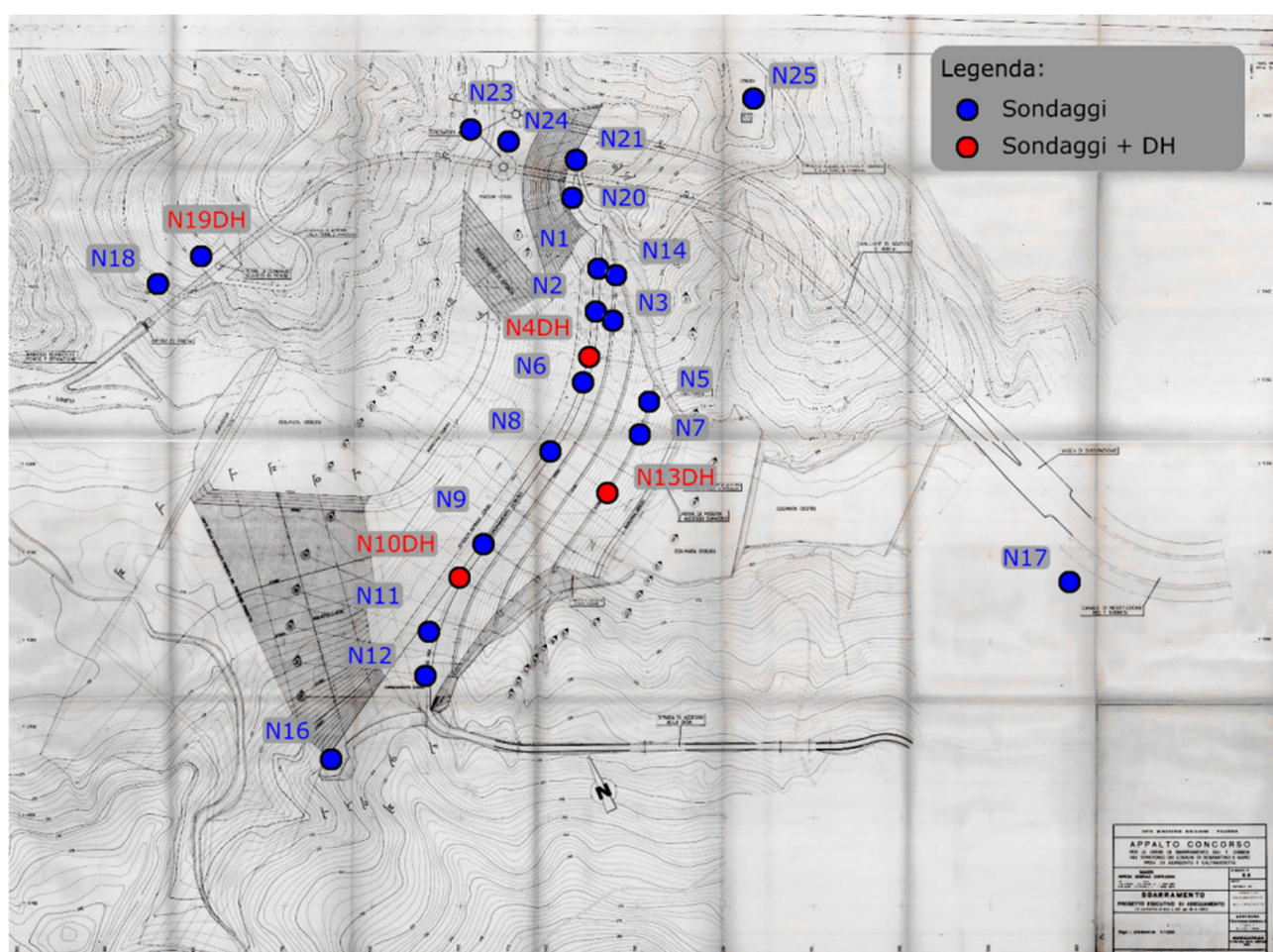


Figura 5-3 Vista planimetrica della diga con indicazione delle perforazioni di sondaggio eseguite nell'ambito della campagna d'indagini del 2021.

L'analisi delle colonne stratigrafiche relative ai sondaggi eseguiti nel corpo diga ha sostanzialmente confermato la geometria del rilevato così come prevista dal progetto esecutivo.

In Figura 5-4 si è sovrapposta la sezione longitudinale della diga, così come riportata nel progetto definitivo (elementi campiti), con il profilo del nucleo ottenuto interpolando linearmente le stratigrafie di sondaggio tra le varie verticali (linee rosse tratteggiate).

sottofondo stradale
 nucleo da progetto esecutivo
 profilo del nucleo da indagini 2021
 v-----v' sezione di verifica

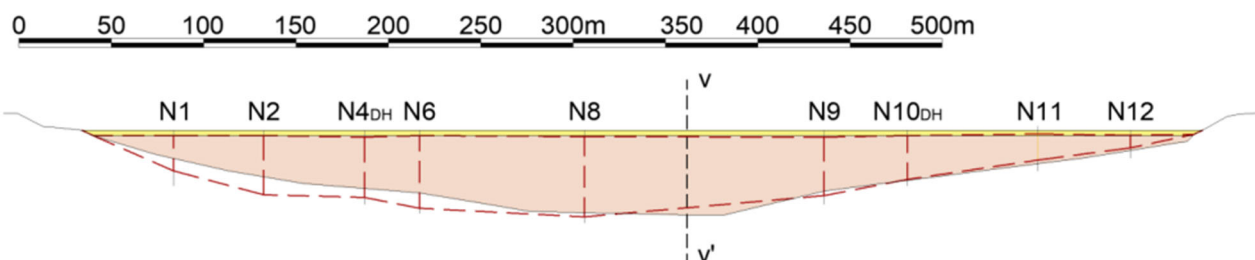


Figura 5-4 Sezione longitudinale in asse diga con sovrapposizione della stratigrafia così come da progetto esecutivo e di quella risultante dalle perforazioni di sondaggio della campagna d'indagine 2021.

Il medesimo confronto è stato eseguito sulla sezione di progetto numero 9 lungo la quale sono stati eseguiti i sondaggi N8 ed N13DH. Anche in questo caso i risultati dei sondaggi hanno mostrato un sostanziale accordo tra lo stato di fatto e l'elaborato progettuale (Figura 5-5).

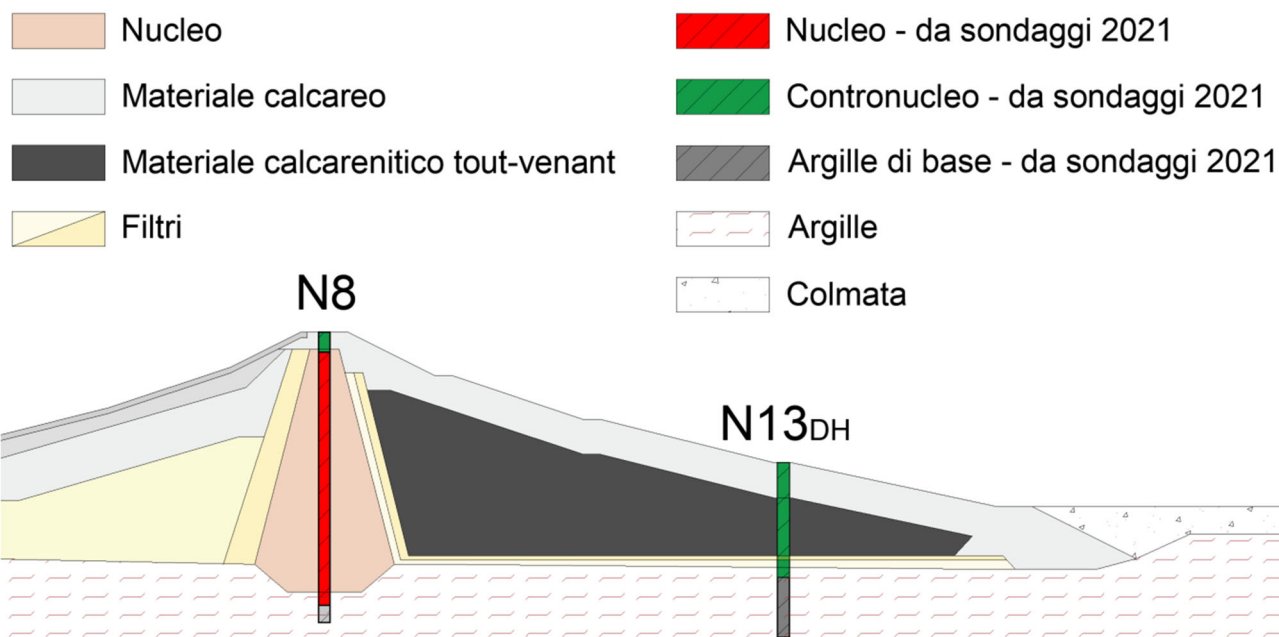


Figura 5-5 Sezione trasversale della diga numero 9 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N8 ed N13DH eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

Con riferimento ai due sondaggi N8 ed N13DH riportati nella Figura 5-5, si propongono di seguito le foto scattate ad una selezione di quattro cassette catalogatrici contenenti i diversi materiali componenti la sezione tipo della diga.

In Figura 5-6 si riporta la foto scattata alla cassetta catalogatrice numero 1 della perforazione di sondaggio N8 (0.0-5.0m). Si osservano circa 25cm di fondo stradale, materiale a grana grossa di natura prevalentemente calcarea (presumibilmente il medesimo materiale dei contronuclei) fino alla

profondità di circa 3.5m, dopodiché il materiale limo argilloso del nucleo della diga fino ai 5.0m di profondità.



Figura 5-6 Cassetta catalogatrice numero 1 della perforazione di sondaggio N8 (0.0-5.0m) contenente carote del sottofondo stradale e del nucleo della diga.

In Figura 5-7 si riporta la foto scattata alla cassetta catalogatrice numero 4 della perforazione di sondaggio N8 (15.0-20.0m) che contiene il materiale limo-argilloso del nucleo della diga.



Figura 5-7 Cassetta catalogatrice numero 4 della perforazione di sondaggio N8 (15.0-20.0m) contenente in materiale del nucleo.

In Figura 5-8 si riporta invece la foto scattata alla cassetta catalogatrice numero 2 della perforazione di sondaggio N13DH (5.0-10.0m) contenente il materiale ghiaioso di natura calcarea costituente il contronucleo di valle.



Figura 5-8 Cassetta catalogatrice numero 2 della perforazione di sondaggio N13DH (5.0-10.0m) contenente materiale del contronucleo.

In Figura 5-9 si riporta invece la foto scattata alla cassetta catalogatrice numero 5 della perforazione di sondaggio N13DH (20.0-25.0m) contenente le argille puddingoidi che costituiscono la formazione di base del contronucleo di valle della diga.



Figura 5-9 Cassetta catalogatrice numero 5 della perforazione di sondaggio N13DH (20.0-25.0m) contenente carote della formazione delle argille puddingoidi di base.

L'assetto stratigrafico in sponda sinistra e sponda destra è invece riassunto rispettivamente in Figura 5-10 e Figura 5-11. In sponda sinistra la stratigrafia è caratterizzata da un primo strato costituito da materiale grossolano di riporto dello spessore di circa 4.0m, seguito da una sottile lente di argilla dello spessore di circa 20cm e quindi dalla formazione delle argille del tortoniano su cui è fondato il contronucleo di monte della diga. In sponda destra è invece rinvenuta una prima formazione argillosa dello spessore di circa 4.6m seguita dalla formazione delle argille olistostromiche che ritroviamo affioranti al di sotto del nucleo della diga.

