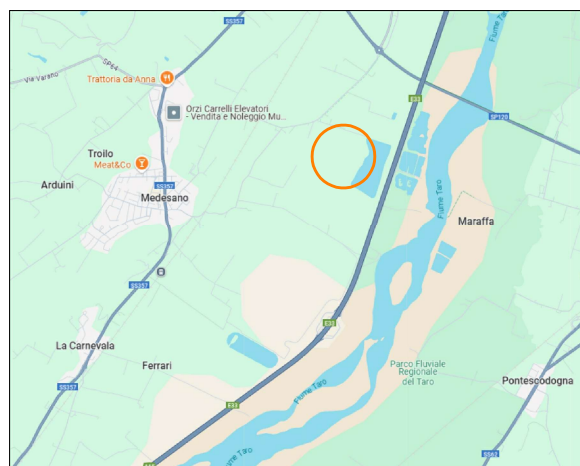
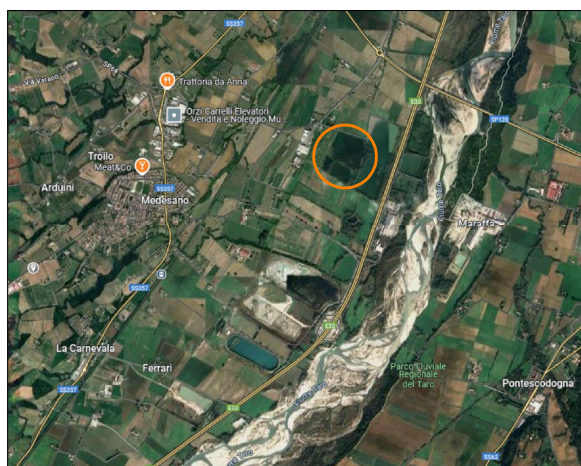


CONSORZIO BONIFICA PARMENSE

REALIZZAZIONE DI UN INVASO IRRIGUO ED OPERE COLLEGATE A SERVIZIO DEL COMPENSORIO SANVITALE

CUP: G22E25000140002

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA



TITOLO ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA
SISMICA**

ELABORATO

R.06

CODICE PROGETTO	25-104	LIV. PROG.	PF	CODICE ELAB.	25-104-PF-R.06	REVISIONE	-
-----------------	--------	------------	----	--------------	----------------	-----------	---

IL PROGETTISTA:

Ing. Prof. Alberto Bizzarri

COLLABORATORI:

Geom. Davide Finamore

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Daniele Scaffi

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE
-	OTTOBRE 2025	EMISSIONE	<i>Ing. Prof. Alberto Bizzarri</i>	<i>Ing. Daniele Scaffi</i>	<i>Ing. Daniele Scaffi</i>

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

Ing. Alberto Bizzarri - 42121 Reggio Emilia - Viale Risorgimento 3
Cell: 348.3223086 - e-mail: studio@albertobizzarri.com
Pec: alberto.bizzarri@ingpec.eu - P.IVA 00327810354

CONSORZIO BONIFICA PARMENSE
PARMA
REGIONE EMILIA-ROMAGNA

**REALIZZAZIONE DI UN INVASO IRRIGUO
ED OPERE COLLEGATE A SERVIZIO DEL
COMPRENSORIO SANVITALE**

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA SISMICA

Il professionista incaricato

Prof. Ing. Alberto Bizzarri



Studio Prof. Ing.

**Alberto
Bizzarri**

Collaboratori:

Geom. Davide Finamore

Parma, ottobre 2025

Sommario

1	ASPETTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI	1
1.1	OSSERVAZIONI sULL'ASSETTO PIEZOMETRICO DELLA FALDA INTORNO AI LAGHI L1, L2, L3 , L4 E "LE SCALIE"	13
2	ASPETTI SISMICI	14
3	ASPETTI GEOTECNICI	28

1 ASPETTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI

Per la valutazione degli aspetti geologico ed idrogeologico dell'area del Comune di Medesano interessata dagli interventi proposti dal progetto, si può fare riferimento alla relazione: "Valutazioni idrogeologiche generali relative alla proposta di prelievo idrico dai laghi di Medesano" elaborata dalla società Geostudi nell'agosto 2023 su incarico del Consorzio della Bonifica Parmense.

Per comodità di lettura si richiamano il quarto ed il quinto paragrafo della relazione che contengono informazioni e valutazioni utili per il presente progetto.

Il quinto capitolo relativo alle valutazioni ideologiche generali in merito al prelievo richiesto, viene integrato con il paragrafo 5.3, relativo ad osservazioni sull'assetto piezometrico della falda intorno ai laghi L1, L2, L3, L4 e "le Scalia".

"4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO"

4.1 Inquadramento geologico

L'area oggetto di studio si colloca in prossima al margine collinare ed in corrispondenza dell'arco principale di struttura compressiva denominato PTF (Pedeappenninic Thrust Front). Più in dettaglio, in relazione allo schema geologico – stratigrafico secondo le distinzioni operate nella cartografia geologica regionale riprodotto nella carta geologica in Figura 4, realizzata attraverso il software QGIS sovrapponendo i tematismi scaricati dal Database Tecnico Regionale, l'area in esame si colloca su depositi alluvionali intravallivi del Sintema Emiliano – Romagnolo superiore, in riferimento alle unità stratigrafie relative alle sequenze deposizionali sensu Mitchum et al. (1977), costituiti da Ghiaie prevalenti e sabbie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua (Unità di Modena AES8a, Olocene), che lambiscono i depositi ghiaiosi alluvionali in evoluzione (b 1 e b 1a) del limitrofo Fiume Taro e che poggiano sui depositi, costituenti la base del Quaternario Marino, noti come Argille Azzurre del Torrente Stirone costituenti la base impermeabile dell'acquifero locale.

Come rilevabile dalle stratigrafie di pregressi piezometri a controllo dei laghi di cava ex polo G2 (banca dati Geostudi Pz1-Pz2-Pz3 – vd. Fig.5) e di sondaggi relativi alla realizzazione dei bacini ad uso plurimo (S1-S2-S3 punti indicati in Fig. 5) lo spessore del materasso alluvionale sede del primo livello acquifero afferente ai laghi in oggetto risulta essere mediamente pari a circa 6-7 metri, con le dovute approssimazioni in relazione alla natura deposizionale dei depositi in questione; l'assetto idrostratigrafico medio di riferimento, interpolato anche sulla base di dati stratigrafici desunti dalla banca dati regionale, è riportato nella sezione trasversale al F Taro di Figura 6 che evidenzia quanto esposto.

Nella sezione di Figura 6 è evidenziato il tratto di interesse, di fondovalle, interessato dalla valutazione quantitativa di cui ai paragrafi successivi.

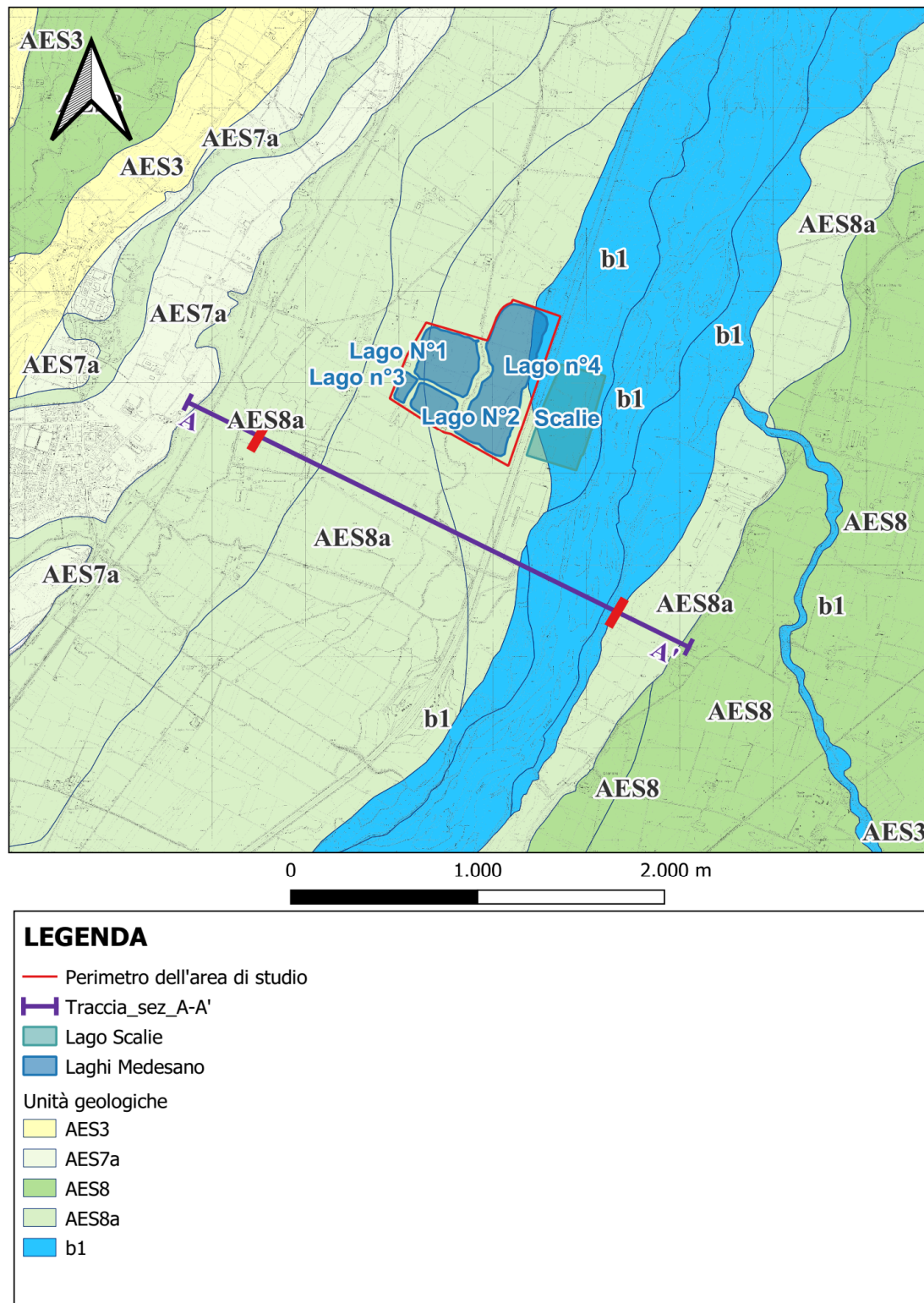
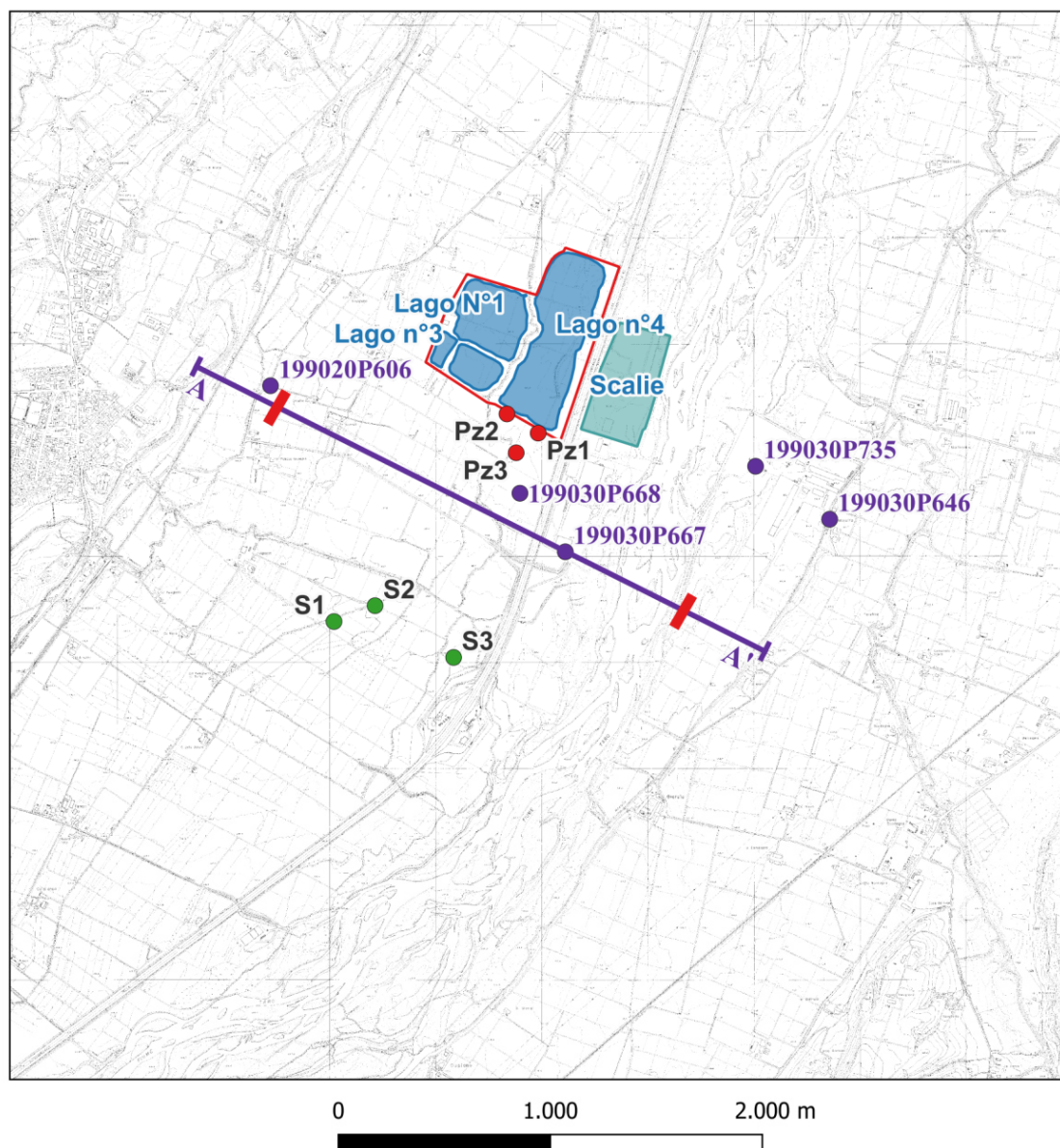


