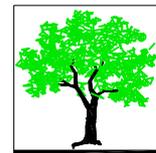




CITTA' DI TORINO

DIREZIONE EDIFICI MUNICIPALI
PATRIMONIO E VERDE
SERVIZIO GRANDI OPERE DEL VERDE



LAGHETTI FALCHERA RECUPERO E RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRICOLO DI LIVELLO COMUNALE cod. opera 4059 - CUP. C13E12000300003 - CIG. 6075300827

PROGETTISTI:

arch. Pier Giorgio AMERIO
p.a. Giovanni BESUSSO
p.a. Franco CECCON
dott. Ezio DE MAGISTRIS
ing. Roberto ROSATO
geom. Emilio RIZZOTTO

COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:

arch. Mario ANDRIANI
p.a. Fabio AZZALINI
dott.sa Michela DI GIULIO
p.i. Flavio ORLANDI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO E DIRIGENTE DEL SERVIZIO:

arch. Sabino PALERMO



PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGIA,
GEOTECNICA E SISMICA

ELAB.
N.
2B

File:\.dwg

LABORATO

ME

DOC

2 9 1 9 - 0 1 - 0 0 1 0 2

02	OTT. 14	MCERRINA	M.BUFFO	S.SCHIAPPINO	MODIFICHE
01	DIC. 13	MCERRINA	M.BUFFO	S.SCHIAPPINO	AUTORIZZAZIONE
00	DIC. 13	MCERRINA	M.BUFFO	S.SCHIAPPINO	VERIFICA
					REDAZIONE

Hydrodata S.p.A.
Via Pomba, 23
10123 Torino - Italy
Tel. + 39 011 55 92 811
Fax + 39 011 56 20 620
e-mail: hydrodata@hydrodata.it
sito web: www.hydrodata.it



REDAZIONE

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI INTERVENTO	1
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E CONDIZIONI DI STABILITA' E DISSESTO DELLE SPONDE	6
4. IDROGEOLOGIA	8
4.1 Quadro generale	8
4.2 Analisi dei dati piezometrici disponibili e definizione dei trend in atto per l'area di progetto	9
4.3 Definizione delle quote freatiche di progetto	19
4.4 Valutazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero sulla base delle prove di emungimento	21
4.5 Ipotesi di controllo dei livelli tramite emungimento o scarico a gravità	21
5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI DEPOSITI COSTITUENTI LE SPONDE DEI LAGHETTI	23
5.1 Indagini stratigrafiche e prove in sito	23
5.2 Indagini granulometriche	25
5.3 Definizione dei parametri geotecnici di progetto	26
6. STABILITA' DELLE SPONDE DELL'INVASO	27
6.1 Generalità	27
6.2 Verifiche geotecniche	27
6.2.1 Metodologia utilizzata e riferimenti normativi	27
6.2.2 Definizione dei parametri geotecnici per l'esecuzione delle verifiche di stabilità	28
6.3 Valutazione dell'azione sismica ai sensi delle NTC 2008	29
6.3.1 Calcolo coefficienti sismici	30
6.4 Valutazione dei parametri sismici sito-specifici per l'area di progetto	31
6.5 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (verifiche agli SLU)	32
6.5.1 Risultati delle verifiche	33

Allegato 1 - Sondaggi geognostici e prove SPT (Banca Dati Geotecnica ARPA Piemonte)

Allegato 2 - Verifiche di stabilità sezioni di progetto

1. PREMESSA

La presente relazione geologica, geotecnica e sismica viene redatta ai sensi e in conformità al D.M. 14 Gennaio 2008, a supporto della progettazione definitiva dell'intervento di riqualificazione ambientale dei "laghetti della Falchera" in Comune di Torino.

L'intervento, nell'ambito delle azioni di riqualificazione naturalistica e creazione di parco agricolo urbano, prevede la riprofilatura delle sponde dei bacini esistenti, per la creazione di ambienti differenziati dal punto di vista ambientale, con diverse acclività e battenti idrici permanenti.

L'intervento, per quanto riguarda gli aspetti geologico-tecnici, si inquadra pertanto anche in una necessaria azione di messa in sicurezza delle sponde, in condizioni di equilibrio limite e localmente sostenute da opere precarie realizzate dai fruitori degli orti urbani presenti al contorno dei bacini stessi.

Le indagini geologiche e geotecniche si basano in parte, e ne costituiscono aggiornamento, integrazione, e adeguamento alle normative attuali, sulle indagini eseguite nel 1999, a supporto di un primo studio di riqualificazione dei laghetti Falchera da parte della Città di Torino.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI INTERVENTO

Con riferimento allo stralcio planimetrico di inquadramento in Figura 1, l'area in esame è posta nel settore di pianura torinese settentrionale, in sinistra del T.Stura di Lanzo. Tale settore di pianura è costituito da depositi fluvioglaciali terrazzati di età pleistocenica, ed è chiuso a valle (SE) dai depositi oligo-miocenici costituenti l'ossatura della Collina di Torino.

Litologicamente si tratta di alluvioni prevalentemente sabbioso-ghiaiose, con percentuali variabili di limi, corrispondenti al livello di base dell'alta pianura, sospesa rispetto all'alveo del fiume Stura di Lanzo.

L'assetto stratigrafico locale è schematizzato nella sezione geologica di Figura 2. I depositi fluvioglaciali, caratterizzati da buona permeabilità, poggiano nell'area in esame su depositi sabbioso limosi pliocenici, caratterizzati al tetto da livelli pressoché continui sabbioso-limoso-argillosi.