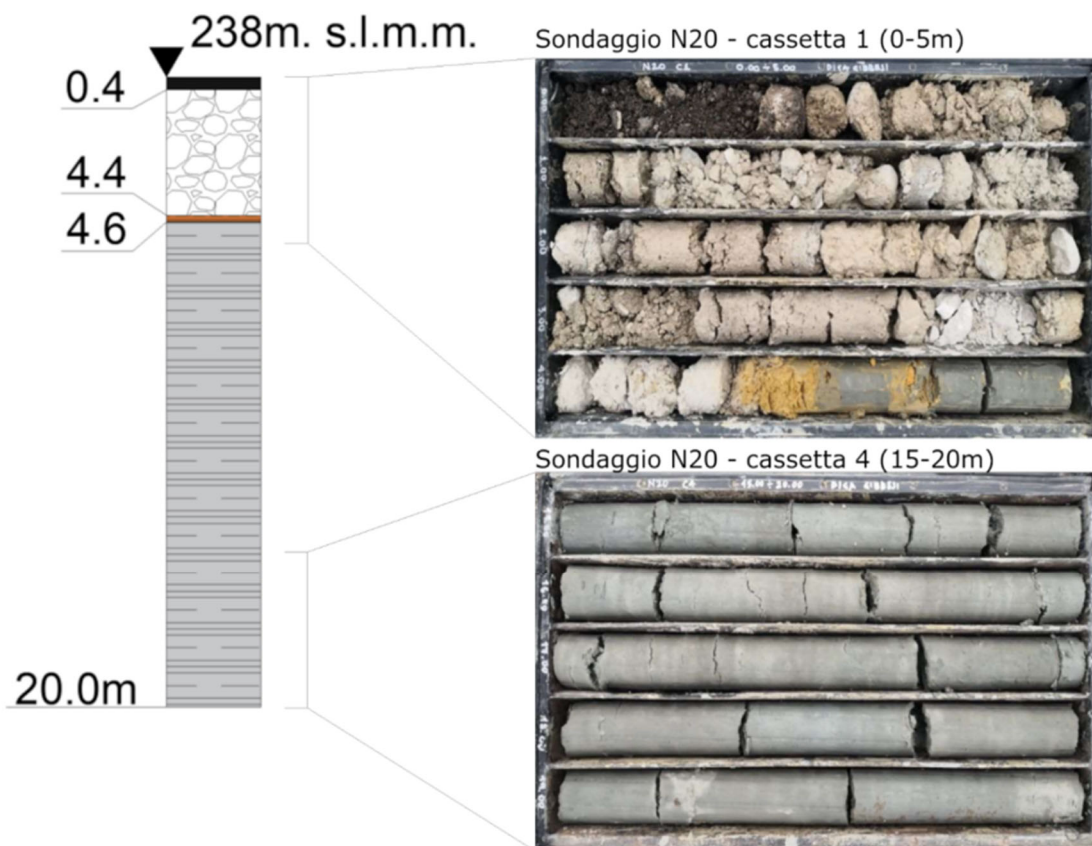


Figura 5-10 Colonna stratigrafica relativa alla perforazione di sondaggio N20 in sponda sinistra con fotografie delle cassette catalogatrici. La prima contiene il materiale del sottofondo stradale e materiale di riporto, la seconda le argille del tortoniano più profonde.

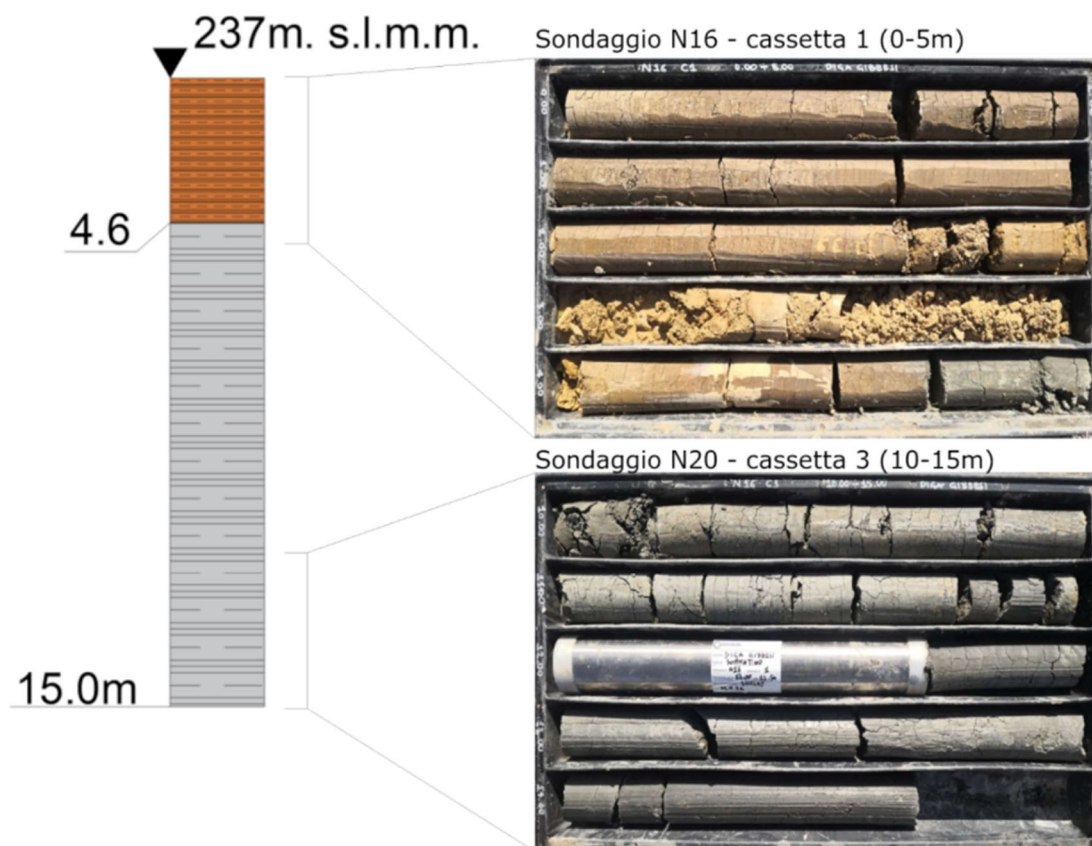


Figura 5-11 Colonna stratigrafica relativa alla perforazione di sondaggio N16 in sponda destra con fotografie delle cassette catalogatrici. La prima contiene la prima formazione argillosa di copertura mentre la seconda la formazione delle argille olistostromiche.

Sulla base delle stratigrafie dei sondaggi di progetto e di quelli eseguiti nel corso della campagna di indagini del 2021 si sono ricostruiti i rapporti opere – terreni in corrispondenza di nove sezioni del corpo diga, comprese le tre sezioni dove è installata la strumentazione geotecnica di controllo (sezioni 6, B, 14). Si ripropone anche la ricostruzione della sezione 9, prima riportata.

Come in precedenza, si sono evidenziati i terreni e i materiali carotati nel corso delle indagini del 2021 per un confronto immediato con gli elaborati progettuali. L'esame delle figure mostra anche in questo caso un sostanziale accordo tra lo stato di fatto e quello di progetto.

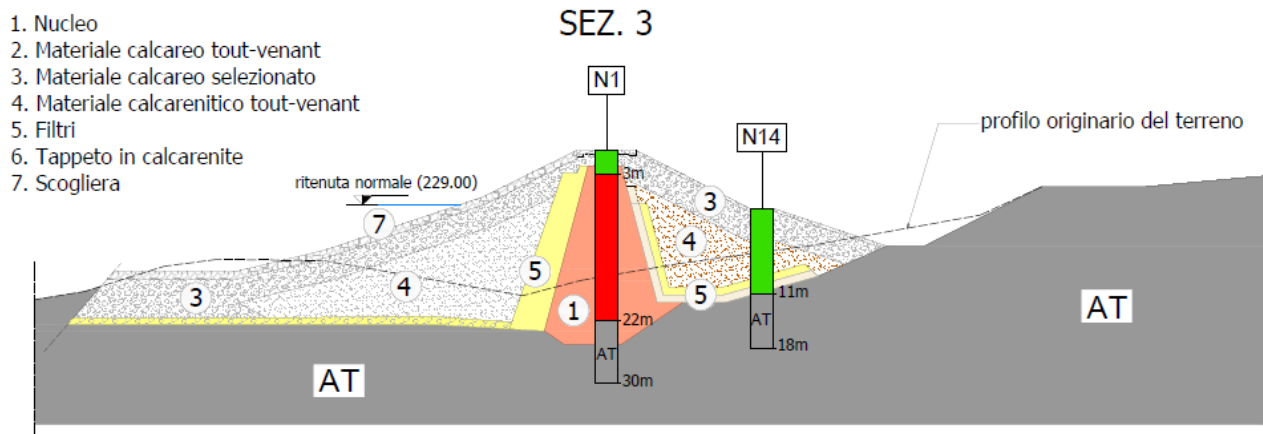


Figura 5-12 Sezione trasversale della diga numero 3 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N1 ed N14 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

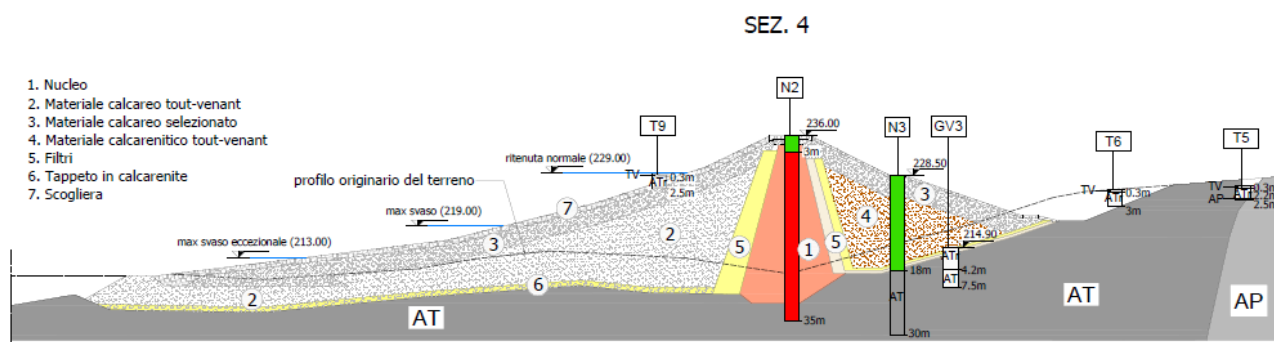


Figura 5-13 Sezione trasversale della diga numero 4 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N2 ed N3 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

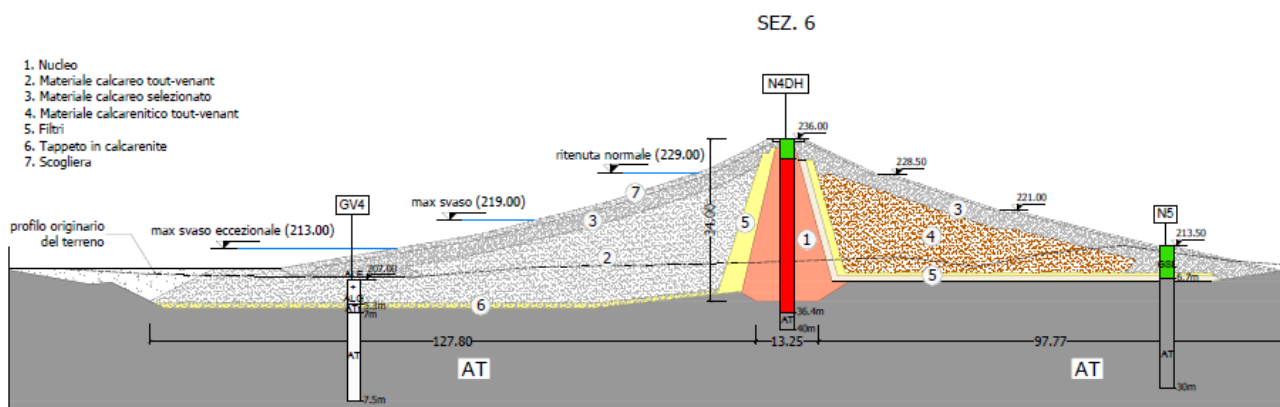


Figura 5-14 Sezione trasversale della diga numero 6 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N4DH ed N5 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

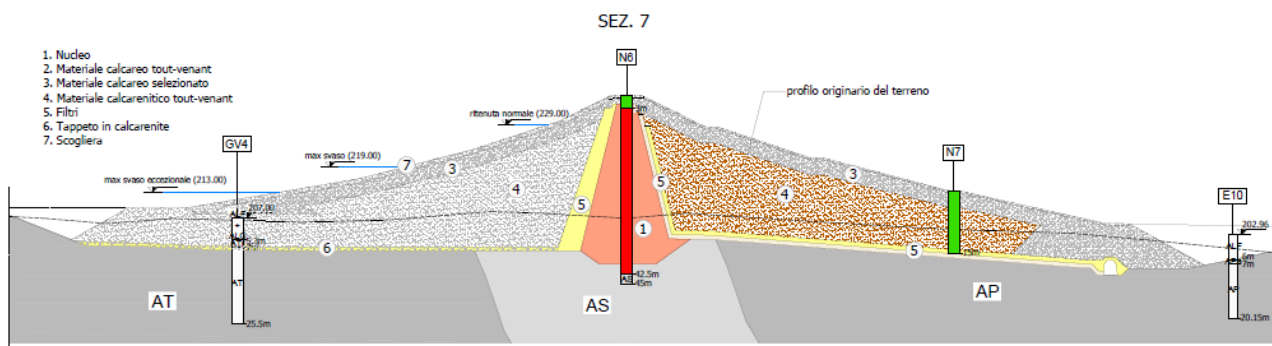


Figura 5-15 Sezione trasversale della diga numero 7 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N6 ed N7 eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

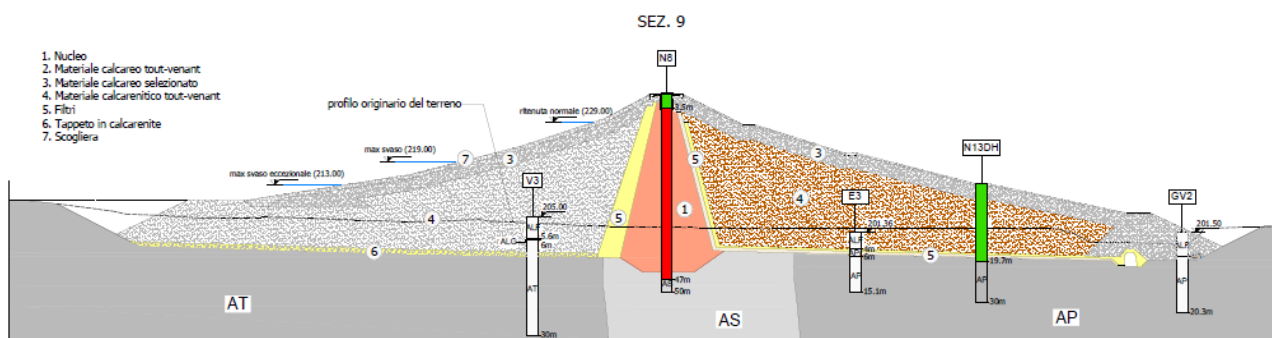


Figura 5-16 Sezione trasversale della diga numero 9 da progetto esecutivo con sovrapposizione dei sondaggi N8 ed N13DH eseguiti nella campagna d'indagine 2021.