Figura 4: Carta Geologica della zona, i segmenti in rosso delimitano il tratto di sezione di interesse (DBTR Regione Emilia Romagna)



LEGENDA

- Traccia sezione A-A'
- Perimetro dell'area di studio
- Piezometri Polo G2
- Punti a stratigrafie note (da DBTR RER)
- Sondaggi Geoscavi 2007
- Lago Scalie
- Laghi Medesano
- Tratto di interesse

Figura 5: Traccia della sezione Idrostratigrafica A-A'

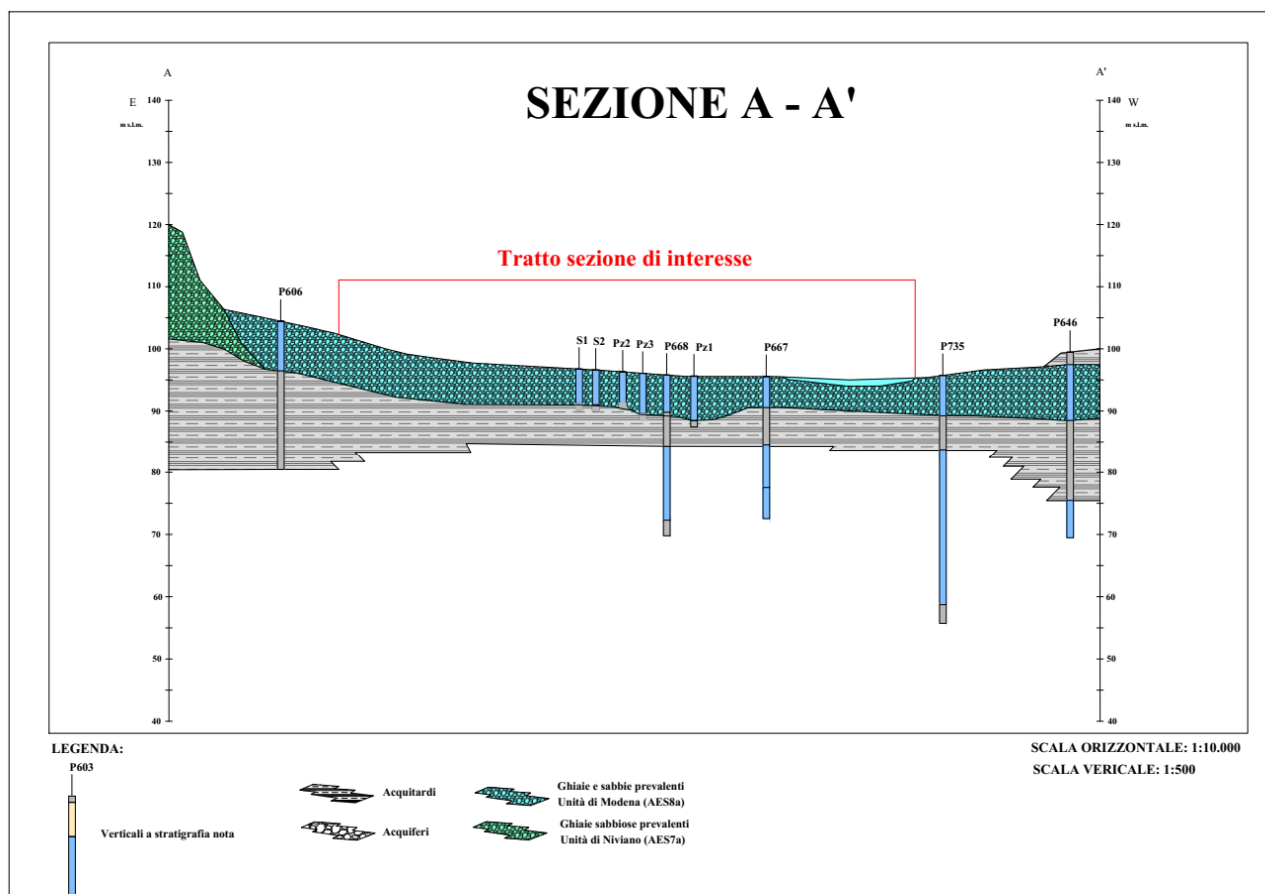


Figura 6: Sezione idrostratigrafica interpretativa A-A'

4.2 Inquadramento idrogeologico

L'assetto idrogeologico locale, in riferimento alla ricostruzione geologica e stratigrafica precedentemente esposta si rifà al modello di sottosuolo basato sulla stratigrafia sequenziale all'origine della ricostruzione degli acquiferi nella Pianura Emiliano Romagnola (vd. "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" edito da RER, ENI-AGIP nel 1998), rivisitati in termini di classificazione dei corpi idrici sotterranei alla luce della classificazione dei corpi idrici sotterranei contenuta nel PTA della Regione Emilia Romagna e redatta ai sensi della direttiva 2000/60/CE, risulta così costituito:

- da piano campagna sino a circa mediamente 6-7 m di profondità troviamo i depositi alluvionali intravallivi relativi al fiume Taro, riconducibili all'AES8a (Unità di Modena) superiore e facenti parte del Corpo Idrico Conoide Taro Parola Libero (Codice 0072ER-DQ1-CL);
- al di sotto dei depositi sopramenzionati si può osservare un livello argilloso, che funge da acquitrardo, di spessore variabile, ma comunque rappresentante la base dell'acquifero libero oggetto di valutazione.

4.3 Ricostruzione serie storica assetto piezometrico

Per quanto attiene la ricostruzione del trend piezometrico nonché dell'assetto di falda sono stati acquisiti e valutati i dati del monitoraggio in essere sui piezometri (vd. Fig.11) a controllo dei bacini ad uso plurimo di cui ai documenti citati in premessa.

L'analisi del trend piezometrico medio (vd. Fig. 7), estratta dal "Report di monitoraggio Ambiter, Maggio 2023", confrontata le precipitazioni medie mensili nel periodo da Agosto 2012 a Maggio 2023 evidenzia una sostanziale correlazione tra il trend piezometrico e gli afflussi, come ipotizzabile, e di conseguenza con le fluttuazioni del livello del fiume Taro.

Ai fini tuttavia delle valutazioni del presente documento sono stati acquisiti i dati dei due piezometri più prossimi ai laghi oggetto di derivazione, rappresentati dal Pz4-1 e dal Pz4-1; non è stato considerato il piezometro Pz 10, situato nella zona umida "Le Scalie" in quanto caratterizzato da un minor numero di dati (vedi Report Ambiter) poiché spesso non accessibile.

L'andamento dei dati dei due piezometri considerati, con i dati estratti dal Report Ambiter Marzo 2023, è riportato in Fig.8; si rileva una sostanziale rappresentatività del dato con andamento sovrapponibile che evidenzia una soggiacenza media, nel periodo considerato, della falda, di circa 3 metri da p.c.

Peraltro, riportando la sintesi della tabella riassuntiva del monitoraggio condotto da Ambiter (vd. Tabella 2, dati dall'agosto 2012 al marzo 2023) si rileva come i due piezometri considerati siano da caratterizzati dalla soggiacenza media da p.c maggiore e, come tale, maggiormente cautelativa per le valutazioni che di seguito verranno formulate.