Procedendo verso SE, il prisma dei sedimenti pliocenici diminuisce rapidamente di spessore fino al contatto con i litotipi oligo-miocenici della collina di Torino.

Lo spessore dei depositi fluvioglaciali è variabile nell'area Est Stura in esame, nell'ordine dei 16-22 m. Tali depositi costituiscono un corpo acquifero omogeneo in condizioni freatiche, delimitato alla base dalle sequenze sabbioso-limoso-argillose, che costituiscono l'acquifero di base del complesso freatico stesso.

Nell'ambito dei depositi fluvioglaciali superficiali, i dati stratigrafici consentono di distinguere:

- un livello superficiale, fino a 13-15 m circa da p.c. con prevalenti ghiaie, sabbie e ciottoli ("litozona ghiaioso sabbiosa");
- un livello profondo, tra 13-15 m da p.c. e la base dell'acquifero, costituito ancora da depositi ghiaioso-sabbiosi, ma con presenza più diffusa di matrice sabbioso-limoso.

A riguardo è riportata in Figura 9 la quota del livello di base del complesso fluvioglaciale ghiaioso sabbioso, sulla base dei dati tratti dalla Cartografia delle "Isobate della base dell'acquifero superficiale", redatta dalla Regione Piemonte, Servizio di Pianificazione delle Risorse Idriche, in convenzione con Il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino. Per la specifica area dei laghetti Falchera la quota di base del complesso acquifero superficiale è intorno a 204-205 m s.l.m., corrispondenti ad una profondità media da piano campagna di 19 m circa.

In corrispondenza dei laghetti Falchera la condizione stratigrafica è quella evidenziata dallo schema tridimensionale di Figura 4 e sezioni incrociate di Figura 5. In particolare i bacini sono stati realizzati con scavo sempre entro i depositi ghiaioso sabbiosi superficiali, fino alla quota minima di fondo 214 m s.l.m. circa, e pertanto largamente superiore a quella del limite con i depositi limoso-sabbioso-argillosi del Pliocene.

Gli scavi hanno dunque riguardato esclusivamente la "litozona superficiale ghiaioso-sabbiosa", senza interessare i livelli inferiori caratterizzati da una maggiore presenza di depositi fini, limosi e limoso-argillosi.



Figura 1 - Stralcio cartografia geologica progetto CARG (Servizio geologico Nazionale) in scala 1:50000 con indicazione del sito di intervento. In puntinato azzurro sono indicati i depositi alluvionali terrazzati, ghiaioso ciottolosi, corrispondenti per l'area di intervento alle deiezioni del conoide del T.Stura. In destra Po, colore giallo-arancione, i depositi pre-pliocenici costituenti l'ossatura della Collina di Torino.

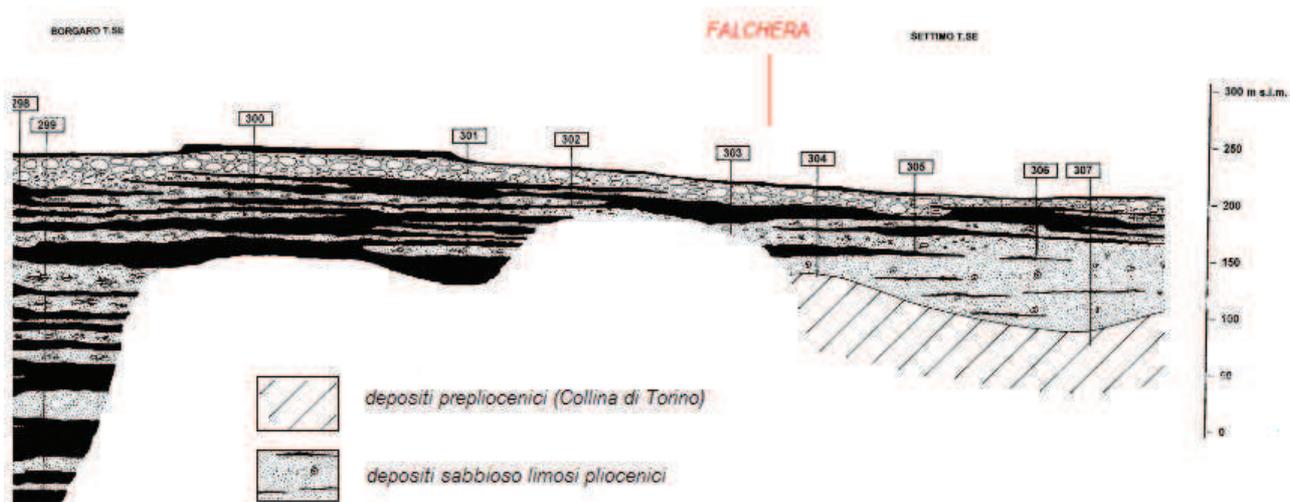


Figura 2 - Sezione stratigrafica attraverso le aree di Borgaro – TO Falchera – Settimo. Da Provincia di Torino, “Le acque sotterranee della pianura di Torino”, 2003.