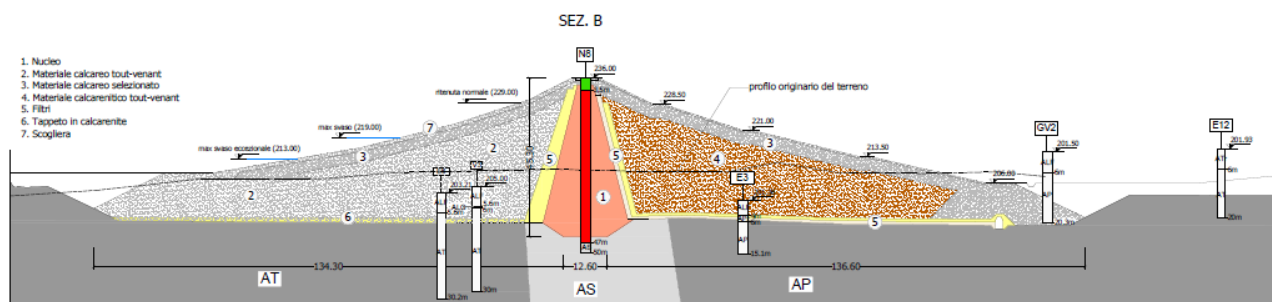


Figura 5-17 Sezione trasversale della diga B da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N8 eseguito nella campagna d'indagine 2021.

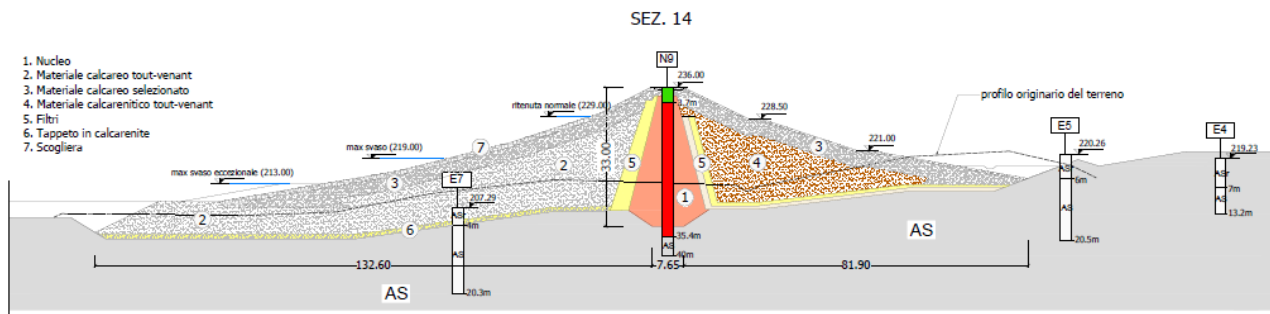


Figura 5-18 Sezione trasversale della diga numero 14 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N9 eseguito nella campagna d'indagine 2021.

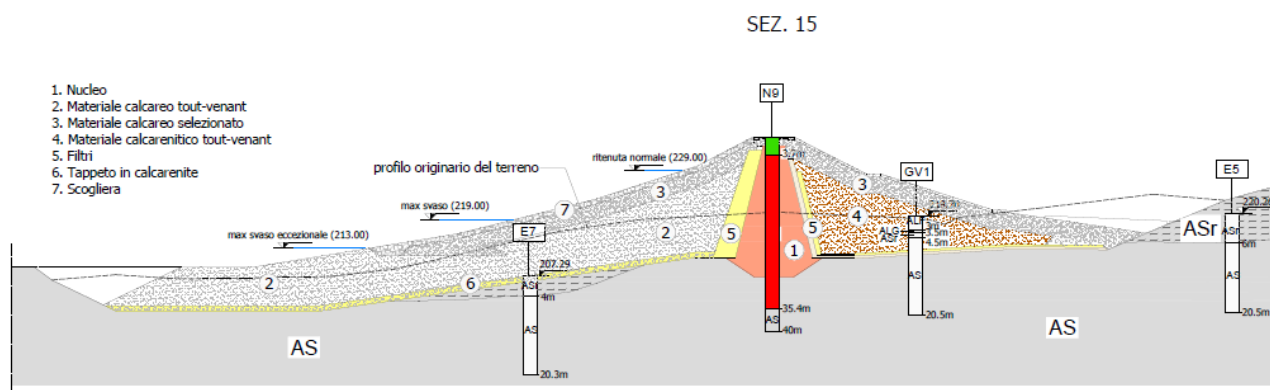


Figura 5-19 Sezione trasversale della diga numero 15 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N9 eseguito nella campagna d'indagine 2021.

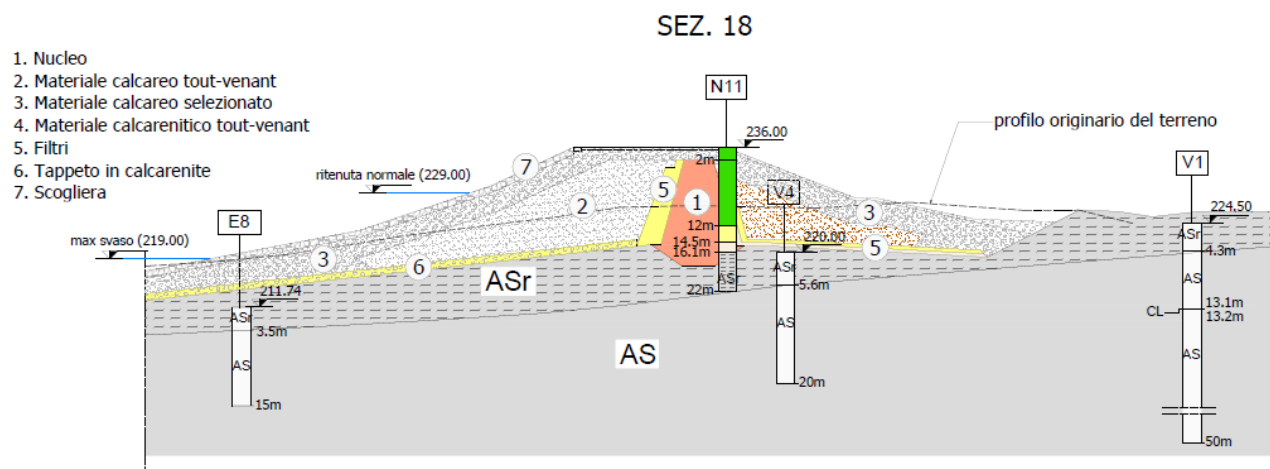


Figura 5-20 Sezione trasversale della diga numero 18 da progetto esecutivo con sovrapposizione del sondaggio N11 eseguito nella campagna d'indagine 2021.

5.2.1.2 Misure soniche

La velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno dei materiali costituenti il corpo diga è stata indagata mediante 3 prove in foro Down-hole e 3 prove di analisi multicanale delle onde di superficie MASW.

Come indicato sulla planimetria di Figura 5-21 le prove Down-hole sono state eseguite all'interno dei fori di sondaggio N4DH, N10DH, N13DH opportunamente condizionati. Le prove N4DH e N10DH sono state eseguite sul coronamento della diga, mentre la prova N13DH sulla terza berma di valle.

Le prove MASW1, MASW2 e MASW3 sono invece eseguite rispettivamente sul coronamento, sulla prima e sulla terza berma di valle.

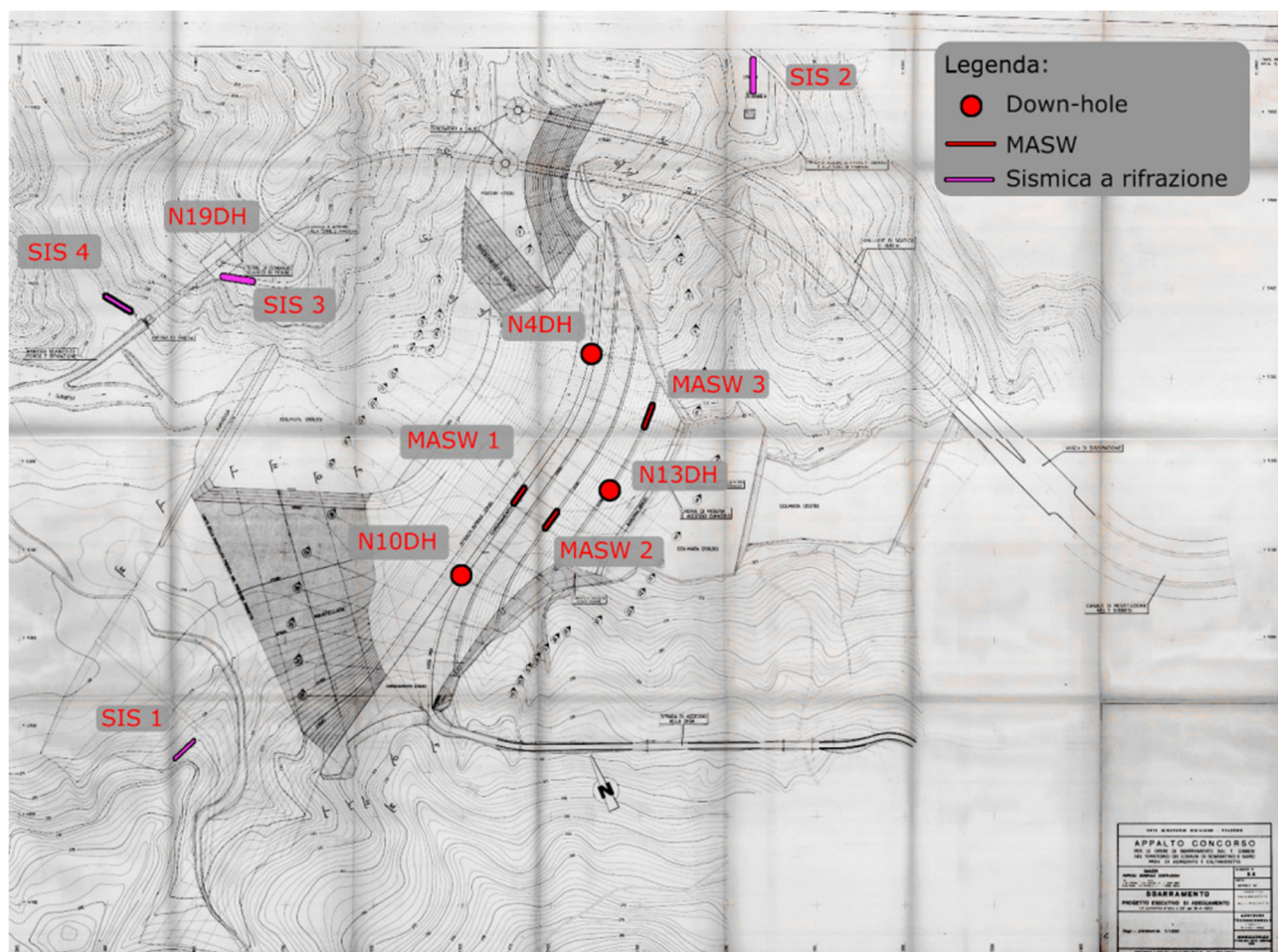


Figura 5-21 Planimetria della diga con indicazione delle misure soniche eseguite nell'ambito della campagna d'indagini del 2021.

I risultati delle misure soniche eseguite sul corpo diga sono diagrammati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio nelle figure seguenti. In ognuno dei diagrammi si riporta sullo sfondo la sezione trasversale della diga corrispondente alla prova eseguita; nell'analisi delle figure si tenga conto che le velocità V_s corrispondono all'asse verticale di ogni sezione.

In Tabella 5-1 si riportano i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio misurati nel nucleo, contronucleo di valle e formazione di base mediante le prove soniche.

Tabella 5-2 Velocità di propagazione delle onde di taglio (m/s) misurata nei materiali costituenti il corpo diga e nella formazione di base.