Periodo	Pz9	Pz1-1	Pz1-2	Pz2-1	Pz2-2	Pz3-1	Pz3-2	Pz4-1	Pz4-2	Pz10*
mar-22	-3	-1,75	-2,36	-1,62	-2,83	-1,69	-1,7	-2,25	-2,53	
apr-22	-2,61	-1,64	-1,75	-1,96	-2,55	-3,26	-1,89	-4,41	-3,91	
mag-22	-2,51	-1,52	-2,28	-1,28	-2,68	-1,5	-2,15	-1,95	-2,61	
giu-22	-2,7	-1,5	-2,25	-1,5	-2,6	-2,5	-2,55	-2,4	-2,6	
lug-22	-3,4	-2,1	-2,8	-2,01	-2,32	-2,08	-2,87	-2,73	-2,95	
ago-22	-2,97		-2,3	-1,3	-2,97	-2,55	-2,04	-5,02	-4,47	
set-22	-2,98	-1,85	-2,46	-1,60	-2,81	-1,72	-2,43	-2,27	-2,40	
ott-22	-2,90	-1,70	-2,30	-1,51	-2,78	-1,65	-2,36	-2,21	-2,42	
nov-22	-2,92	-1,74	-2,36	-1,60	-2,83	-1,69	-2,45	-2,31	-2,51	
dic-22	-3,00	-1,68	-2,26	-1,41	-2,73	-1,62	-2,40	-2,30	-2,18	
gen-23	-2,40	-1,45	-1,58	-1,80	-2,38	-2,98	-1,71	-4,18	-3,68	
feb-23	-2,79	-1,60	-2,18	-1,48	-2,61	-1,53	-2,12	-2,30	-2,15	
mar-23	-2,83	-1,66	-2,22	-1,45	-2,63	-1,58	-2,30	-2,10	-2,40	
media	-2,42	-1,37	-2,09	-1,23	-2,55	-1,39	-2,03	-3,19	-3,23	-2,57
Dev. ST	0,62	0,37	0,46	0,37	0,44	0,47	0,30	0,85	0,72	0,94
CV	0,26	0,27	0,22	0,30	0,17	0,34	0,15	0,27	0,22	0,37
* i dati del Pz10 (monitoraggio in continuo ogni 4 ore) sono considerati alle ore 12 del 15esimo giorno di ogni mese										
	Piezometro non accessibile									

Tabella 2: da Report di monitoraggio Ambiter, Maggio 2023 -Estratto

Per quanto concerne l'andamento della tavola d'acqua nella zona di studio sono state riportate tavole da bibliografia, fornita dalla committenza e relative a:

- un lavoro pregresso, eseguito da Ambiter e dallo studio Dondi (vd Figura 9);
- il Piano Urbanistico Generale del Comune di Medesano (vd Figura 10).

A conferma di ciò è stata effettuata, attraverso il software Surfer, una ricostruzione della piezometria eseguendo una media dei dati relativi al 2023, forniti da Ambiter ("Piano di monitoraggio ambientale Bacino 3 – bacino ad uso plurimo in Medesano", Ambite S.R.L, Marzo 2017), questa ricostruzione ha portato alla realizzazione della tavola riportata in Figura 11.

Osservando gli elaborati sopradescritti si rileva la presenza di una falda avente direzione di deflusso generalmente parallela ed in equilibrio con il F.Taro, con locale influenza (vd. Fig. 10), in relazione ai differenti stati di carico idraulico, della componente di alimentazione dai terrazzi laterali e dal versante situato ad Ovest.

Il valore medio del gradiente idraulico i (definito come perdita di carico per unità di lunghezza) è stato ricavato eseguendo una media aritmetica dei valori relativi alle tavole riportate in: Figura 9, Figura 10 e in Figura 11; tale valore è pari a circa 0,0048 ovvero 0,48%.

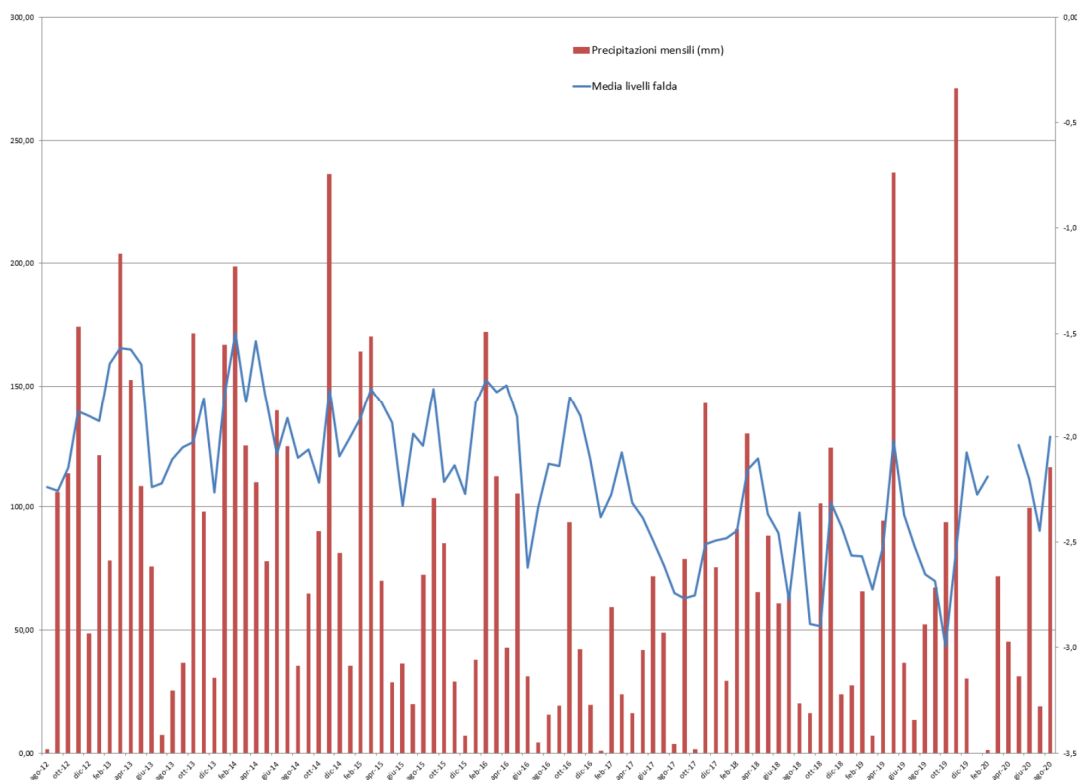


Figura 7: confronto tra la serie storica delle precipitazioni e il livello medio della falda (Da Report di monitoraggio Ambiter, Maggio 2023).

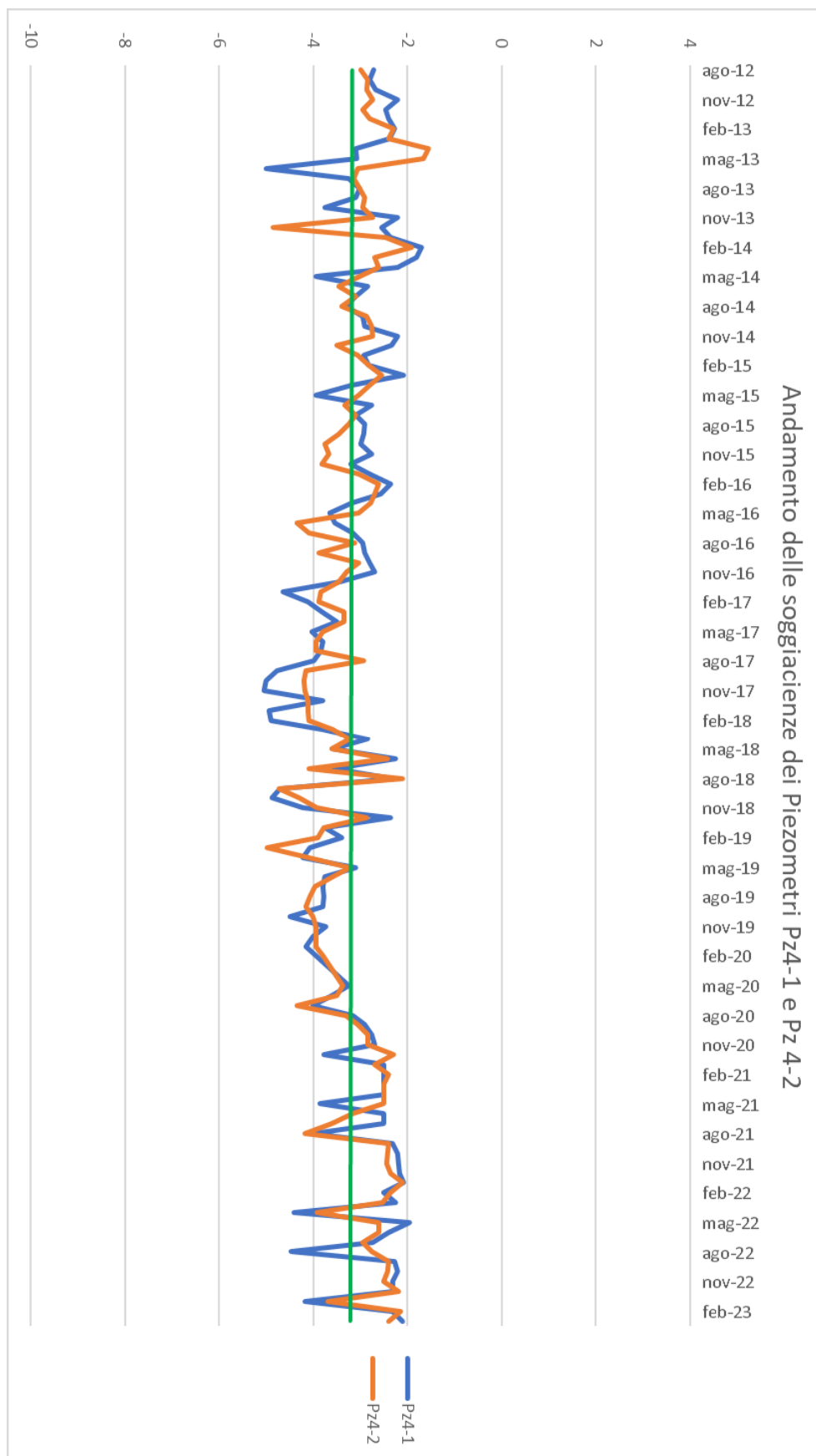


Figura 8: confronto tra le serie storiche relative ai Piezometri Pz 4-1 e Pz 4-2, la linea in verde indica il livello medio della falda (Da Report di monitoraggio Ambiter, Maggio 2023)