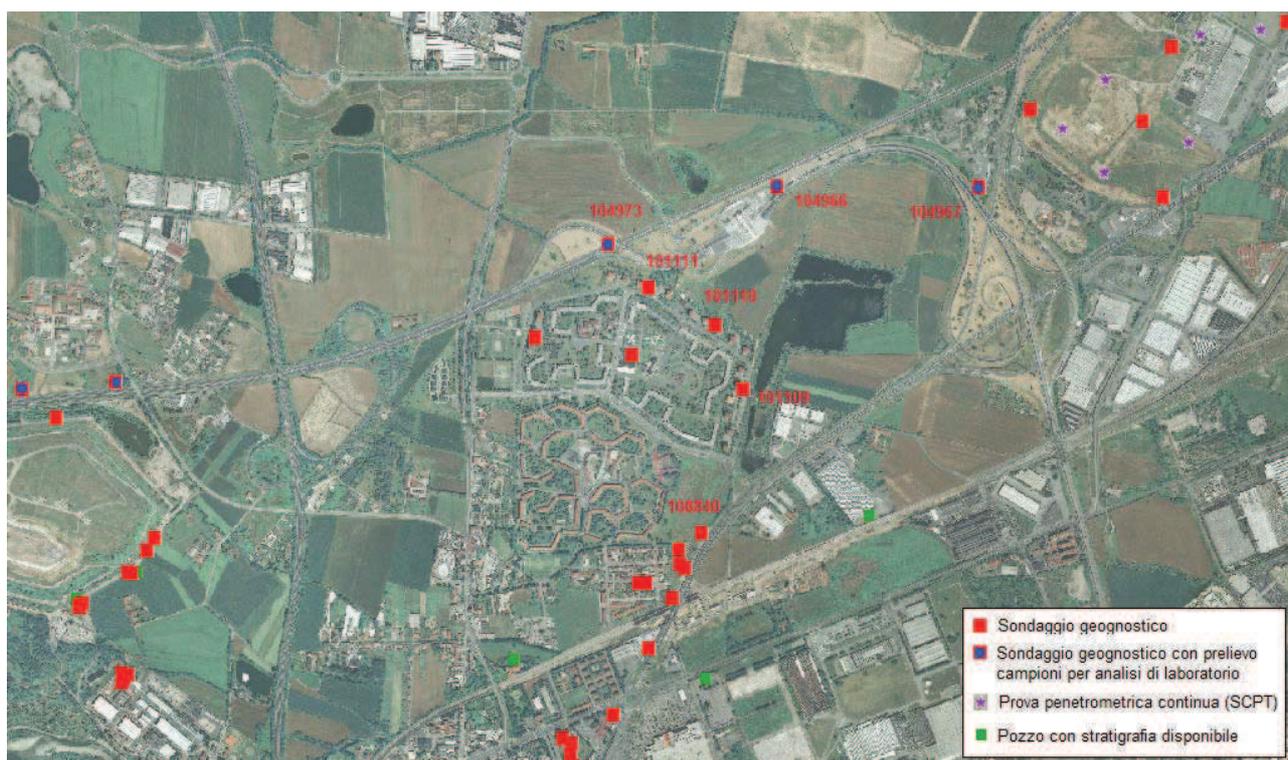


Figura 3 - Quadro delle indagini geognostiche e geotecniche disponibili per l'area in esame (cfr. schede stratigrafiche e prove penetrometriche SPT riportate in allegato 1).

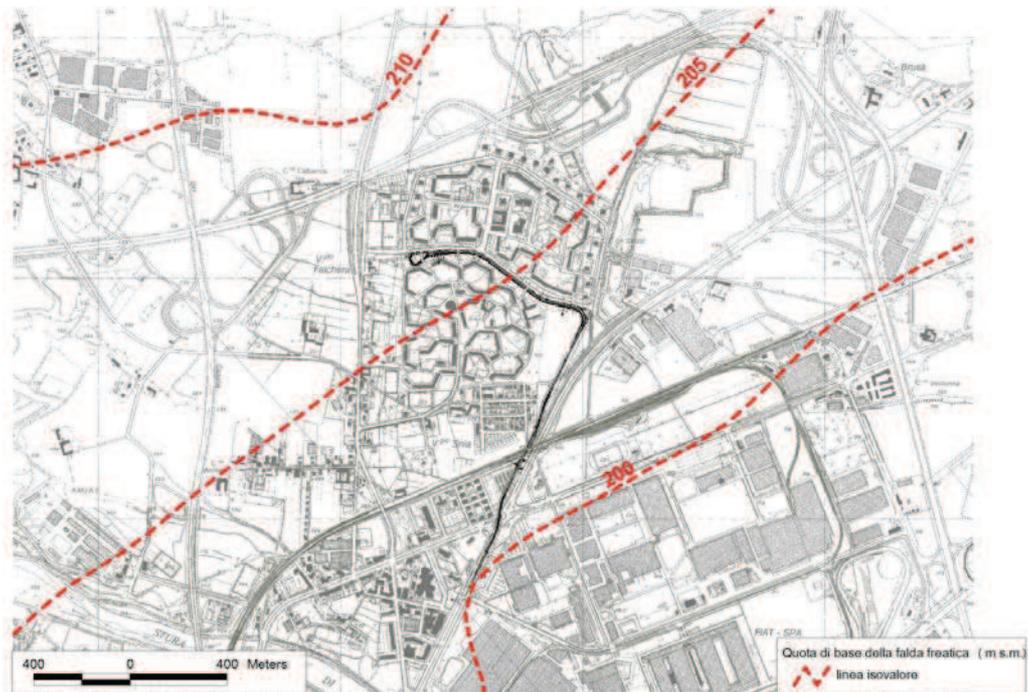


Figura 4 - Profondità della base della sequenza ghiaioso sabbiosa costituente l'acquifero freatico (da tematismi informatizzati del Progetto PRISMAS – Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra).