Materiale	Prova					
	N4DH	N10DH	N13DH	MASW1	MASW2	MASW3
Nucleo	792	719	\	323	\	\
Contronucleo	\	\	1263	\	531	497
Argille di base	1590	960	\	\	578	772

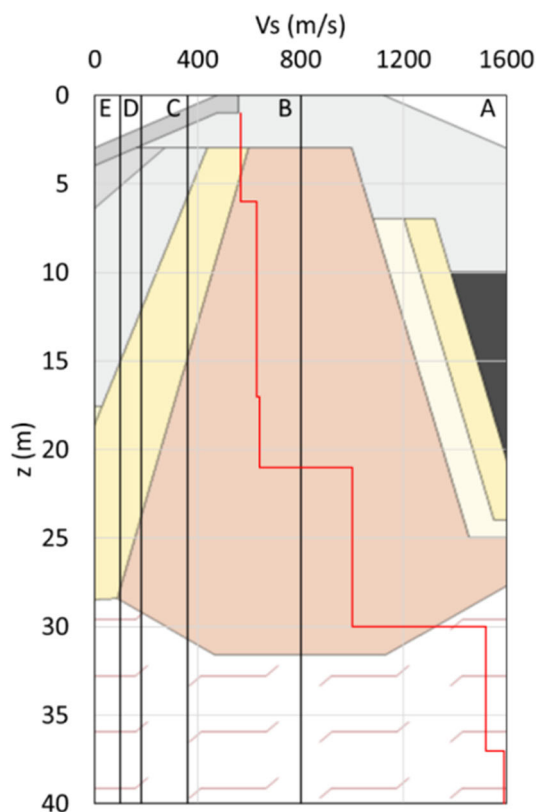


Figura 5-22 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N4DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

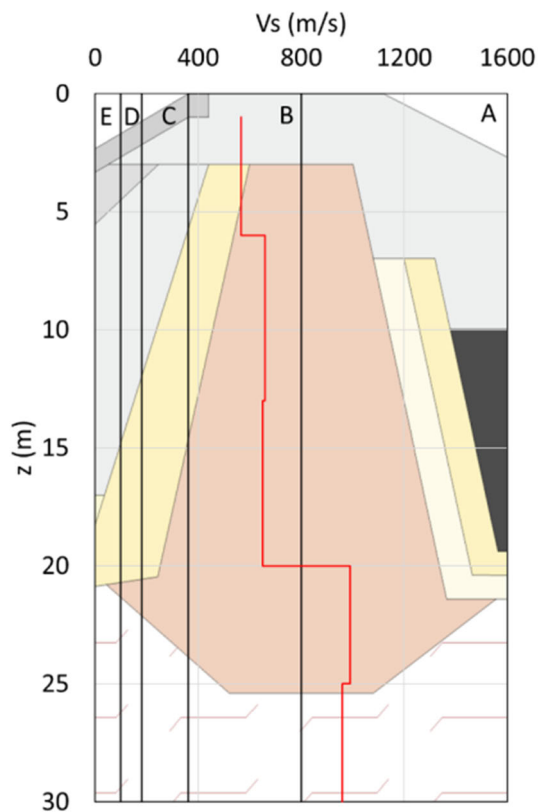


Figura 5-23 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N10DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

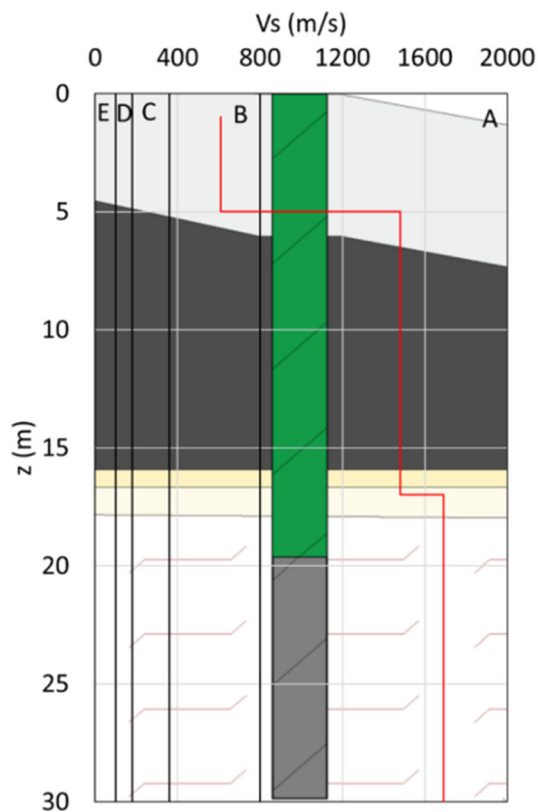


Figura 5-24 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova DH eseguita nella perforazione di sondaggio N10DH. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

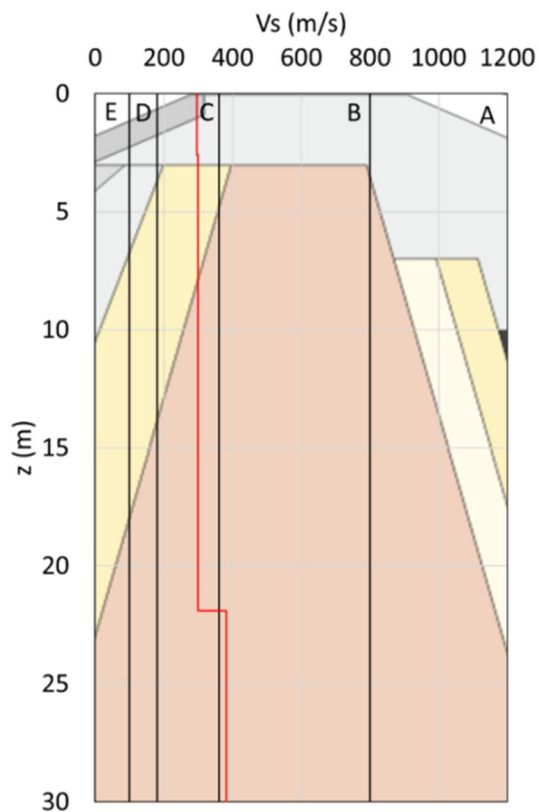


Figura 5-25 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW1 eseguita sul coronamento della diga. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

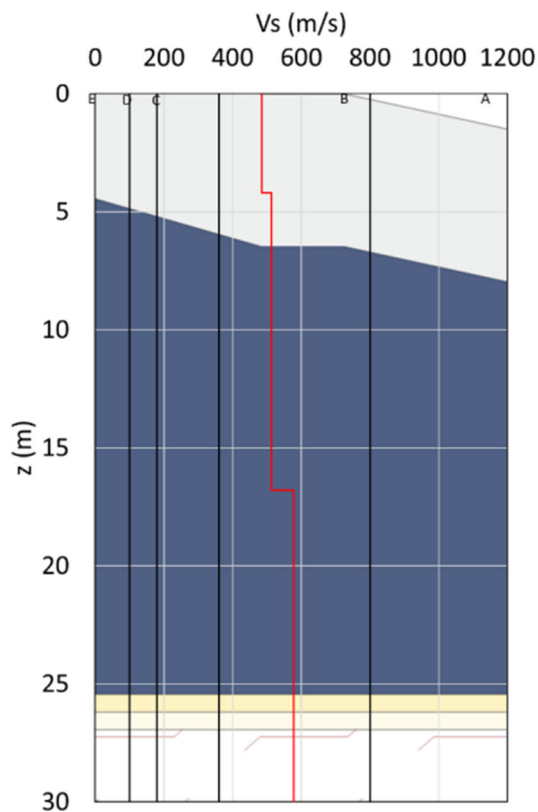


Figura 5-26 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW2 eseguita sulla seconda berma di valle. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

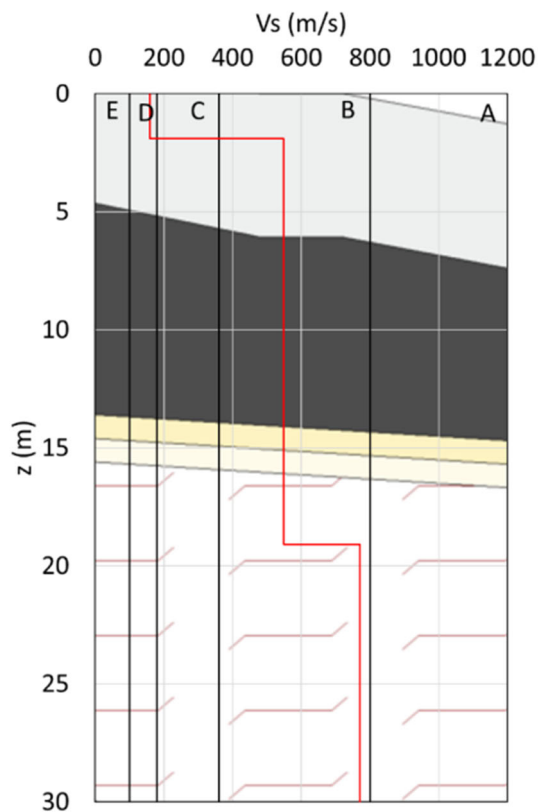


Figura 5-27 Andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio nel corpo diga. Prova MASW3 eseguita sulla terza berma di valle. Sullo sfondo la sezione trasversale della diga.

5.2.1.3 Misure piezometriche

Allo scopo di monitorare le quote piezometriche nel corpo diga, nelle spalle della diga ed a valle dell'invaso furono installati in corso d'opera 23 piezometri Casagrande e 3 celle piezometriche. La loro disposizione in pianta è rappresentata in Figura 5-28.

In sponda destra furono installati 9 piezometri contrassegnati dalla sigla "Pd".

In sponda sinistra furono installati 3 piezometri contrassegnati dalla sigla "Ps".

A valle del corpo diga furono installati ulteriori 9 piezometri contrassegnati dalla sigla "Pv".

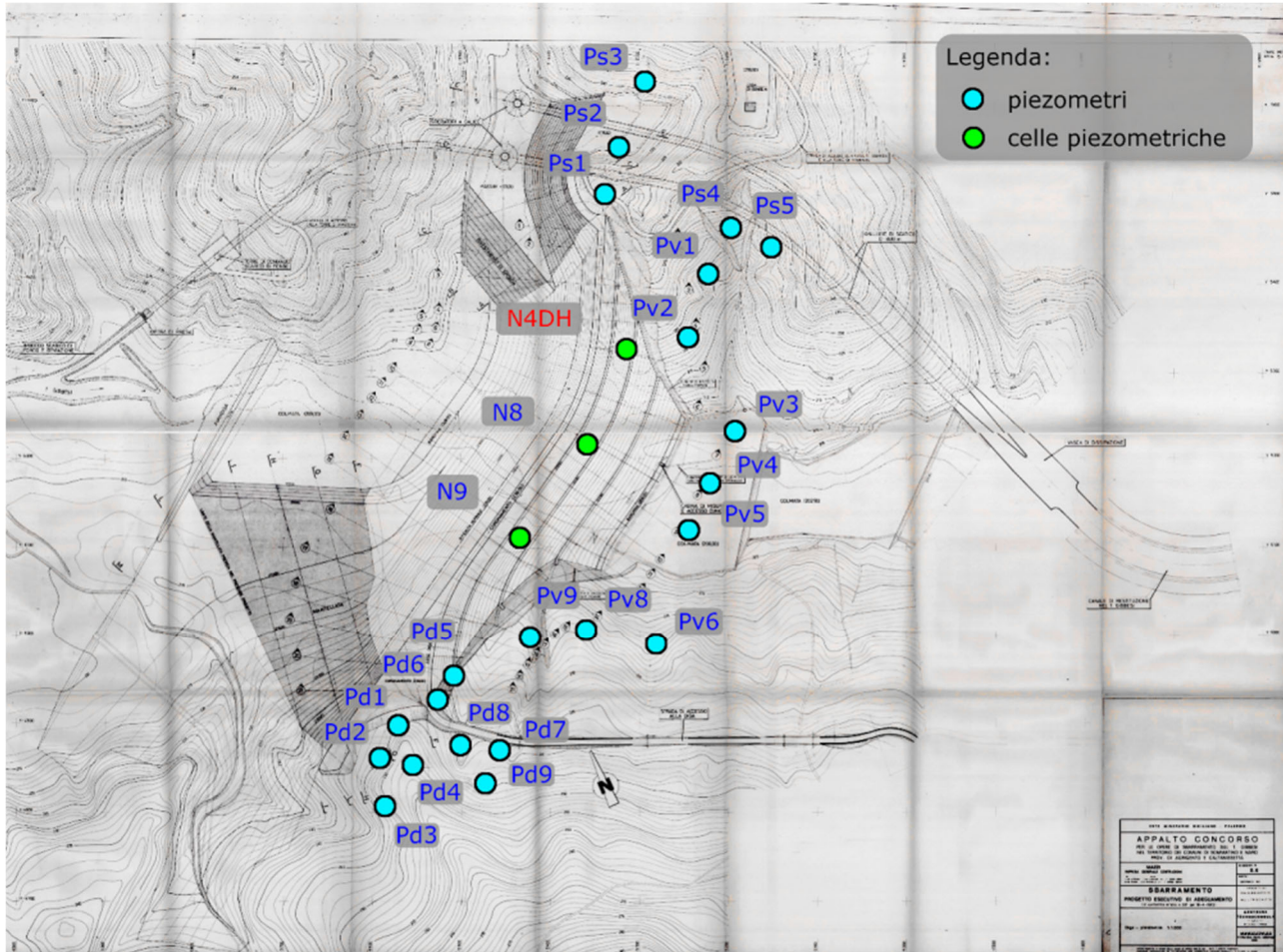


Figura 5-28 Vista planimetrica della diga con indicazione dei piezometri.