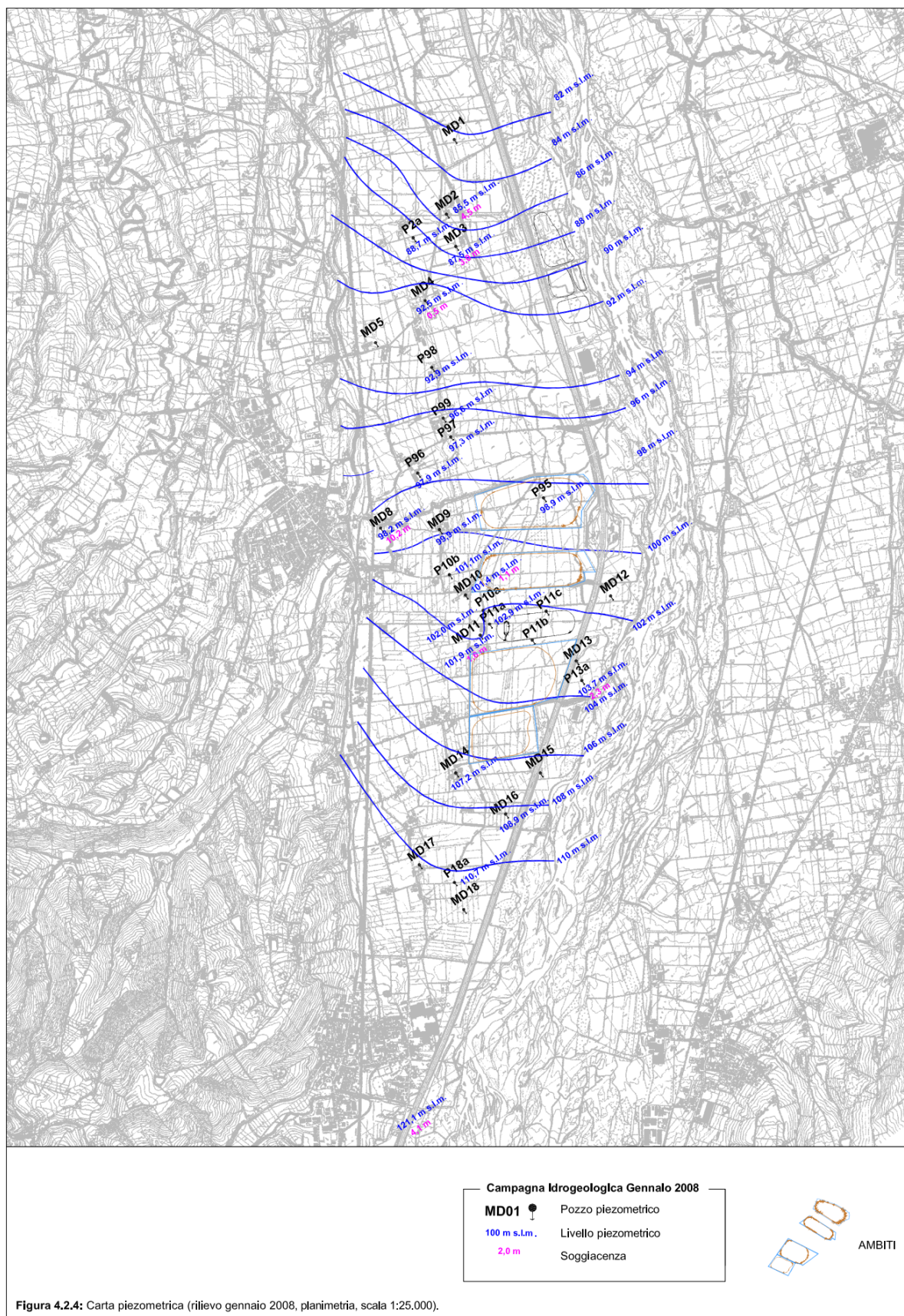


Figura 9: andamento della tavola d'acqua durante il periodo di piena della falda intercettata, Gennaio 2008
 (Da studio Ambiter del 2009)

5 VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE GENERALI IN MERITO AL PRELIEVO RICHIESTO

Come esposto in premessa le valutazioni idrogeologiche generali in merito al prelievo richiesto sono relative a:

- compatibilità sul sistema acquifero sotterraneo, del prelievo idrico dai laghi di Medesano;
- valutazione del potenziale effetto di questo prelievo sull'area umida, denominata "Le Scalie", localizzato poco più ad est oltre il tracciato autostradale dell'A15.

Da segnalare come l'attività di cui si chiede la concessione si inserisca in un più ampio contesto, interessato dalla progettazione e realizzazione dei bacini ad uso plurimo di Medesano, la cui realizzazione è stata oggetto di preventiva modellizzazione matematica che ha di fatto accertato come le opere previste in progetto fossero compatibili con l'assetto idrogeologico dell'area.

In particolare la modellizzazione eseguita (v.di "Piano degli interventi urgenti per fronteggiare la crisi idrica" Ambiter S.R.L & Studio Dondi, 2008 – Progetto definitivo) evidenziava, in condizioni di esercizio, abbassamenti dei livelli a valle dei bacini progetto trascurabili a circa 2 km a valle dell'intervento da rapportarsi comunque alle diverse ipotesi progettuali.

5.1 Compatibilità del prelievo richiesto con l'assetto idrogeologico locale

Per tale aspetto è stata eseguita una valutazione circa la potenzialità idrica della sezione di piana alluvionale di cui alla planimetria di Fig. 5 ed alla relativa sezione idrostratigrafica interpretativa di Fig.6.

Applicando la formula di Darcy, $Q = k m \cdot i \cdot H \cdot L$, è stato possibile quantificare mediamente il volume di acqua passate attraverso la sezione di interesse, utilizzando i seguenti parametri

- km : per quanto attiene la permeabilità (K) media dell'acquifero questa viene indicata, nello studio precedentemente citato (Dondi – Ambiter 2008) pari a circa $3,0 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Detto valore viene mediato con riferimento sia allo studio di screening redatto per il campo pozzi della ex Boschi Food & Beverage S.p.A., dove il valore di permeabilità assunto era stato valutato con un confronto critico con il Servizio Tecnico di Bacino nell'ambito della modellazione dell'acquifero nell'ambito del Progetto Taro (Dott. Ing. G. Di Dio), sia a dati in possesso degli scriventi, stimando, per l'area in questione, un valore di K pari a circa $6,0 \cdot 10^{-3}$ m/s;

- i , gradiente idraulico medio della falda, pari a circa 0,0048; va tenuto presente che un incremento delle portate fluviali, quindi con condizioni di piena, induce un sensibile aumento del gradiente piezometrico anche per l'acquifero in questione;
- H , spessore medio saturo dell'acquifero, pari a circa 3 metri;
- L , lunghezza del tratto di sezione indicato in Figura 5, pari a circa 1900 metri.

Nel nostro caso, avendo disegnato con software autocad la sezione in questione, il valore $H \cdot L$ è stato calcolato con precisione essendo l'area compresa fra soggiacenza della falda e base dell'acquifero alluvionale....

.....

5.2 Valutazione del potenziale effetto del prelievo irriguo sull'area umida, denominata "Le Scalie",
localizzato poco più ad est oltre il tracciato autostradale dell'A15

I potenziali effetti dell'attività di prelievo irriguo condotto dai laghi di Medesano sull'area umida Le Scalie, risultano di difficile definizione non avendo ad oggi dati sito specifici oggettivi ed essendo molteplici le condizioni al contro da considerare.

Quindi l'intento del Consorzio è quello di mettere in atto un idoneo sistema di monitoraggio attuato sia preliminarmente che durante l'emungimento; questo potrà consentire di verificare puntualmente gli effetti indotti, anche in relazione alla non prevedibile risposta, allo stato dei dati ad oggi disponibili, del rapporto tra depressioni attese sul livello idrico dei laghi e sul livello della falda, in conseguenza anche della ragionevole impermeabilizzazione naturale dell'invaso attuale.

Tale sistema di monitoraggio consisterà nel rilevamento del livello idrico nei laghi di Medesano e del livello della falda superficiale nei piezometri presenti in zona, tra cui il Pz10, posto all'interno dell'area Le Scalie. I dati raccolti saranno condivisi con tutti gli Enti interessati, e potrà essere fissato, in accordo con gli stessi, un limite di abbassamento del livello idrico nell'area umida Le Scalie, raggiunto il quale dovrà essere interrotto il prelievo irriguo, indipendentemente dalle condizioni eventualmente autorizzate in Concessione.

Inoltre, i dati raccolti durante tale monitoraggio, consentiranno di disporre di un set d'informazioni sito specifiche, necessarie per effettuare delle valutazioni ponderate sul potenziale effetto dell'emungimento dai laghi sull'area umida, al variare delle condizioni al contorno.

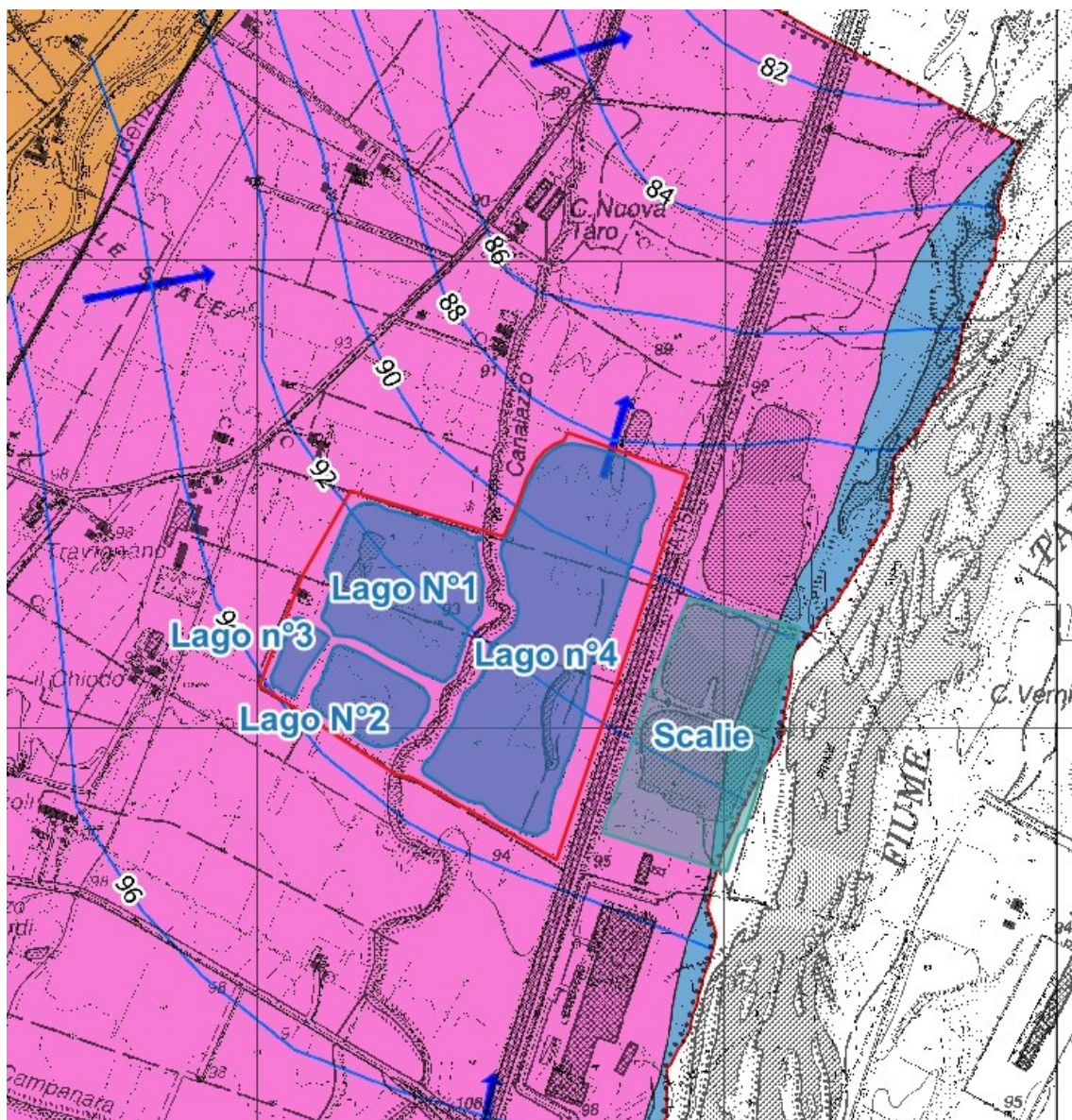


Figura 10; carta delle curve isofreatiche da PUG del comune di Medesano (documento da approvare).