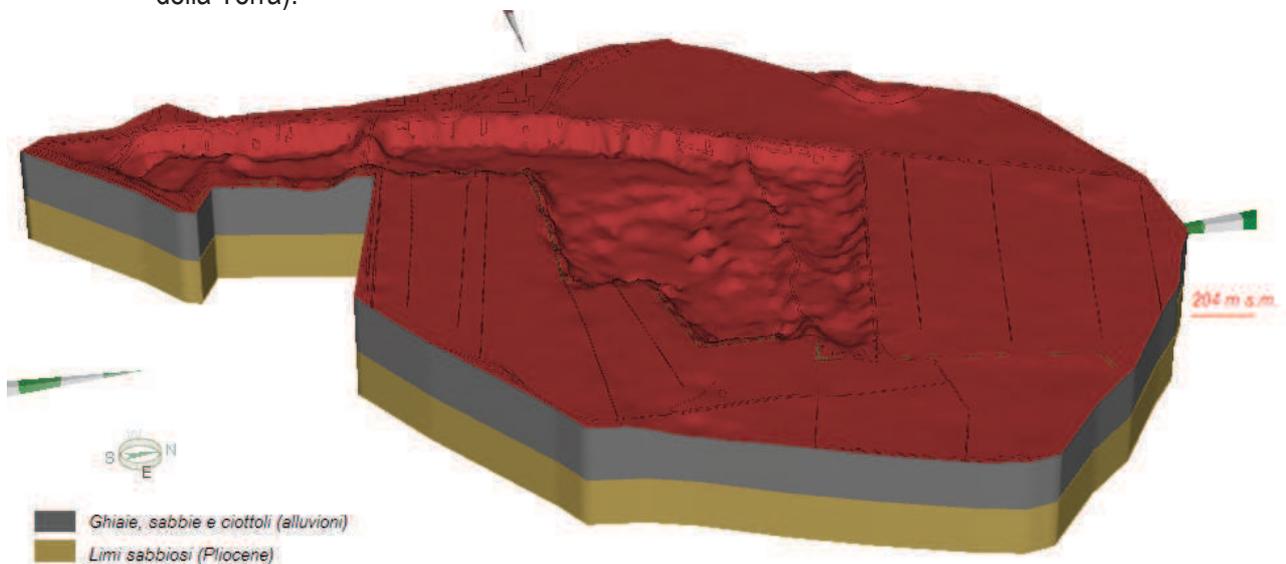


Figura 4 - Schema stratigrafico dell'area di progetto "laghetti Falchera". Gli scavi interessano esclusivamente i depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi, fino alla profondità di 7 m circa, senza raggiungere la base dell'acquifero.