Le letture dei vari strumenti, analizzate in dettaglio nella relazione tecnica dello “Studio geotecnico interpretativo delle pressioni neutre e dei moti di filtrazione – elaborato D”, hanno mostrato un’efficace azione di abbattimento delle pressioni neutre del nucleo di tenuta.

Tale risultato è stato confermato dai risultati delle analisi di filtrazione eseguite mediante codice agli elementi finiti nell'ambito del medesimo studio.

Inoltre, nella zona delle sponde sono stati registrati livelli piezometrici posti a quote leggermente superiori all'invaso compatibili con la presenza di una falda che riceve alimentazione dai versanti circostanti.

5.2.1.4 Prove penetrometriche dinamiche SPT

La maggior parte delle prove SPT sono andate a rifiuto. Delle prove SPT eseguite all'interno del materiale del contronucleo di valle si riportano in Tabella 5-3 le tre prove che non sono andate a rifiuto. Le prime due sono state eseguite durante la perforazione di sondaggio N7, mentre la terza durante la perforazione di sondaggio N13DH.

Tabella 5-3 Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Sondaggio	z (m)	N _{SPT}	γ_{nat} (kN/m ³)	σ'_v (kPa)	Dr (%)	φ (°)
N7	3	62	20	60	100	46
N7	6	47	20	120	95	45
N13DH	4	44	20	80	100	46

Con z: profondità di prova, N_{SPT}: numero di colpi SPT, γ_{nat} : peso specifico naturale dell'unità di volume, σ'_v : tensione efficace verticale alla profondità di prova, Dr: densità relativa, φ : angolo d'attrito.

Il numero di colpi SPT è stato dapprima correlato alla densità relativa del materiale per mezzo dell'abaco proposto da Gibbs and Holtz (1957) (Figura 5-29), adottando un peso specifico del materiale del contronucleo di 20kN/m³ (così come da progetto esecutivo), dopodiché si è stimato l'angolo d'attrito mediante l'abaco di Schmertmann 1977 (Figura 5-30) considerando la curva relativa al “ghiaietto uniforme”.

La procedura illustrata ha rivelato una densità relativa Dr del materiale elevata, compresa tra il 95 ed il 100% ed un corrispondente angolo d'attrito compreso tra 45 e 46°.

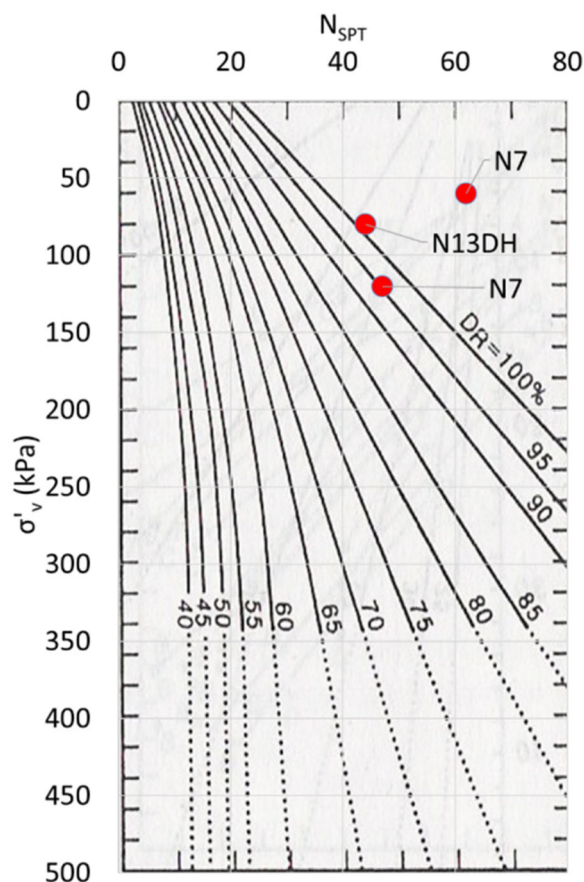


Figura 5-29 Risultati delle prove SPT riportati nel diagramma di Gibbs and Holtz (1957).

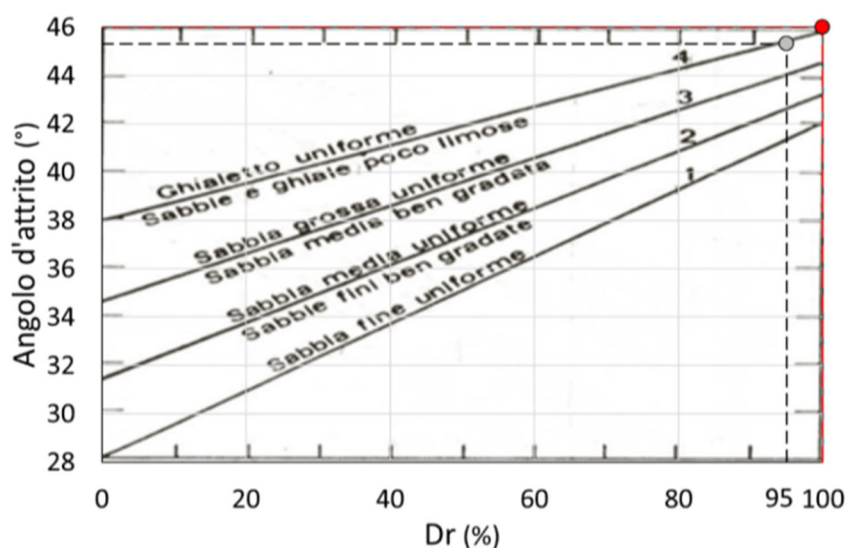


Figura 5-30 Risultati delle prove SPT riportati nel diagramma di Schmertmann (1977)

5.2.2 Prove di laboratorio

Durante l'esecuzione delle perforazioni di sondaggio descritte nel Paragrafo 5.2.1.1 sono stati prelevati N 23 campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove fisiche e meccaniche di laboratorio.

In Tabella 5-4 si riassume per ciascun campione indisturbato le tipologie di prove di laboratorio eseguite.

Tabella 5-4 Prove di laboratorio eseguite per ogni campione indisturbato.

Sondaggio	Campione	Formazione	GR	CF	LC	EDO	UCS	TD
N2	C1	LA	X	X	X	X	X	X
N2	C2	LA	X	X	X	X	X	X
N4-DH	C1	LA	X		X	X		
N6	C1	LA		X	X	X		X
N6	C2	AS	X	X	X	X	X	X
N8	C1	LA	X	X	X			X
N9	C1	LA	X	X	X	X		X
N10-DH	C1			X	X	X		X
N11	C1			X	X			
N12	C1	AS		X	X			X
N13-DH	C1	AP		X	X	X	X	X
N14	C1	AT	X	X	X	X		X
N15	C1	AS		X	X	X	X	X
N15	C2	AS		X	X	X		X
N16	C1	AS		X	X			X
N17	C1	AT	X		X			
N18	C1			X	X			X
N19	C2	AP		X	X	X	X	X
N20	C1	AT	X	X	X			X
N21	C1	AT	X	X	X		X	X
N23	C1	AT	X		X			

N24	C1	AT	X		X	X	X
N25-DH	C1	AT	X	X	X		X

con GR: granulometria, CF: caratterizzazione fisica, LC: limiti di consistenza, EDO: prova edometrica, UCS: prova di compressione uniassiale, TD: prova di taglio diretto.

5.2.2.1 Analisi granulometriche

Le curve granulometriche dei campioni estratti dal nucleo della diga, dalle tre formazioni argillose costituenti i materiali di fondazione (argille del tortoniano AT, argille olistostromiche AS ed argille puddingoidi AP) e dal contronucleo di valle sono riportate rispettivamente in Figura 5-31, Figura 5-32 e Figura 5-33.

Sulla base delle curve granulometriche il materiale costituente il nucleo (Figura 5-31) può essere classificato come argilla con limo sabbioso.

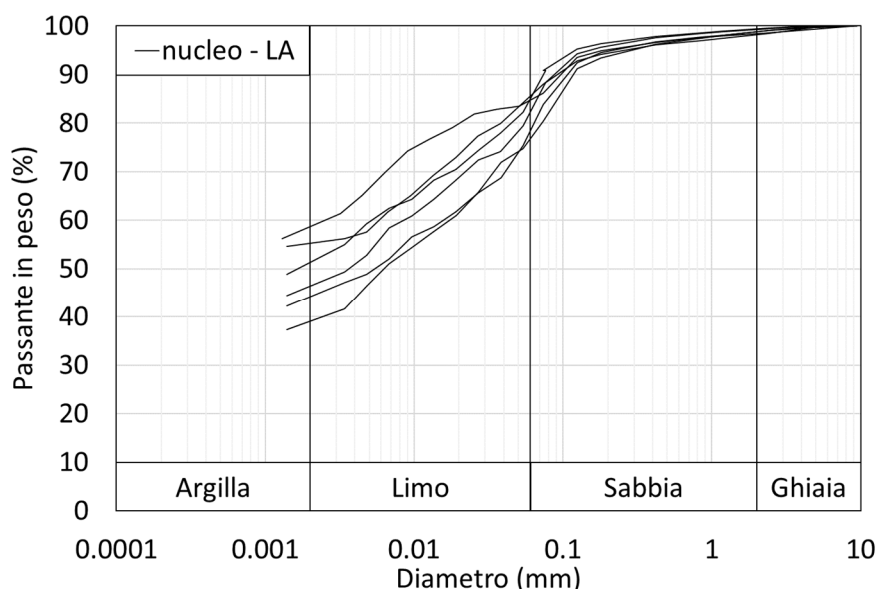


Figura 5-31 Curve granulometriche dei campioni estratti dal nucleo della diga.

L'osservazione delle curve riportate in Figura 5-32 mostra che dal punto di vista della granulometria le tre formazioni di base ricadono all'interno di un unico fuso granulometrico corrispondente ad un'argilla con limo sabbioso.

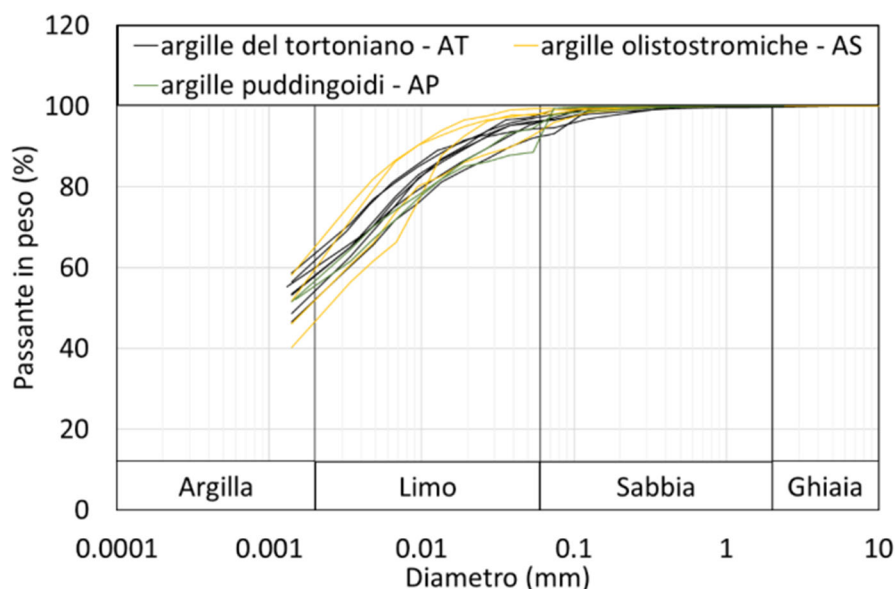


Figura 5-32 Curve granulometriche dei campioni estratti dalle tre formazioni argillose di base: argille del tortoniano, argille olistostromiche ed argille puddingoidi.

Il materiale costituente il contronucleo, sulla base delle curve granulometriche riportate in Figura 5-33, è classificabile come ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa.