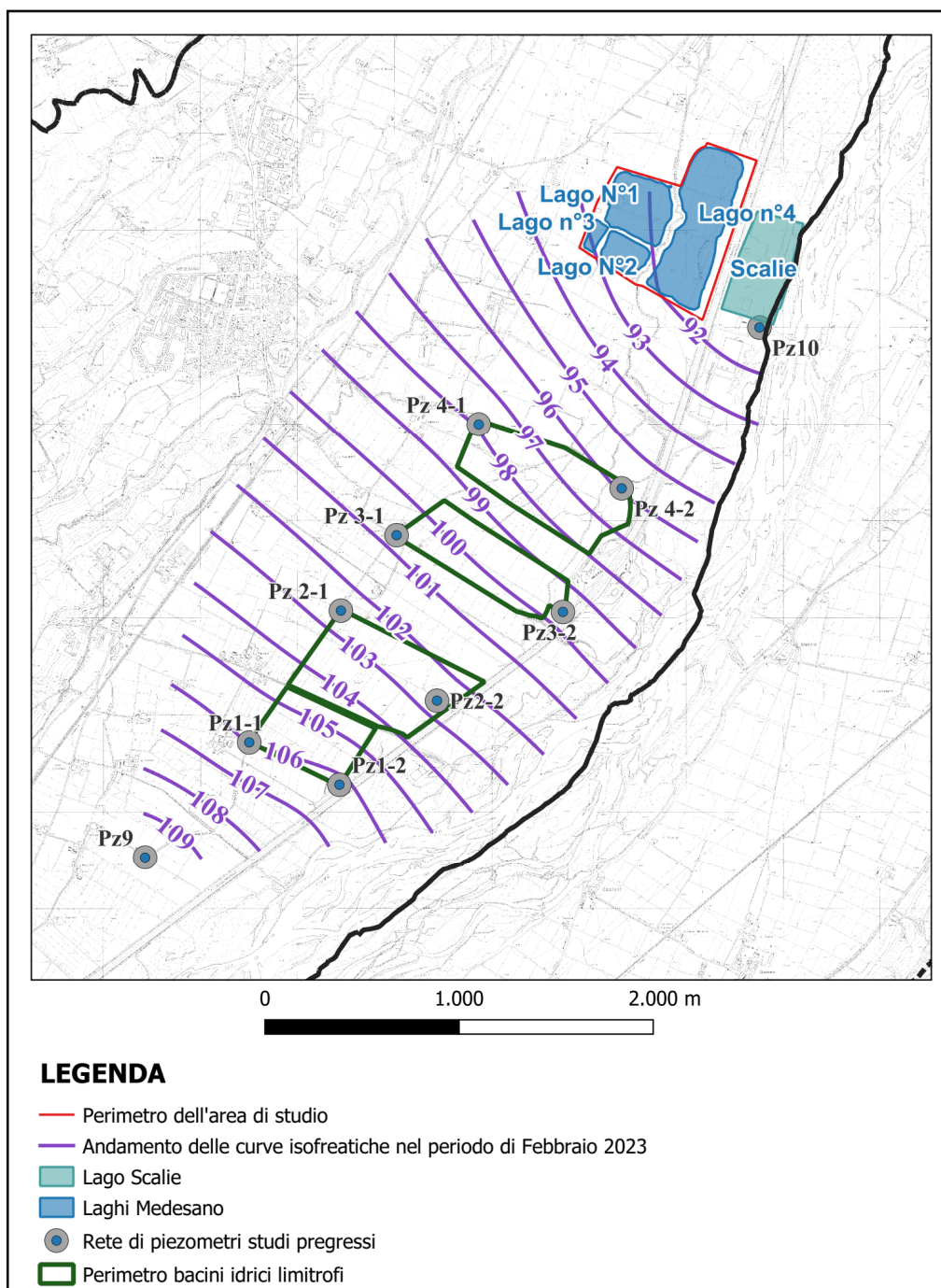


Figura 11: Ricostruzione dell'andamento della tavola d'acqua di Febbraio 2023 (da Report di monitoraggio Ambiter 2023)

Infine, risulta importante segnalare la presenza del rilevato autostradale dell'A15 in prossimità dei laghi oggetto di richiesta di prelievo idrico e quindi, si ritiene indispensabile coinvolgere, nell'attuale procedimento di richiesta di concessione al prelievo dai laghi, anche la Società che gestisce l'A15 al fine di ottenere da parte loro il nulla osta a tale attività rispetto all'infrastruttura autostradale."

1.1 OSSERVAZIONI SULL'ASSETTO PIEZOMETRICO DELLA FALDA INTORNO AI LAGHI L1, L2, L3 , L4 E "LE SCALIE"

La tabella 2 riportata nel precedente paragrafo 4.3 evidenzia che i massimi livelli piezometrici in falda (o i minimi volumi di soggiacenza), si presentano nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio (periodo non irriguo) ed i minimi livelli in luglio, agosto, settembre (in periodo irriguo), con elevati valori di temperatura e di evaporazione dagli specchi liquidi.

La figura 7 evidenzia l'importanza attribuibile alle precipitazioni meteoriche sui livelli freaticometrici; infatti, i picchi dei livelli piezometrici della falda si manifestano in occasione dei picchi delle precipitazioni meteoriche.

Infine, la figura 8 conferma che l'andamento temporale dei livelli piezometrici nei diversi pozzi monitorati non subisce significative variazioni da pozzo a pozzo.

2 ASPETTI SISMICI

Per la valutazione degli aspetti sismici dell'area del Comune di Medesano interessata dagli interventi proposti dal progetto, si può fare riferimento alla "Relazione Geologico-Geotecnica e Sismica" elaborato dallo studio ENGEO di Parma ai fini della progettazione dell'impianto profetico proposto dal Consorzio della Bonifica Parmense sul terrazzo sinistro del fiume Taro; lo studio citato si riferisce "all'Area di studio" indicata nella figura 12 e 13 della relazione che si richiama nel seguito.

"5.1 Sismicità storica del territorio"

La storia sismica del comune di Medesano è stata desunta da "DBMI15, database macrosismico italiano" 1 , database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

Secondo quanto indicato in DBMI15, la storia sismica a Medesano è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 11, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggior intensità al sito espressi, quando possibile, mediante la scala MCS, oppure, con codici descrittivi, quali NF = Not Felt = Non percepito.

Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	Intensità di sito MCS	Intensità epicentrale MCS	Magnitudo momento Mw
1886	10	15	Collecchio	5	6	4.7
1920	9	7	Garfagnana	6-7	10	6.53
1955	3	12	Parmense	5	5	4.15
1961	8	13	Parmense	5	5-6	4.37
1961	8	14	Parmense	5	5-6	4.47
1971	7	15	Parmense	6-7	8	5.51
1983	11	9	Parmense	6	6-7	5.04
1986	12	6	Ferrarese	NF	6	4.43
1988	3	15	Reggiano	4	6	4.57
1989	10	3	Appennino parmense	3	4	4.04
1995	10	10	Lunigiana	3	7	4.82
2000	6	18	Pianura emiliana	NF	5-6	4.4
2002	11	13	Franciaorta	NF	5	4.21
2008	12	23	Parmense	5-6	6-7	5.36

Tab. 1 – eventi sismici i cui effetti si sono risentiti nel territorio di Medesano

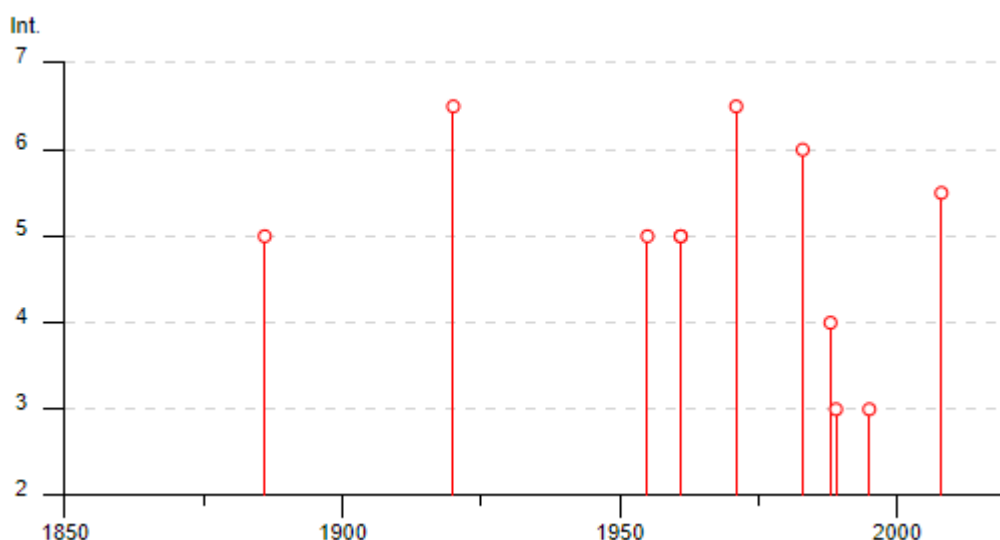


Fig. 11 - g rafico rappresentante la storia sismica del comune di Medesano

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che i massimi eventi sismici censiti a Medesano si sono verificati il 7 settembre 1920 e il 15 luglio 1971, in entrambi i casi, con un'intensità del VI-VII grado della scala MCS. Gli epicentri sono indicati genericamente in Garfagnana e nel Parmense, mentre i terremoti sono stati caratterizzati da una magnitudo calcolata sulle onde di superficie (M_w) rispettivamente pari a 6.53 e 5.51.