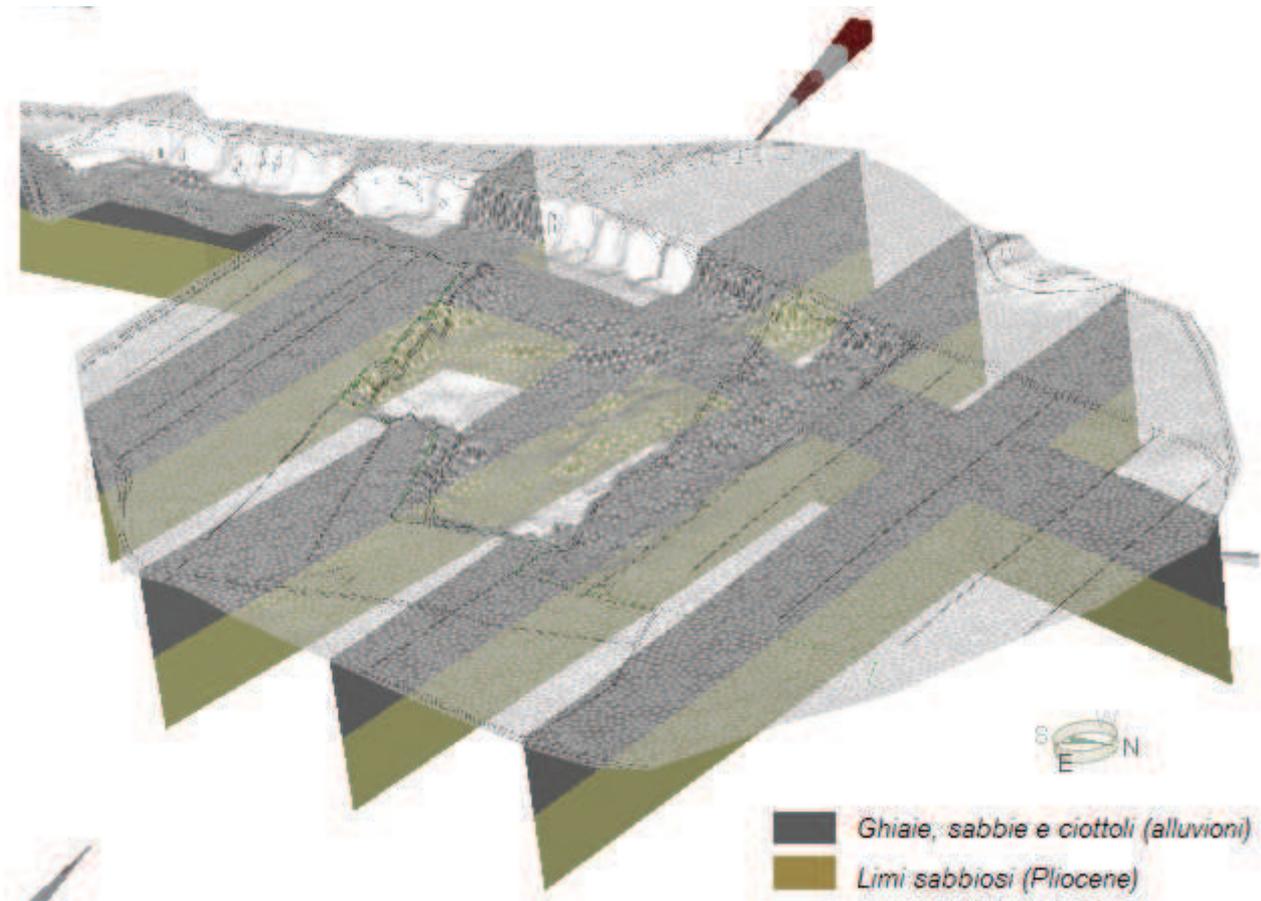


Figura 5 - Sezioni incrociate dell'area laghetti Falchera.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E CONDIZIONI DI STABILITA' E DISSESTO DELLE SPONDE

I laghetti Falchera costituiscono ex bacini estrattivi allo stato originale, e non sono pertanto stati realizzati, contestualmente agli scavi o in fase successiva, con obiettivi di valorizzazione e recupero naturalistico.

In conseguenza le sponde sono state per estesi tratti realizzate sulla base della massima acclività compatibile con l'angolo di resistenza al taglio dei terreni. Una modesta stabilizzazione, successiva agli scavi, è stata determinata dalla colonizzazione delle sponde stesse da parte di vegetazione arborea ed arbustiva con radici profonde.

Le acclività massime, evidentemente non compatibili con la stabilità a lungo termine di scarpate in materiali sciolti, caratterizzano l'intera linea di sponda sul lato Falchera, e parte della opposta linea di sponda lato autostrada A4.

Lungo la sponda lato urbanizzazione Falchera si osservano le superfici di due dissesti presumibilmente recenti (Figura 6a, b), che hanno dato origine a scarpate a forte acclività ($\approx 50^\circ$) instabili a medio termine, ovvero destinati ad evoluzione per arretramento del ciglio, oltre che per estensione dei dissesti nelle porzioni laterali.

In generale entrambe le sponde lato Falchera e lato A4 presentano evidenti problematiche di stabilità, come evidenziato anche dalle verifiche geotecniche con il metodo dell'equilibrio limite, di cui al successivo punto 6.



a



b

Figura 6 a, b - Settori spondali in frana, in fregio ai bacini Nord (a) e Sud (b). Cfr. Figura 7.



Figura 7 - Settori spondali maggiormente acclivi, con evidenze di instabilità morfologiche (tratteggio in colore rosso). Con le lettere A, B sono indicati i dissesti localizzati di cui alla figura Figura 6 a,b.

4. IDROGEOLOGIA

4.1 Quadro generale

Il corpo alluvionale superficiale, derivante dalla deposizione di sedimenti grossolani nell'ambito della porzione distale della conoide di Stura, costituisce un acquifero freatico, delimitato alla base dal tetto limoso argilloso dei depositi pliocenici, come da assetto stratigrafico precedentemente descritto.

L'acquifero si presenta prevalentemente ghiaioso-sabbioso-ciottoloso nell'ambito dei primi 12-13 m circa, con valori mediamente elevati di conducibilità idraulica ($1 \div 5 \cdot 10^{-3}$ m/s), come risultante dalle prove di emungimento eseguite nella limitrofa area di Falchera nuova.

A profondità superiori, fino alla base dell'acquifero alla profondità di 18-20 m circa, si osserva un rilevante incremento della matrice fine limosa e conseguenti inferiori valori di conducibilità idraulica.

Sulla base delle stratigrafie dei sondaggi disponibili, non si è mai riscontrata la presenza di lenti conglomeratiche ("Ceppo" Auct.) o livelli argillosi correlabili, che possano determinare locale compartimentazione degli acquiferi in corrispondenza delle opere eseguite.

I laghetti di Falchera, che interessano esclusivamente la litozona superiore ghiaioso-sabbioso-ciottolosa a maggiore permeabilità, costituiscono l'affioramento della falda freatica superficiale.

In Figura 10 è riportato l'assetto piezometrico complessivo dell'area in sinistra Stura, sulla base dei tematismi di cartografia numerica del PTA della Regione Piemonte, redatti in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, sulla base di dati rilevati nel periodo 2000-2002.

La direzione di falda risulta da convergente a subparallela all'asse del T. Stura, che si caratterizza per un ruolo drenante della falda freatica, più marcato procedendo da monte verso la confluenza in Po.

In particolare il settore Falchera sembrerebbe localizzato in corrispondenza di un lieve spartiacque sotterraneo, con divergenza delle linee di flusso. Tale spartiacque, poco marcato, separa il settore afferente all'asse drenante della Stura, dalle linee di flusso con dirette verso Po.

Il gradiente piezometrico a scala regionale è intorno allo 0.5%.