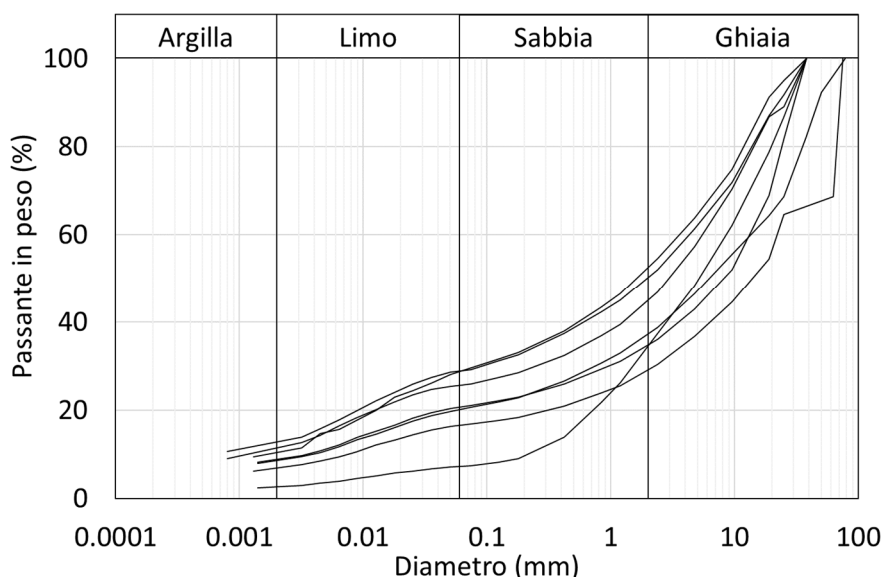


Figura 5-33 Curve granulometriche dei campioni prelevati dal contronucleo di valle della diga.

5.2.2.2 Prove di caratterizzazione fisica

In Figura 5-34 e Figura 5-35 si riportano i risultati delle prove di caratterizzazione fisica eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga e dalle formazioni di base, in funzione della quota di prelievo.

La Figura 5-34 mostra valori dei parametri fisici del materiale costituente il nucleo caratterizzati da una bassa variabilità, a testimonianza di una posa in opera omogenea del materiale. I valori medi risultano: peso specifico naturale $\gamma_{nat} = 20.5 \text{ kN/m}^3$, peso specifico asciutto $\gamma_d = 16.7 \text{ kN/m}^3$ e porosità $n = 0.36$.

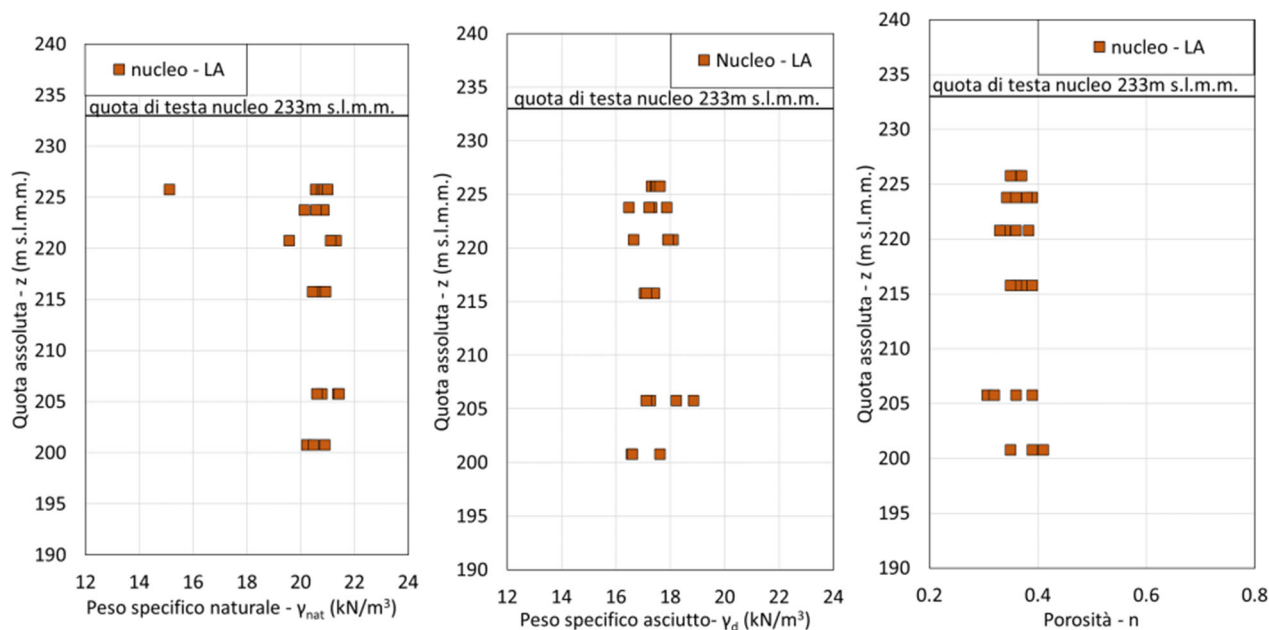


Figura 5-34 Peso dell'unità di volume naturale, peso dell'unità di volume asciutta e porosità in funzione della quota di prelievo dei campioni per il materiale del nucleo della diga.

La Figura 5-35 mostra invece per le formazioni di base (argille del tortoniano - AT, argille olistostromiche - AS ed argille puddingoidi - AP) valori dei parametri fisici più eterogenei, ma che comunque ricadono all'interno di un unico fuso senza una netta distinzione tra le tre formazioni. I valori medi risultano: peso specifico naturale $\gamma_{nat} = 19.5 \text{ kN/m}^3$, peso specifico asciutto $\gamma_d = 14.1 \text{ kN/m}^3$ e porosità $n = 0.43$.

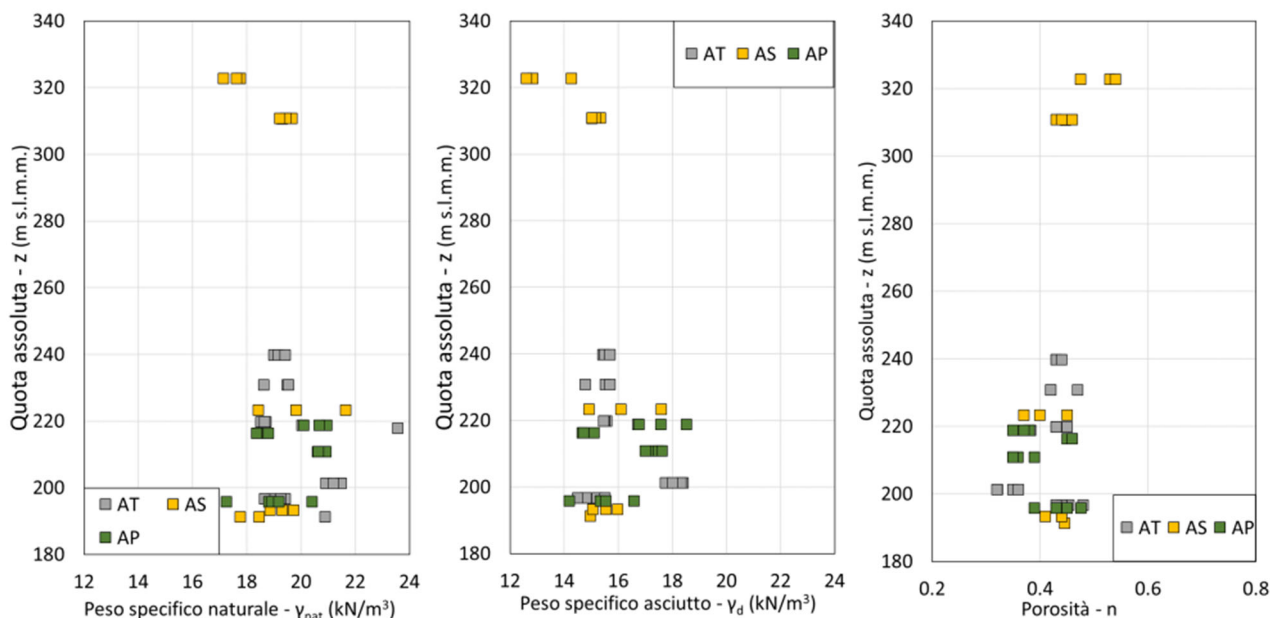


Figura 5-35 Peso dell'unità di volume naturale, peso dell'unità di volume asciutta e porosità in funzione della quota di prelievo dei campioni per i materiali della formazione di base: argille del tortoniano (AT), argille olistostromiche (AS) ed argille puddingoidi (AP).

I valori medi delle caratteristiche fisiche dei materiali sono riassunti in Tabella 5-5.

Tabella 5-5 Valori medi Caratteristiche fisiche medie (γ_{nat} , γ_d , n) delle formazioni.

Formazione	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n
Nucleo	20.5	16.7	0.36
Argille del tortoniano - AT	19.8	15.6	0.42
Argille olistostromiche - AS	18.8	14.8	0.46
Argille puddingoidi - AP	19.7	16.3	0.40

5.2.2.3 Limiti di consistenza

Sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base sono state eseguite misure del contenuto d'acqua naturale (w), dei limiti di consistenza (limite liquido - w_l e limite plastico w_p) e sono stati quindi calcolati l'indice di plasticità (I_p) e l'indice di consistenza (I_c).

I risultati delle analisi di consistenza eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base sono riassunti sinteticamente in Tabella 5-6.

Tabella 5-6 Risultati delle prove di consistenza eseguite sui campioni prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base.

Sondaggio	Campione	Z _{camp} (m)	formazione	w	w _p	w _l	I _p	I _c
N2	C1	225.75	nucleo - LA	0.18	0.17	0.49	0.32	0.96
N10-DH	C1	223.75	nucleo - LA	0.18	0.17	0.48	0.31	0.95
N6	C1	220.75	nucleo - LA	0.19	0.15	0.44	0.28	0.89
N4-DH	C1	215.75	nucleo - LA	0.20	0.16	0.44	0.28	0.87
N9	C1	205.75	nucleo - LA	0.19	0.14	0.37	0.23	0.79
N2	C2	201.25	nucleo - LA	0.16	0.16	0.44	0.28	0.99
N8	C1	200.75	nucleo - LA	0.20	0.17	0.54	0.37	0.91
N14	C1	218.75	argille del tortoniano - AT	0.20	0.20	0.70	0.49	1.01
N23	C1	211.75	argille del tortoniano - AT	0.18	0.23	0.74	0.51	1.10
N4-DH	C2	198.18	argille del tortoniano - AT	0.22	0.24	0.77	0.53	1.03
N21	C1	217.75	argille del tortoniano - AT	0.19	0.25	0.82	0.57	1.11
N20	C1	230.75	argille del tortoniano - AT	0.25	0.23	0.62	0.39	0.95
N25-DH	C1	239.70	argille del tortoniano - AT	0.28	0.27	0.77	0.50	0.98
N17	C1	190.25	argille del tortoniano - AT	0.22	0.25	0.83	0.58	1.05
N24	C1	196.65	argille del tortoniano - AT	0.31	0.21	0.84	0.64	0.84
N12	C1	223.25	argille olistostromiche - AS	0.23	0.27	0.99	0.73	1.05
N6	C2	191.25	argille olistostromiche - AS	0.24	0.21	0.60	0.39	0.91
N15	C2	310.65	argille olistostromiche - AS	0.27	0.34	1.17	0.83	1.07
N15	C1	322.65	argille olistostromiche - AS	0.33	0.32	1.02	0.70	0.98
N16	C1	224.75	argille olistostromiche - AS	0.15	0.16	0.45	0.29	1.03
N13-DH	C1	195.75	argille puddingoidi - AP	0.25	0.22	0.90	0.69	0.95
N19	C2	210.75	argille puddingoidi - AP	0.19	0.17	0.78	0.61	0.97
N18	C1	216.25	argille puddingoidi - AP	0.26	0.26	0.60	0.34	0.97
N19	C1	230.75	argille puddingoidi - AP	0.23	0.21	0.69	0.48	0.96

In Figura 5-36 sono riportati i risultati delle analisi di consistenza sul materiale del nucleo, in funzione della quota di prelievo dei campioni. I grafici mostrano una buona consistenza del materiale, con valori del contenuto d'acqua prossimi al limite plastico del materiale ed un indice di consistenza medio $I_c=0.91$ (Figura 5-37).

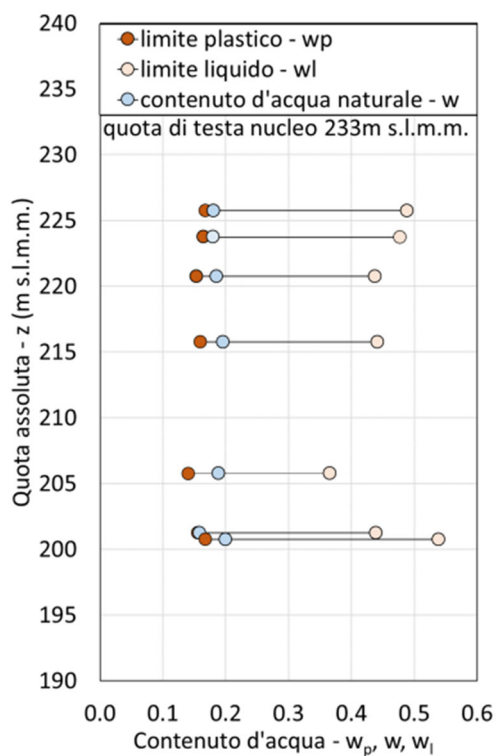


Figura 5-36 Risultati delle analisi di consistenza eseguite sul materiale del nucleo in funzione della quota di prelievo dei campioni.