5.2 Classificazione sismica

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. La delibera della giunta regionale 23 luglio 2018 n.1164 aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia Romagna, riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento, come indicato in Fig. 21, il territorio di Medesano, è identificato in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra $0,05 \cdot g$ e $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

Tale classificazione ha tuttavia esclusivo valore amministrativo; infatti alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in cui l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

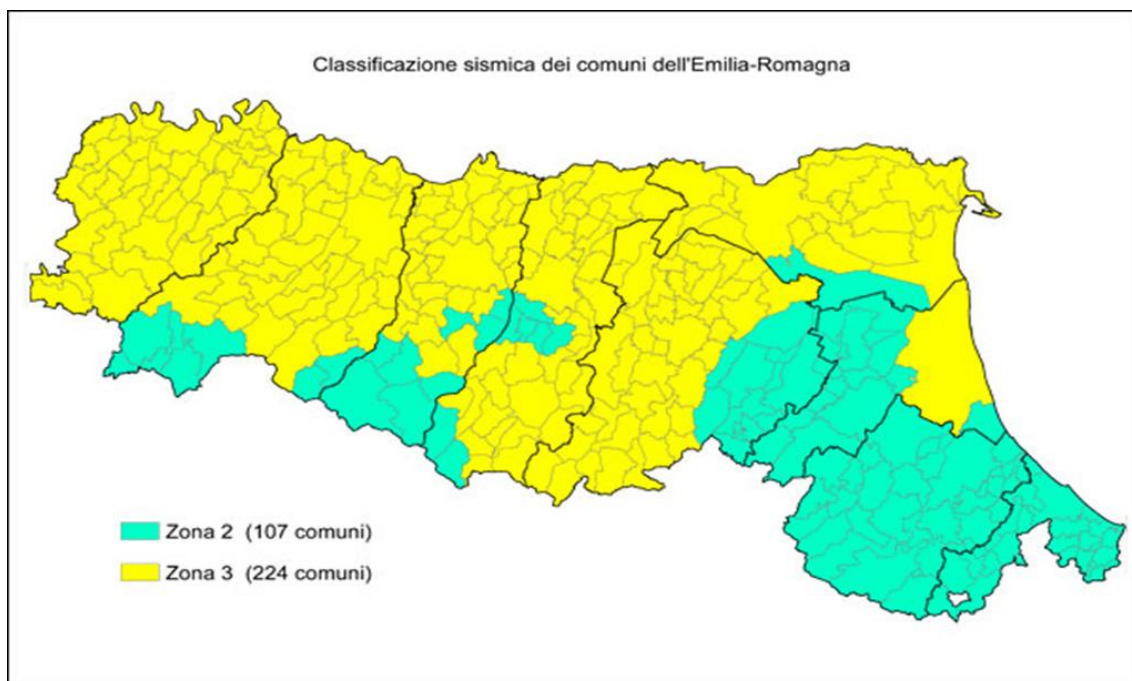


Fig. 12 - classificazione sismica dei comuni della regione Emilia -Romagna

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Fig. 13), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno.

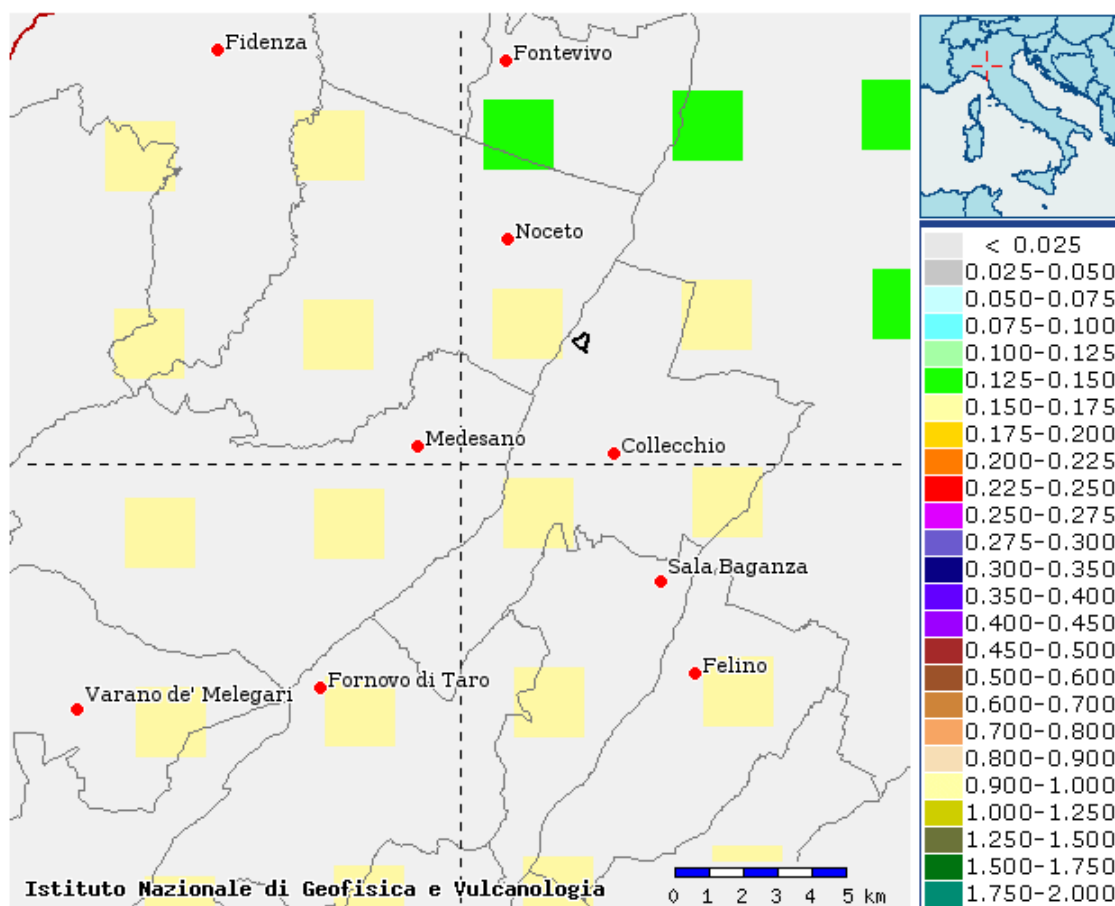


Fig . 13- mappatura dell'accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) con tempi di ritorno di 475 anni

Per determinare il tempo di ritorno (T_R) si utilizza l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

dove V_R è il periodo di riferimento della costruzione, mentre P_{VR} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Per determinare il tempo di ritorno sono stati assunti i parametri dell'opera in progetto già anticipati nel paragrafo 1.2, quali:

- **VITA NOMINALE:** "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari" la cui vita nominale è $V_n \geq 50$ anni (come definito dalla Tab. 2.4.I delle N.T.C. 01/2008);
- **CLASSE D'USO:** Classe II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti" (come

definito dal paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 01/2018). Con conseguente coefficiente d'uso $C_u=0.7$ (cfr. Tab. 2.4.II delle N.T.C. 01/2018).

Da questi due parametri si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Inoltre, sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (vedi Tab. 3.2.I del Paragrafo 3.2.1 delle NTC 01/2018), per lo stato limite ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV) con probabilità pari al 10% e per lo stato limite di esercizio di Danno (SLD) con probabilità pari al 63%.

Dato che il sito in esame (lon. 10.154896, lat. 44.752909) non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Alla luce di quanto sopradescritto i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche sono riportati nella seguente Tab. 2.

Stato Limite	Tempo di ritorno T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	30	0.050	2.446	0.239
SLD	50	0.063	2.469	0.255
SLV	475	0.155	2.464	0.279
SLC	975	0.196	2.479	0.287

Tab. 2 – valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* s per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite

5.3 Categoria di sottosuolo e coefficienti sismici di progetto

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 17-01-2018 definisce 5 categorie in cui suddividere i terreni d'impasto in base ai valori di velocità equivalente delle onde sismiche trasversali fino al substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, ($V_{s,eq}$), è definita come:

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

dove h_i e V_i sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato i -esimo, N il numero degli strati e H la profondità del substrato.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30m$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Tab. 3 - categorie sismiche dei terreni

Sulla base della prova MASW e della prova HVSr eseguite in sito (cfr. paragrafo 3.3), si è constatato che i terreni in esame appartengono alla categoria sismica B.

Sulla base della categoria di appartenenza del terreno il D.M. 17-01-2018 introduce i coefficienti S_s (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e C_c (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) per tener conto dell'amplificazione stratigrafica del valore dell'azione sismica di progetto. Per le categorie B, C, D e E, questi due parametri possono essere calcolati attraverso le espressioni riportate in Tab. 4, dove i valori di F_0 e T_c^* sono relativi al sottosuolo di categoria A, g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tab. 4 - valori dei parametri S_s e C_c

Con i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* riportati in Tab. 2 per gli stati limite ultimi di Salvaguardia della Vita (SLV), si ottengono i parametri di amplificazione per l'area oggetto di studio, riportati in Tab. 5.

	S_s	C_c	A_{max} (m/s ²)
SLO	1.200	1.460	0.585
SLD	1.200	1.450	0.737
SLV	1.200	1.420	1.828
SLC	1.200	1.410	2.308

Tab. 5 – coefficienti sismici di progetto

L'analisi della superficie topografica ha, invece, consentito di escludere la presenza di effetti locali legati ad elementi morfologici, per questo si può adottare un coefficiente di amplificazione topografica (S_T) pari a 1.

5.4 Vulnerabilità sismica dell'opera

Per vulnerabilità sismica si intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma.

È noto che la vulnerabilità agli eventi sismici di un fabbricato è collegabile, oltre che alle modalità costruttive, all'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende ad aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sul fabbricato stesso.

In particolare, amplificazioni parossistiche possono essere dovute a fenomeni di risonanza, come può capitare se la frequenza di vibrazione della struttura coincide con quella dei terreni di fondazione (fenomeno della risonanza accoppiata).

Al fine di valutare tale rischio è, pertanto, necessario considerare se la frequenza di risonanza fondamentale dell'opera in progetto corrisponde con uno dei picchi di risonanza del terreno di fondazione evidenziati con l'indagine mediante tromografo.

A riguardo, si segnala che, l'indagine sismica effettuata ha evidenziato un picco principale di amplificazione intorno a 3.30 Hz (cfr. Fig. 14), a cui corrisponde un periodo di 0.30 s.