Come verrà evidenziato nei seguenti paragrafi, le quote di falda freatica nel settore in sinistra Stura, come a più ampia scala in gran parte dell'area metropolitana, sono risultate in evoluzione negli ultimi 15 anni circa, con evidente recupero dei livelli piezometrici, anche in risposta alla riduzione diffusa dei prelievi da acque sotterranee.

In conseguenza le quote piezometriche riportate nello studio PTA, che costituisce comunque la ricostruzione piezometrica più recente e di maggior dettaglio per l'area in esame, sono attualmente rappresentative dei regimi minimi di magra invernale, mentre i livelli massimi estivi si localizzano a quote superiori di circa 1.80-2.1 m.

Le quote massime di falda (minime soggiacenze) si riscontrano nel periodo estivo, a partire dalla fine di giugno, con picchi massimi di norma tra il mese di agosto e l'inizio di settembre, in riferimento alla traslazione degli effetti della ricarica tardo primaverile dai bacini alpini, oltre che in particolare dal contributo dell'irrigazione. Nei mesi di gennaio e inizio febbraio, caratterizzati da minime precipitazioni, essenzialmente nevose sull'alto bacino dello Stura, si riscontrano di norma i minimi annui di quota piezometrica.

4.2 Analisi dei dati piezometrici disponibili e definizione dei trend in atto per l'area di progetto

Le quote piezometriche non costituiscono in generale un dato "statico" essendo soggette a variazioni stagionali e trend pluriennali. Tali oscillazioni e trend sono connessi a diversi fattori che incidono sul bilancio degli acquiferi, sia naturali (cicli climatici), sia dipendenti dall'utilizzo e sfruttamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Tra i fattori "antropici", analogamente a quanto riscontrato in altre grandi aree metropolitane, i volumi di prelievo da pozzi e la variazione nel tempo degli stessi costituiscono il principale fattore condizionante l'evoluzione della superficie piezometrica, in relazione alle condizioni transitorie di sfruttamento degli acquiferi.

Le variazioni piezometriche nell'area metropolitana di Torino, sono note sulla base delle seguenti fonti conoscitive:

- dati ed elaborazioni contenute nel progetto “Aree Metropolitane e qualità delle Acque – l’Area Metropolitana di Torino” (Autorità di Bacino del F. Po, 1999) riferiti al periodo compreso tra la fine degli anni ’50 e fino alla fine degli anni ’90;
- dati relativi alla rete di piezometri installata da GTT in diversi settori dell’area urbana di Torino, a supporto dei progetti di rete metropolitana e parcheggi sotterranei, generalmente riferiti al periodo 1987-1996.

Per il periodo recente, a partire dai primi anni 2000, sono disponibili per la specifica area in sinistra Stura, e nel dettaglio per l’area Falchera, i seguenti punti di controllo:

- stazioni piezometriche rete di controllo PRISMAS della Regione Piemonte (Leini, Volpiano, Torino Stura – Via Germagnano, cfr. Figura 9);
- rete di controllo GTT – InfraTO in area Falchera nuova, limitrofa al sito di progetto, con registrazioni in continuo nel periodo 2007-2012.

I dati da fonte Autorità di Bacino consentono pertanto di inquadrare i fenomeni in una scala di osservazione ampia, anche dal punto di vista dell’estensione delle serie storiche, sulla base peraltro di un numero limitato di punti di osservazione. I dati GTT consentono invece di verificare la persistenza o meno dei trend osservati fino alla fine degli anni ’90, in riferimento specifico all’area urbana di Torino, e per l’ultimo decennio circa, anche nel dettaglio della specifica area “Falchera”.

In particolare per tutta l’area metropolitana si sono osservati forti abbassamenti di falda a partire dagli anni ’60 fino all’inizio degli anni ’90. Depressioni rilevanti (dell’ordine di 5-10 m) in tale periodo si osservano sia in alcuni settori di Torino oltre che, in particolare, per alcuni punti di misura nelle zone di Nichelino, Orbassano, Rivalta, Collegno, Ciriè. I settori di massimo abbassamento della piezometrica corrispondono alle più rilevanti aree di prelievo industriale ed idropotabile, tra cui l’area industriale Pirelli-Iveco-Michelin, limitrofa e a valle dell’area Falchera.

A partire, mediamente, dall’inizio degli anni ’90 si è evidenziata una controtendenza nell’evoluzione dei livelli di falda rispetto al periodo precedente, con un tasso di innalzamento massimo fino a 1-1.5 m/a.

Tale recupero è stato determinato sia dalla dismissione di prelievi idropotabili in area urbana (in particolare nell’ambito della città di Torino), sia in particolare dalla delocalizzazione industriale (e dei relativi prelievi da acque sotterranee).

Per l’area urbana di Torino, il fenomeno in atto di innalzamento della falda è testimoniato da pressochè tutte le serie storiche rilevate nei piezometri GTT (24 punti di misura localizzati in diversi settori della città), evidenziando una risposta complessiva della falda alla generalizzata riduzione dei prelievi. I diagrammi di falda relativi a tali punti di misura sono riportati in allegato 1 alla presente relazione.

Con riferimento a tali diagrammi, si può osservare come nel periodo 1990-96 il recupero di quota piezometrica media, costante e regolare, sia stato compreso tra 1 e 3 m circa, con un tasso pertanto localmente superiore a 0.5 m/a.