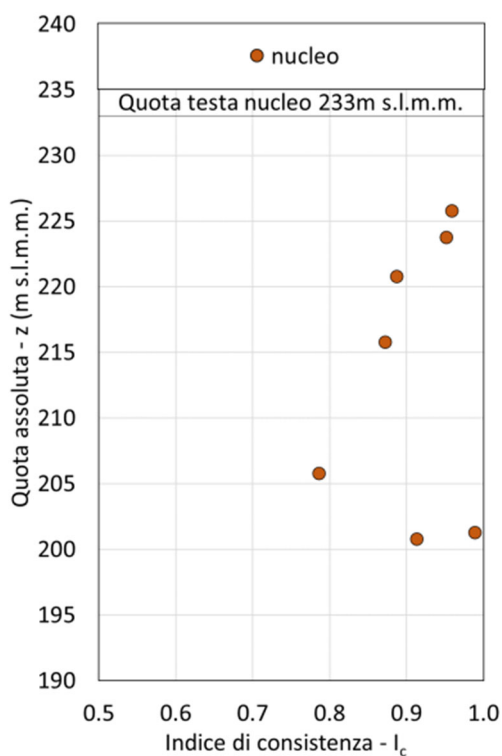


Figura 5-37 Indice di consistenza del materiale del nucleo della diga in funzione della quota di prelievo dei campioni.

I risultati delle analisi di consistenza eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base sono riportati in Figura 5-38 e mostrano anch'essi contenuti d'acqua prossimi al limite plastico dei materiali. In particolare, la Figura 5-39 mostra un valore medio dell'indice di consistenza $I_c=1.0$.

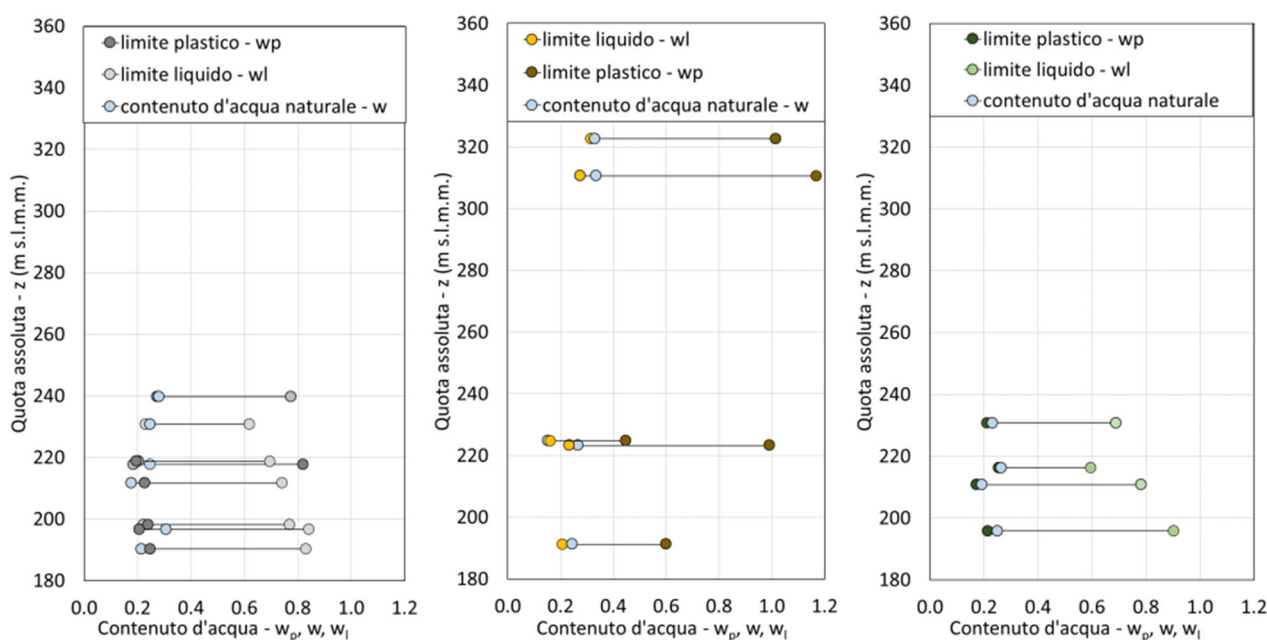


Figura 5-38 Risultati delle analisi di consistenza in funzione della quota di prelievo dei campioni per i materiali della formazione di base: argille del tortoniano (AT), argille olistostromiche (AS) ed argille puddingoidi (AP).

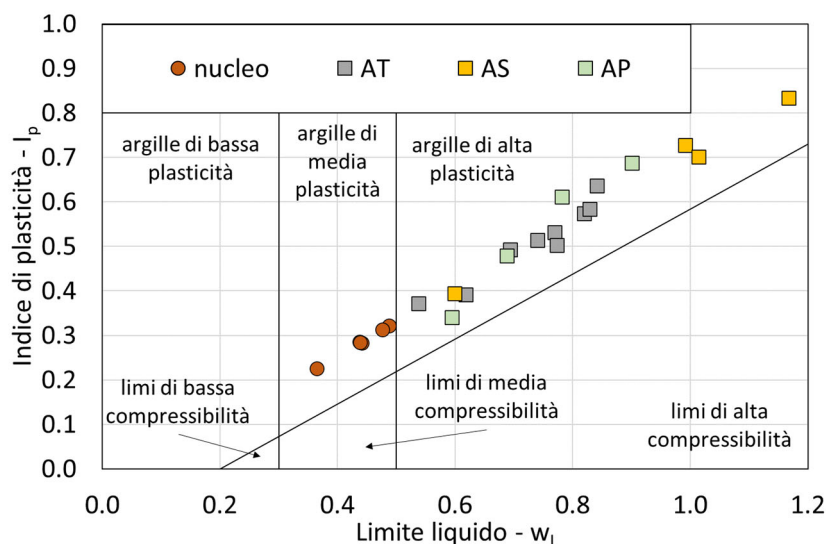


Figura 5-40 Risultati delle analisi di consistenza eseguite sui materiali del nucleo e della formazione di base (argille del tortoniano - AT, argille olistostromiche -AS ed argille puddingoidi AP) riportati sulla carta di Casagrande.

Infine, in Tabella 5-7 si riassumono i valori medi dei limiti di consistenza, contenuti d'acqua ed indici di plasticità e consistenza per le diverse formazioni.

Tabella 5-7 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di consistenza.

Formazione	w	w _p	w _l	I _p	I _c
nucleo – LA	0.18	0.16	0.46	0.30	0.93
argille del tortoniano – AT	0.23	0.23	0.76	0.53	1.00
argille olistostromiche – AS	0.25	0.26	0.94	0.68	1.01
argille puddingoidi - AP	0.23	0.21	0.76	0.55	0.96

5.2.2.4 Prove di taglio diretto

Sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base sono state eseguite prove di taglio diretto per la determinazione dei parametri di resistenza.

In Figura 5-41 si riportano nel piano di Mohr i risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini del materiale del nucleo della diga, mentre in Tabella 5-8 si indicano per ciascun provino i parametri meccanici ricavati dalle prove suddette. I risultati mostrano valori sostanzialmente omogenei di angolo d'attrito e coesione del nucleo con valori medi $\phi=24^\circ$ e $c=33\text{kPa}$.

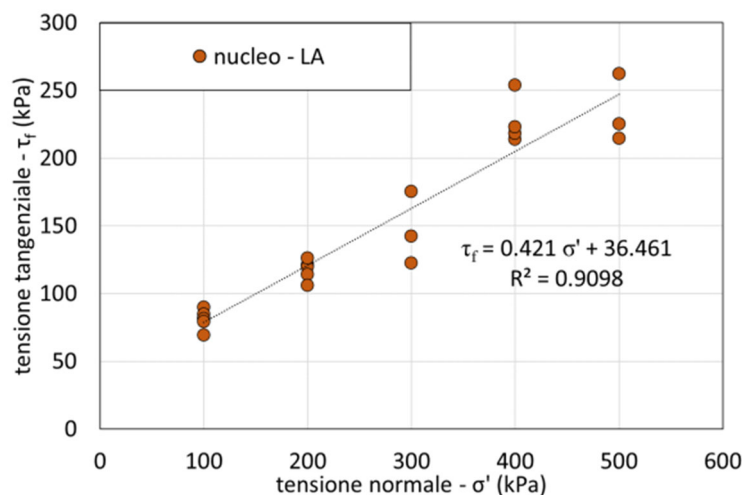


Figura 5-41 Risultati delle prove di taglio diretto rappresentati nel piano di Mohr per i provini ricavati dai campioni indisturbati del nucleo.

Tabella 5-8 Risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini del nucleo.

Sondaggio	Campione	z _{campione} (m)	formazione	φ (°)	c (kPa)
N2	C1	225.75	nucleo - LA	23.96	35.23
N2	C2	201.25	nucleo - LA	23.33	46.36
N6	C1	220.75	nucleo - LA	24.36	35.19
N9	C1	205.75	nucleo - LA	19.78	41.88
N10-DH	C1	223.75	nucleo - LA	32.09	0.00
N4-DH	C1	215.75	nucleo - LA	26.34	20.47
N8	C1	200.75	nucleo - LA	17.65	48.23

In Figura 5-42 si riportano nel piano di Mohr i risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini prelevati dalle formazioni argillose di base, mentre in Tabella 5-9 si indicano per ciascun provino i relativi parametri meccanici. I risultati mostrano valori omogenei di angolo d'attrito e coesione per le tre formazioni argillose con valori medi $\varphi=25^\circ$ e $c=21$ kPa.

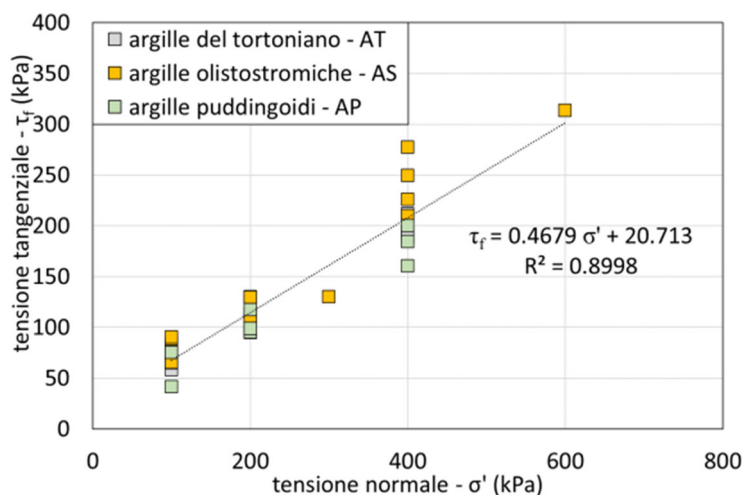


Figura 5-42 Risultati delle prove di taglio diretto rappresentati nel piano di Mohr per i provini ricavati dai campioni indisturbati delle formazioni di base.

Tabella 5-9 Risultati delle prove di taglio diretto eseguite sui provini delle formazioni di base.

Sondaggio	Campione	Z _{campione} (m)	formazione	φ (°)	c (kPa)
N21	C1-1	219.75	argille del tortoniano - AT	23.33	26.26
N20	C1-1	230.75	argille del tortoniano - AT	25.07	23.77
N25-DH	C1-1	239.70	argille del tortoniano - AT	19.72	42.24
N24	C1-1	196.65	argille del tortoniano - AT	22.59	32.54
N6	C2-1	193.25	argille olistostromiche - AS	28.21	0.00
N12	C1-1	223.25	argille olistostromiche - AS	35.26	0.00
N15	C2-1	310.75	argille olistostromiche - AS	25.82	32.47
N15	C1-1	322.65	argille olistostromiche - AS	17.91	32.02
N16	C1-1	224.75	argille olistostromiche - AS	29.04	19.56
N13-DH	C1-1	195.75	argille puddingoidi - AP	27.82	0.00
N19	C2-1	210.75	argille puddingoidi - AP	15.16	54.59
N18	C1-1	216.25	argille puddingoidi - AP	20.39	32.75
N14	C1-1	218.75	argille puddingoidi - AP	32.09	5.15

Infine, nella Tabella 5-10 si riassumono i valori medi dei parametri di resistenza medi misurati per le diverse formazioni.

Tabella 5-10 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di consistenza.

Formazione	φ (°)	c (kPa)
nucleo - LA	24	33
argille del tortoniano - AT	23	31
argille olistostromiche - AS	27	17
argille puddingoidi - AP	24	23

5.2.2.5 Prove di compressione uniassiale

Sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo e dalle formazioni di base sono state eseguite prove di compressione uniassiale (alias non confinata) per la misura della resistenza a compressione dei materiali.