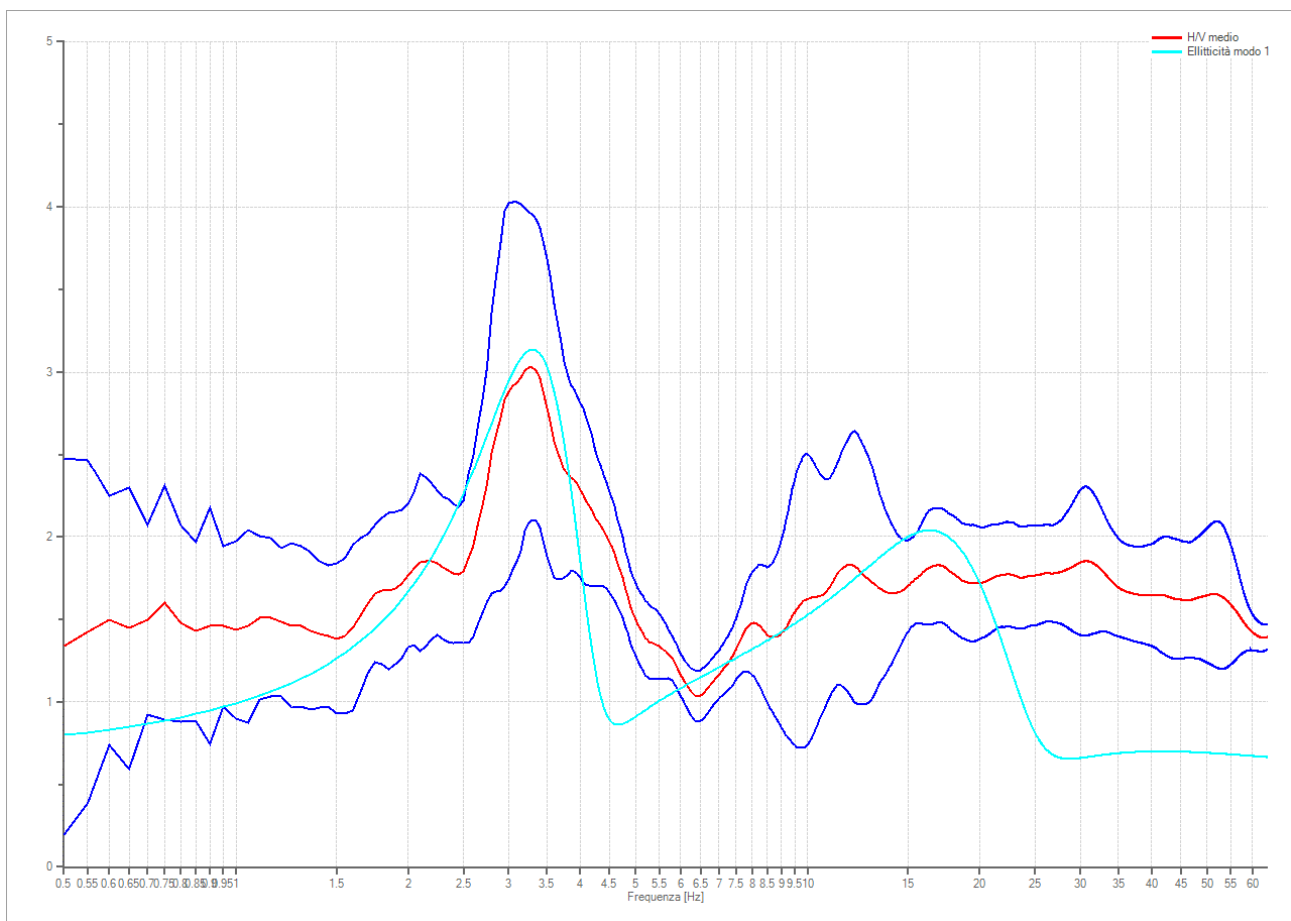


Fig . 14 – curva h/v della prova tromografica

5.5 Magnitudo di riferimento

Per la valutazione del rischio di liquefazione è necessario valutare anche la magnitudo attesa, sempre in relazione al “periodo di riferimento per l’azione sismica”, definito nel paragrafo 1.2.

A tale scopo, l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza con riferimento ai nodi del reticolo (reticolo di riferimento; cfr. paragrafo 5.2), individuato dall’Allegato A delle NTC.

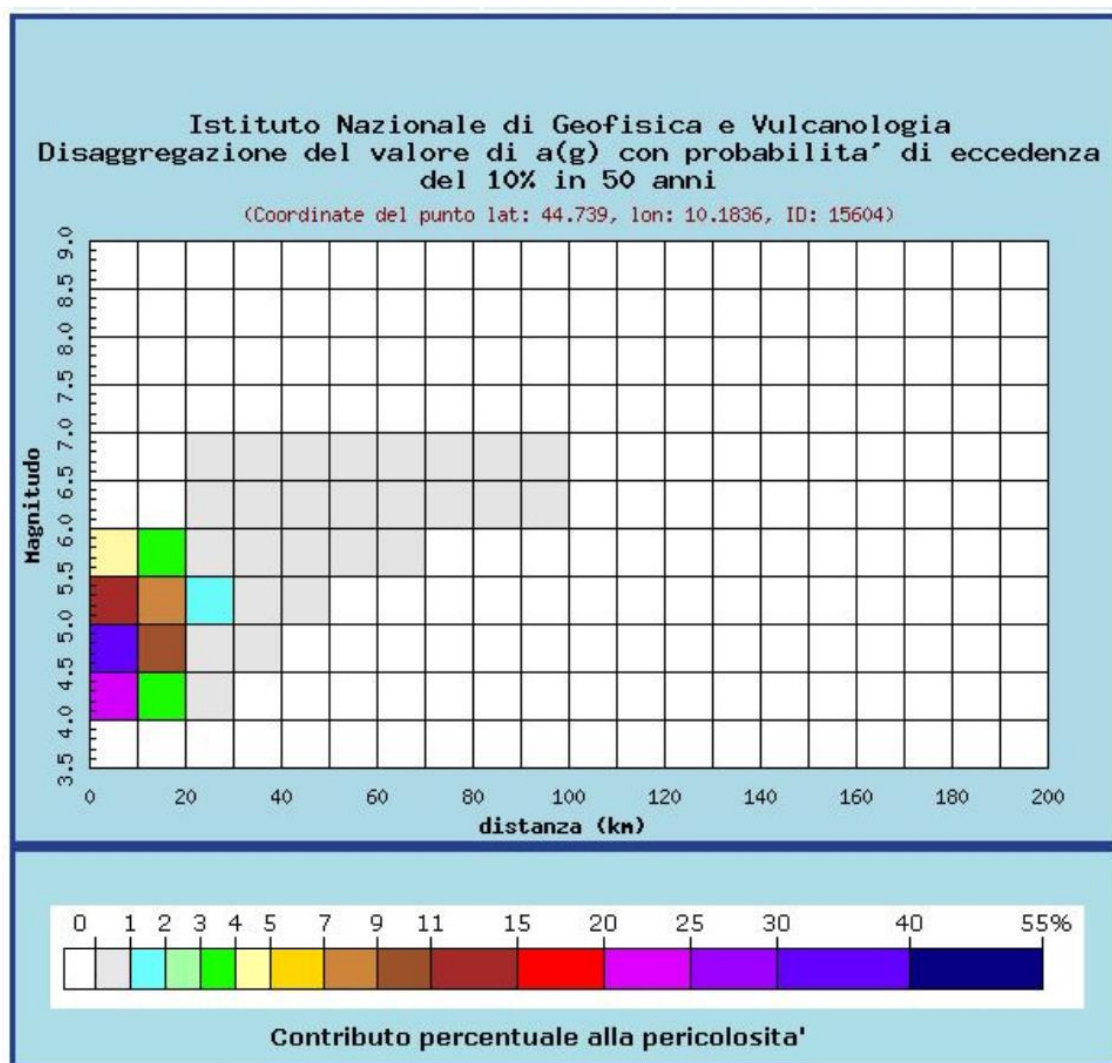


Fig . 15 – disaggregazione magnitudo - distanza per il nodo 15604

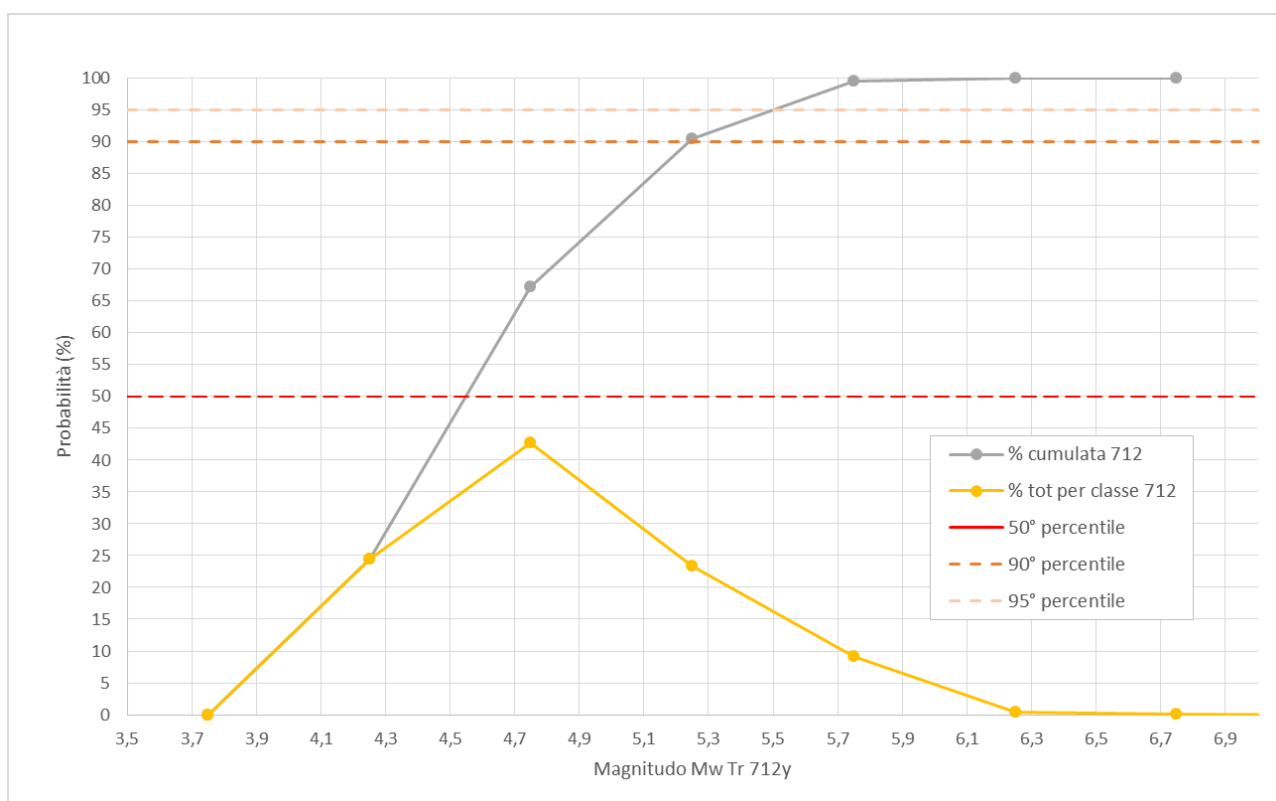


Fig. 16 – calcolo della magnitudo di riferimento sulla base dei dati di fig. 15

Per il nodo più prossimo all'intervento in progetto, mediante la costruzione della curva cumulata della disaggregazione magnitudo-distanza, si ricava la magnitudo $M_w = 5.5$, corrispondente al 95% percentile della curva.