Per lo specifico settore NE dell’area urbana, sono disponibili, sempre con riferimento all’elenco e ai diagrammi in allegato 1, i piezometri GTT denominati:

- “CESAR” (Corso G. Cesare quasi all’imbocco dell’autostrada),

- "AIUOL" (Corso Giulio Cesare ang. Via Porpora e Boccherini)
- "DERNA" (Piazza Derna)
- "CRISPI" (Piazza Crispi fronte n. 53).

Con riferimento ai diagrammi in Figura 8 si osserva quanto segue:

- per tutti e 4 i piezometri si riscontra un trend positivo dei livelli medi di falda a partire dal 1989 circa;
- l'innalzamento più evidente è stato riscontrato nel piezometro "AIUOL" di C.so Giulio Cesare ang. Via Porpora, pari a 2.3 m nel periodo 1990-95;
- per il piezometro "CESAR" (dati disponibili solo fino al 1993), si è osservato un innalzamento della falda di circa 1.4 m nel periodo 1989-1993.

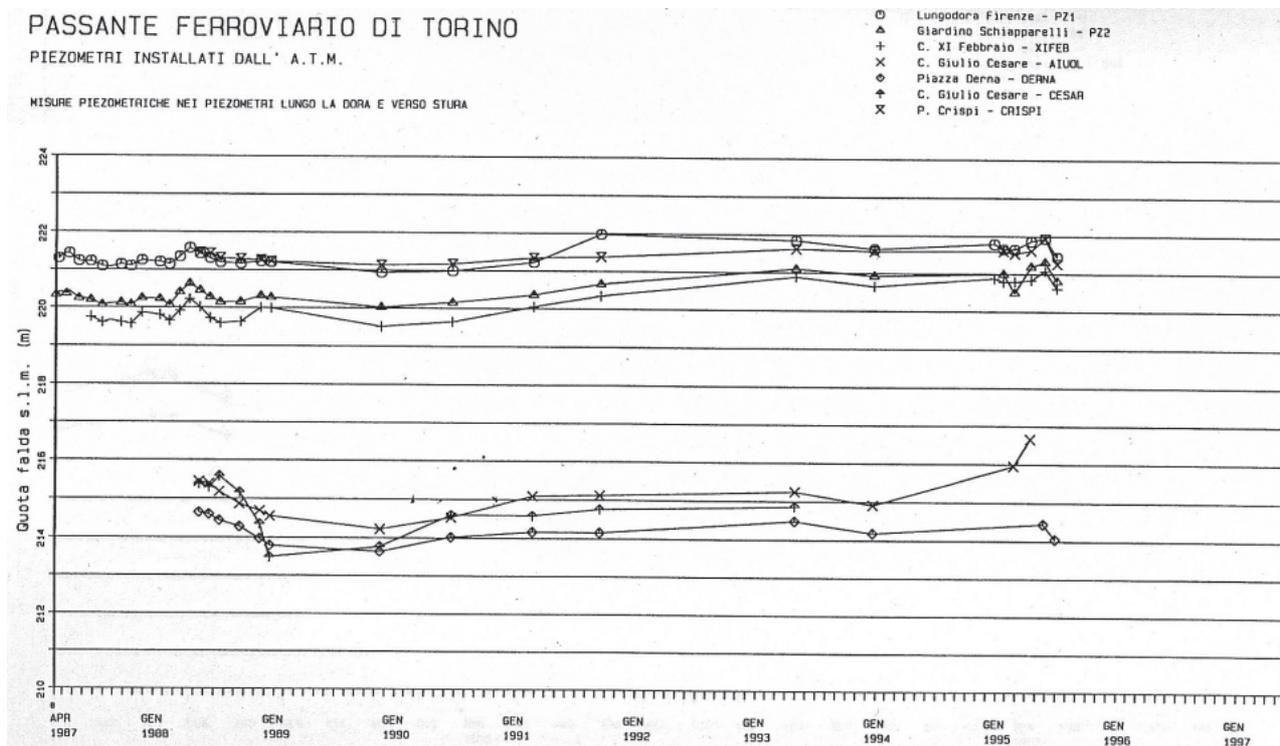


Figura 8 - Rilievi piezometrici storici (1987-1997) per l'area Torino Est.

E' inoltre rilevante osservare come l'inizio della serie storica, ante 1989 sia caratterizzata in tutti i punti di misura da un andamento marcatamente irregolare, verosimilmente influenzato dagli intensi prelievi industriali dell'area.

A riguardo si evidenzia come l'area urbana in sinistra Stura sia caratterizzata da elevatissima densità di pozzi industriali. In figura 2 sono riportati i pozzi di prelievo presenti nell'area, principalmente al servizio delle aree produttive Fiat-IVECO, Michelin, Pirelli, e di altri impianti industriali minori (fonte: catasto pozzi della Provincia di Torino, agg. a. 2000). Sono presenti in particolare oltre 50 pozzi, da cui, considerando sulla base della potenzialità media locale della falda freatica una portata emungibile dell'ordine di 25-30 l/s, sulla base di cicli operativi di 12 ore/d, può essere stimato un prelievo massimo dell'ordine di 60000 m³/d.

Tali prelievi, sulla base dei dati relativi alle dichiarazioni per gli scarichi risulterebbero circa dimezzati nel periodo 1995-2005, e, successivamente, in gran parte dismessi a seguito dell'abbandono o riconversione dei siti produttivi a valle dell'area Falchera.