In Figura 5-43 sono riportati i risultati delle prove di compressione uniassiale eseguite sui provini del nucleo e delle formazioni di base, in termini di curve tensione-deformazione, mentre in Tabella 5-11 si riportano i risultati ottenuti per i singoli provini in termini di resistenza a compressione (σ_c) e coesione non drenata (c_u).

I risultati ottenuti dalle prove di compressione presentano una marcata variabilità come tipico di queste prove in quanto fortemente influenzate dalla qualità dei provini e dallo stato di alterazione naturale.

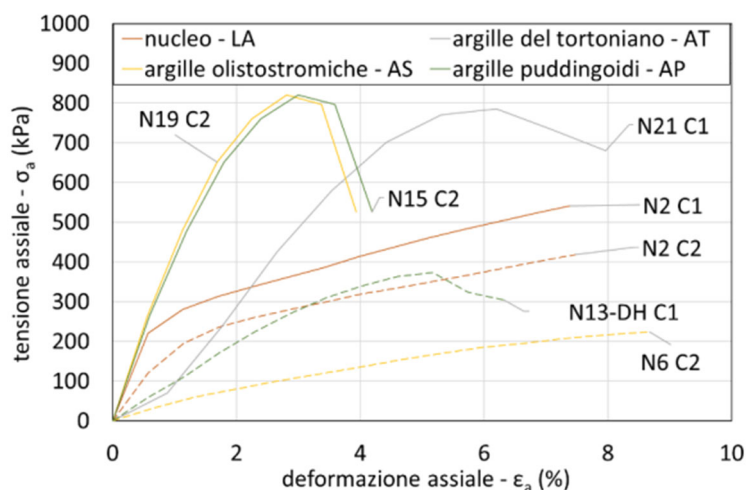


Figura 5-43 Risultati delle prove di compressione uniassiale eseguite sui provini del nucleo e delle formazioni di base rappresentati in termini di curve tensione-deformazione.

Tabella 5-11 Risultati delle prove di compressione uniassiale eseguite sui provini del nucleo e delle formazioni di base.

Sondaggio	Campione	Z _{campione} (m)	formazione	σ_c (kPa)	c_u (kPa)
N2	C1	225.75	nucleo - LA	541	270
N2	C2	191.25	nucleo - LA	418	209
N21	C1	217.75	argille del tortoniano - AT	786	393
N15	C2	310.75	argille olistostromiche - AS	821	410
N6	C2	191.25	argille olistostromiche - AS	225	212
N13-DH	C1	195.75	argille puddingoidi - AP	374	187
N19	C2	210.75	argille puddingoidi - AP	821	410

In Tabella 5-12 si riassumono i valori medi della resistenza a compressione e della coesione non drenata stimati per le diverse formazioni.

Tabella 5-12 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di compressione uniassiale.

Formazione	σ_c (kPa)	c_u (kPa)
nucleo - LA	480	240
argille del tortoniano - AT	786	393
argille olistostromiche - AS	821	410

argille puddingoidi - AP

821

410

5.2.2.6 Prove edometriche

Le caratteristiche di comprimibilità dei materiali sono state indagate per mezzo di prove edometriche su campioni indisturbati prelevati dalle differenti formazioni.

I risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga sono rappresentati in Figura 5-44 nel piano indice dei vuoti (e) tensione verticale efficace (σ'_v) e riassunti in Tabella 5-13. Si osservano valori dei coefficienti di comprimibilità piuttosto omogenei con un indice di comprimibilità medio $C_c=0.17$ ed un indice di rigonfiamento $C_s=0.06$.

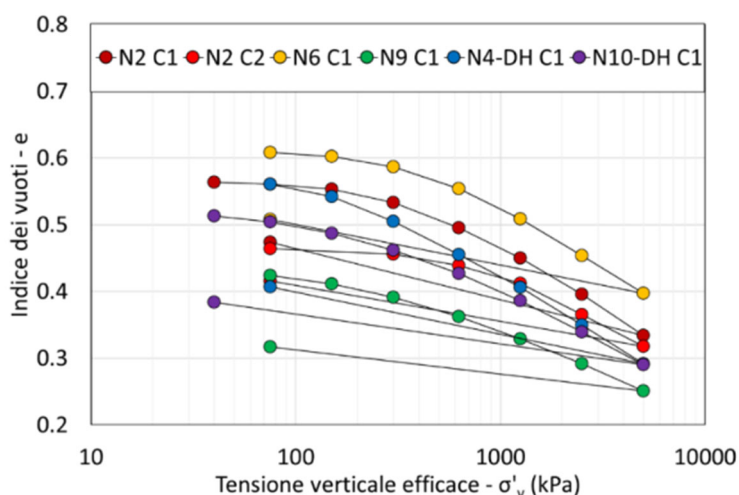


Figura 5-44 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga nel piano indice dei vuoti – tensione verticale efficace.

Tabella 5-13 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga.

Sondaggio	Campione	z_{camp} (m)	formazione	C_c	C_s	p'_c (kPa)	$\sigma'_{v,0}$ (kPa)	OCR
N2	C1	225.75	nucleo - LA	0.21	0.08	500.00	205.00	2.44
N2	C2	201.25	nucleo - LA	0.16	0.05	1300.00	695.00	1.87
N6	C1	222.75	nucleo - LA	0.19	0.06	620.00	305.00	2.03
N9	C1	205.75	nucleo - LA	0.14	0.04	680.00	605.00	1.12
N4-DH	C1	215.75	nucleo - LA	0.19	0.06	300.00	405.00	0.74
N10-DH	C1	220.75	nucleo - LA	0.16	0.04	310.00	305.00	1.02

Il coefficiente di permeabilità è stato ricavato dal coefficiente di consolidazione verticale ottenuto dalle prove edometriche.

I risultati delle medesime prove eseguite sul nucleo sono diagrammati in Figura 5-45 in termini di permeabilità (k) in funzione della tensione verticale efficace (σ'_v). In accordo con lo stato tensionale geostatico nel nucleo della diga, si stimano valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-8} 10^{-9} cm/s.

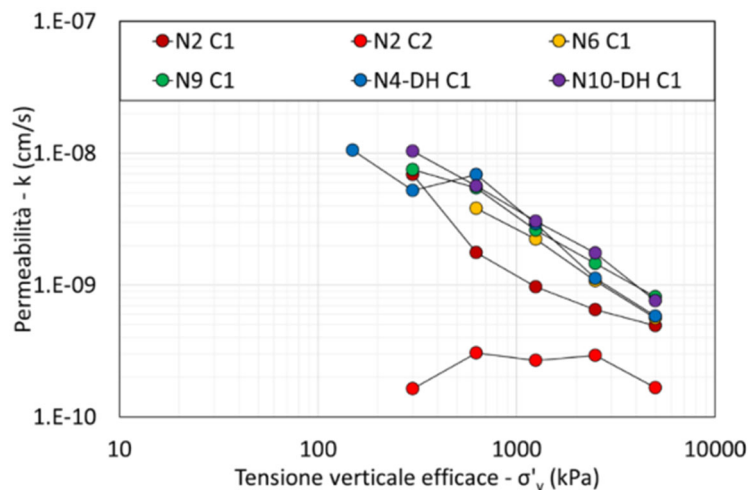


Figura 5-45 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dal nucleo della diga nel piano permeabilità – tensione verticale efficace.

I risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle tre formazioni di base della diga sono rappresentati in Figura 5-46 nel piano indice dei vuoti (e) tensione verticale efficace (σ'_v) e riassunti in Tabella 5-14.

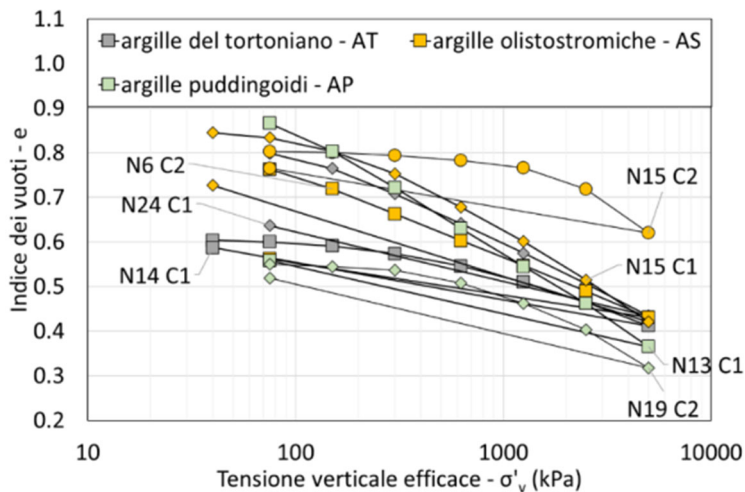


Figura 5-46 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga nel piano indice dei vuoti – tensione verticale efficace.

Tabella 5-14 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga.

Sondaggio	Campione	Z _{camp} (m)	formazione	C _c	C _s	p' _c (kPa)	σ' _{v,0} (kPa)	OCR
N14	C1	218.75	argille del tortoniano - AT	0.18	0.08	650.00	245.00	2.65
N24	C1	196.75	argille del tortoniano - AT	0.24	0.11	360.00	505.00	0.71
N6	C2	191.25	argille olistostromiche - AS	0.20	0.07	150.00	895.00	0.17
N15	C1	322.65	argille olistostromiche - AS	0.31	0.15	250.00	67.00	3.73
N15	C2	310.65	argille olistostromiche - AS	0.33	0.08	1800.00	307.00	5.86
N13	C1	195.75	argille puddingoidi - AP	0.32	0.11	590.00	405.00	1.46

N19 C2 210.75 argille puddingoidi - AP 0.28 0.11 920.00 505.00 1.82

I risultati delle medesime prove eseguite sulle formazioni di base sono diagrammati in Figura 5-47 in termini di permeabilità (k) in funzione della tensione verticale efficace (σ'_v). In accordo con lo stato tensionale geostatico nei materiali di base, si stimano valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-9} cm/s.

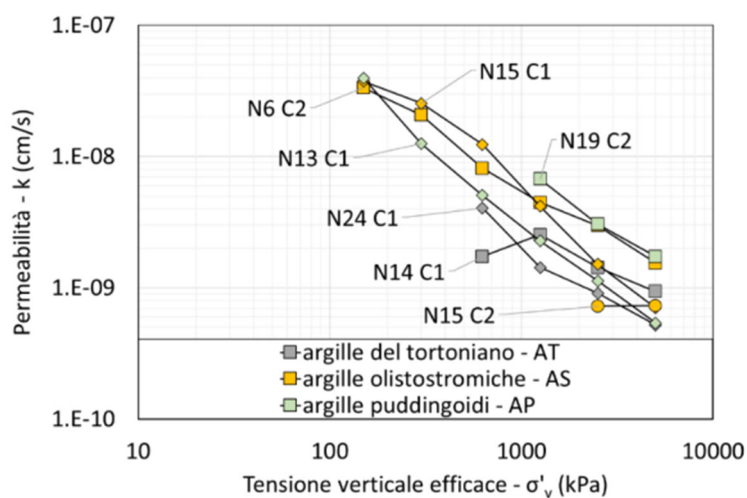


Figura 5-47 Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni indisturbati prelevati dalle formazioni di base della diga nel piano permeabilità – tensione verticale efficace.

6 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

In questo paragrafo si sintetizzano i valori delle caratteristiche geotecniche ricavate dalle indagini in-situ ed in laboratorio (vedi Tabella 6-1).

Tali valori sono posti a base della scelta dei parametri caratteristici adottati per le verifiche geotecniche con particolare riferimento alle verifiche statiche e sismiche della diga. Tali verifiche sono illustrate in altro specifico elaborato.

Per i materiali non campionabili quali la scogliera di monte o le colmate si è fatto riferimento ai parametri adottati nel progetto della diga (vedi Relazione geognostico geotecnica Ing. G. Baldovin ed Ing. L. Trischitta [10]).

Tabella 6-1 Caratteristiche geotecniche ricavate dalle indagini in-situ e di laboratorio.

Materiale	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n	k (cm/s)	w	w _p	w _l	I _p	I _c	ϕ (°)	c (kPa)	c _u (kPa)	V _s
Scogliera	20.0	18.9	0.21	1	/	/	/	/	/	40	10	/	1260
Contronuclei	20.0	18.9	0.21	5 10 ⁻⁴	/	/	/	/	/	45	10	/	1260
Filtri	20.0	18.9	0.21	5 10 ⁻³	/	/	/	/	/	35	10	/	1260
Nucleo	20.5	16.7	0.36	8 10 ⁻⁹	0.18	0.16	0.46	0.30	0.93	24	33	240	720
Colmate	16.0	12.2	0.54	5 10 ⁻⁴	/	/	/	/	/	10	10	/	720
Argille del tortoniano	19.8	15.6	0.42	5 10 ⁻⁹	0.23	0.23	0.76	0.53	1.00	23	31	393	1000
Argille olistostromiche	18.8	14.8	0.46	5 10 ⁻⁹	0.25	0.26	0.94	0.68	1.01	27	17	410	1000
Argille puddingoidi	19.7	16.3	0.40	5 10 ⁻⁹	0.23	0.21	0.76	0.55	0.96	24	23	410	1000