5.6 Rischio di liquefazione

Vista la presenza di orizzonti granulari fini sotto falda nel primo sottosuolo, si è ritenuto necessario valutarne il rischio di liquefazione, prendendo in considerazione le 2 prove penetrometriche dinamiche (SCPT) effettuate.

Per liquefazione si intende un processo di incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

La verifica è stata effettuata mediante il metodo deterministico proposto nell'NCEER che fa parte dei metodi "semplificati", utilizzando il programma LiqIT della Geologismiki.

Questo metodo permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche. Un'ulteriore analisi è stata effettuata valutando l'Indice di Liquefazione secondo il metodo proposto da Iwasaki (1978, 1984).

Il fattore di sicurezza, F_s nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è, per definizione, il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica CRR (Cyclic Resistance Ratio), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica CSR.

Si ha dunque:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

I metodo di NCEER è un metodo semplificato che richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, e il peso di volume.

5.6.1 Calcolo di CSR

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue (cfr. Tab. 6):

Categoria Suolo	Spettri di Tipo 1 $S (M > 5,5)$	Spettri di Tipo 2 $S (M \leq 5,5)$
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Tab. 6 coefficiente del profilo stratigrafico

il fattore correttivo MSF viene definito mediante la Tab. 7 in funzione della magnitudo.

Nel caso in esame l'accelerazione sismica massima attesa al sito per l'area in studio è stata considerata pari ad a_{max} a 0,18·g, mentre come magnitudo del sisma è stata assunta la magnitudo (M_w) corrispondente al 90° percentile pari a 5.5.

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)
5.2	1.75
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08
7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Tab. 7 - fattore correttivo msf secondo seed e idriss

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$r_d = 1 - 0,015z$$

5.6.2 Calcolo di CRR

Nel seguente caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SCPT; la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721(N_{1,60})_{cs} + 0,0006136[(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673[(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248(N_{1,60})_{cs} + 0,009578[(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285[(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714[(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m \quad C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5} \quad C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico $\times 100$ e dipende dal tipo di strumento utilizzato (Tab. 8).

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatic-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

Tab. 8 – valori di er per diverse tipologie di strumenti

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0 && \text{per } FC \leq 5\% \\ \alpha &= \exp[1,76 - (190 / FC^2)] && \text{per } 5\% < FC \leq 35\% \\ \alpha &= 5 && \text{per } FC > 35\% \\ \\ \beta &= 1,0 && \text{per } FC \leq 5\% \\ \beta &= [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] && \text{per } 5\% < FC \leq 35\% \\ \beta &= 1,2 && \text{per } FC > 35\% \end{aligned}$$

5.6.3 Rischio di liquefazione secondo Iwasaki

Il 'metodo di Iwasaki et al.' (1978, 1984) è stato proposto basandosi sulla osservazione che la severità dei danni prodotti dalla liquefazione ai manufatti è legata al volume di terreno liquefatto all'interno del deposito.

In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il metodo si basa su due quantità: il fattore di resistenza (F_S) e l'indice di liquefazione (I_L). F_S si ottiene mediante le formule già proposte e quando $F_S \leq 1$ lo strato di terreno è liquefacibile; mentre I_L , indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito, è ottenuto dalla espressione:

$$I_L = \int_0^{20} F W(z) dz$$

Dove

$$\begin{aligned} F &= 1 - F_S && \text{per } F_S \leq 1 \\ F &= 0 && \text{per } F_S > 1 \\ W(z) &= 10 - 0,5z \end{aligned}$$

Per poter valutare la severità degli effetti viene proposta la scala della (Tab. 9).

Valori di I_L	Rischio di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tab. 9 – valutazione del rischio di liquefazione secondo Iwasaki

Valutazioni più recenti riportate da Sonmez (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da Iwasaki consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tab. 10.

LPI
LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

TAB. 10 – VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ

5.6.4 Analisi dei risultati

Come si può osservare in All. 3 – Verifiche a liquefazionei terreni in esame risultano a moderato rischio di liquefazione, in quanto gli indici LPI sono risultati pari, rispettivamente a 2.38, con i dati della prova SCPT1 e a 2.84, con quelli della SCPT2.

Considerato, inoltre che, in entrambi i casi, si è calcolato un cedimento atteso nullo, in occasione della liquefazione, non si prevedono effetti significativi sulle opere in progetto.

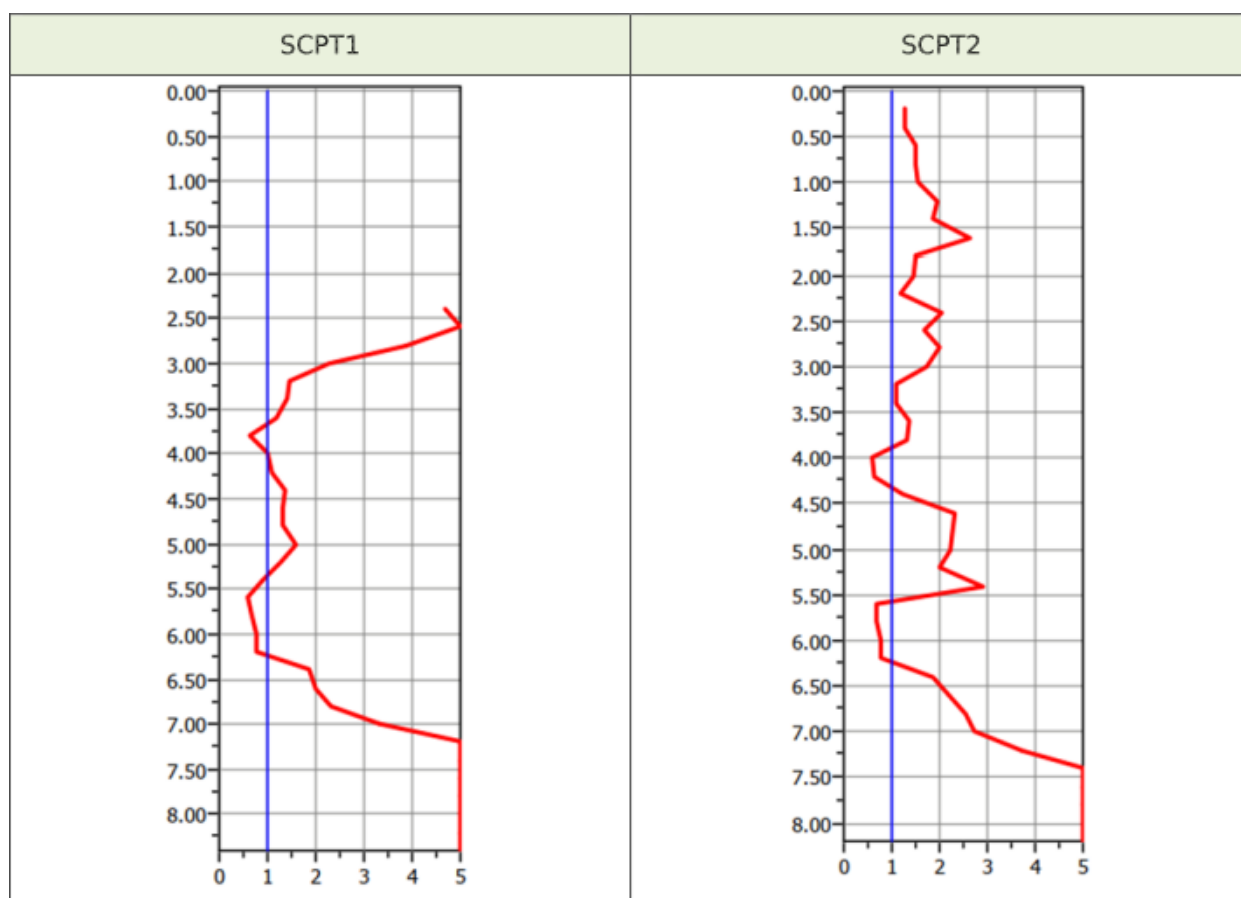


Fig. 17 – variazione del fattore di sicurezza con la profondità per la 2 prove penetrometriche dinamiche”

3 ASPETTI GEOTECNICI

Gli interventi proposti dal progetto interessano la parte superiore delle sponde dei laghi L1, L2, L3, le strade di collegamento fra i laghi e lungo le sponde dei laghi, le fasce di terreno lungo le quali saranno posate le condotte che collegano i laghi alla sponda sinistra del Canalazzo, sia per la derivazione idrica in periodo non irriguo verso gli invasi da sopraelevare virgola che per la restituzione in periodo irriguo al Canalazzo delle acque invasate nei laghi e per il successivo utilizzo irriguo.

I lavori interessano solo strati superficiali di terreno riconducibili al suolo vegetale, al cappellaccio, a terreni di riporto per sottofondi stradali, a depositi prevalentemente sabbiosi-ghiaiosi a comportamento granulare.

In base alle numerose indagini effettuate sul terrazzo sinistro del fiume Taro in fase di progettazione e di realizzazione delle cave in ipogeo e dell'impianto idroelettrico di medesano, si possono assumere per gli strati di terreno inerte a profondità inferiore a 1,50 m i seguenti valori caratteristici dei parametri geotecnici:

- Peso specifico: 17 Kn/mc;
- Altri parametri: Ininfluenti per la verifica di stabilità manufatto-terreno, essendo le fondazioni delle opere interrato sotto questo strato.

Per gli strati sottostanti di terreni a comportamento granulare, si considerano i seguenti parametri geotecnici:

- peso specifico: 19,0 KN/mc;
- angolo di resistenza al taglio $\phi = 28,4^\circ \div 30,0^\circ$;
- modulo elastico: $E_y = 24,3$ Mpa.

Per gli strati di argilla coesiva a profondità superiore a 5-6 m si considerano i seguenti parametri:

- peso specifico: 21,0 KN/mc;
- angolo di resistenza al taglio $\phi = 26^\circ$;
- coesione $C' = 30,0$ kPa
- coesione C_u : 150 kPa
- modulo elastico: $E_y = 25,0$ Mpa.