Tali variazioni dei volumi di prelievo hanno avuto un effetto rilevante sulla piezometria della falda freatica e, in questo settore come in tutta l'Area Metropolitana di Torino, e costituiscono il principale fattore determinante dei trend piezometrici pluriennali osservati.

- Andamento e trend recente dei livelli di falda

Il periodo recente, a partire dalla metà degli anni 2000, si connota per la progressiva diminuzione dei grandi prelievi da acque sotterranee nelle aree produttive a valle dell'area Falchera, per le quali, come detto, si valutava in regime di punta portate di prelievo complessivo dell'ordine dei 60.000 m³/d.

Al trend piezometrico, negli anni più recenti (2009-2012), avrebbe inoltre contribuito un nuovo incremento della ricarica naturale, rispetto ai primi anni 2000, condizione che tuttavia non necessariamente può essere inserita in un nuovo ciclo idrologico pluriennale (cfr. Figura 13).

L'andamento recente della falda è noto in particolare dai dati relativi alla rete di monitoraggio Falchera gestita da GTT – InfraTO, con misure continue nel periodo 01/2007-01/2013, e riattivata partire dal mese di agosto nell'ambito di un progetto del Comune di Torino di controllo dei livelli di falda tramite emungimenti, nella medesima area Falchera.

I dati di soggiacenza rilevati nella rete di controllo Falchera sono riportati in Figura 13.

In Figura 9 è riportato inoltre il confronto tra il piezometro in posizione centrale della rete Falchera (S9), e, a più ampia scala, i piezometri della rete di controllo regionale PRISMAS in sinistra Stura (Leini PZ-SL7), Volpiano P34, e Torino Via Germagnano P31/1).

Sulla base di tali dati si può osservare quanto segue.

- i dati della rete di monitoraggio in area Falchera mostrano un trend lineare crescente nel periodo 2007-2012, che nel settore centrale dell'area monitorata (piezometro S9) è in media di 0.14 m/a; Tale trend è superiore (0.2 m/a) nel settore a valle dell'area stessa (cfr. grafico piezometro S7), più prossimo all'area industriale in zona Est Stura.
- i dati relativi al punto di monitoraggio Falchera S9, mostrano piena corrispondenza con i dati PRISMAS a più ampia scala, indicando una congruenza sia delle oscillazioni stagionali sia dei trend pluriennali a livello dell'area omogenea in sinistra del conoide di Stura.

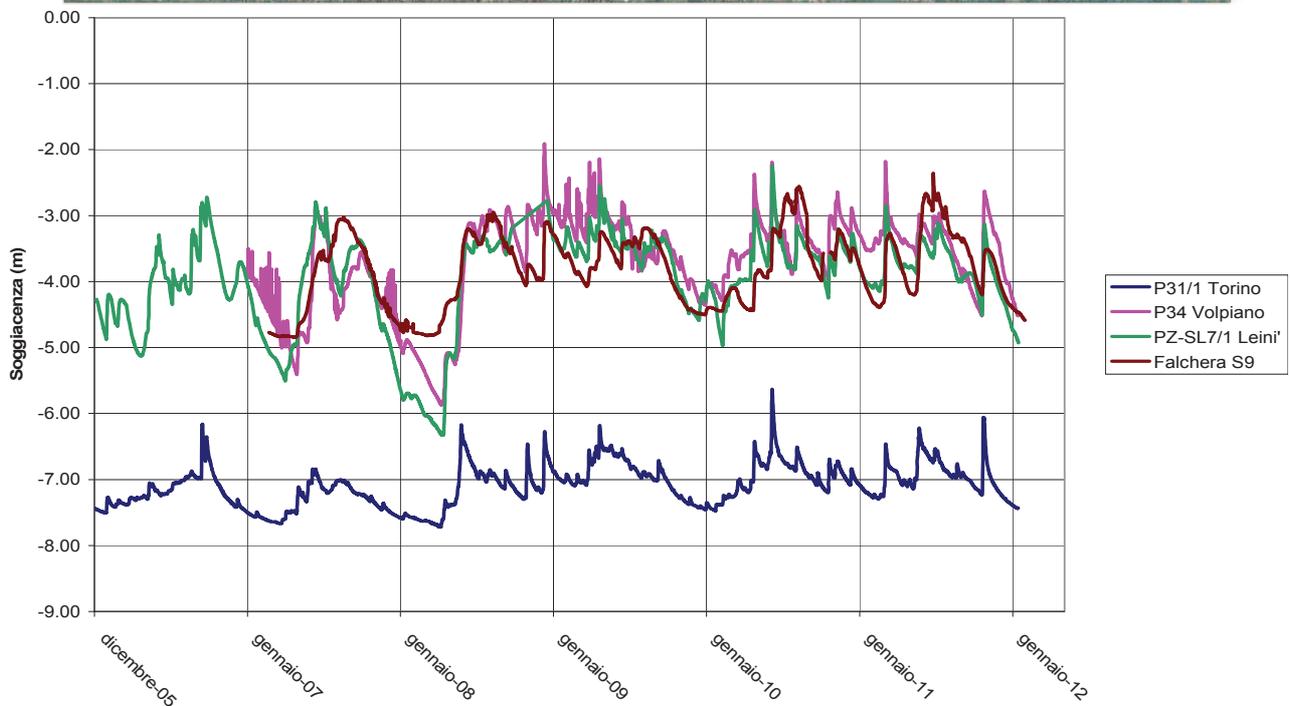
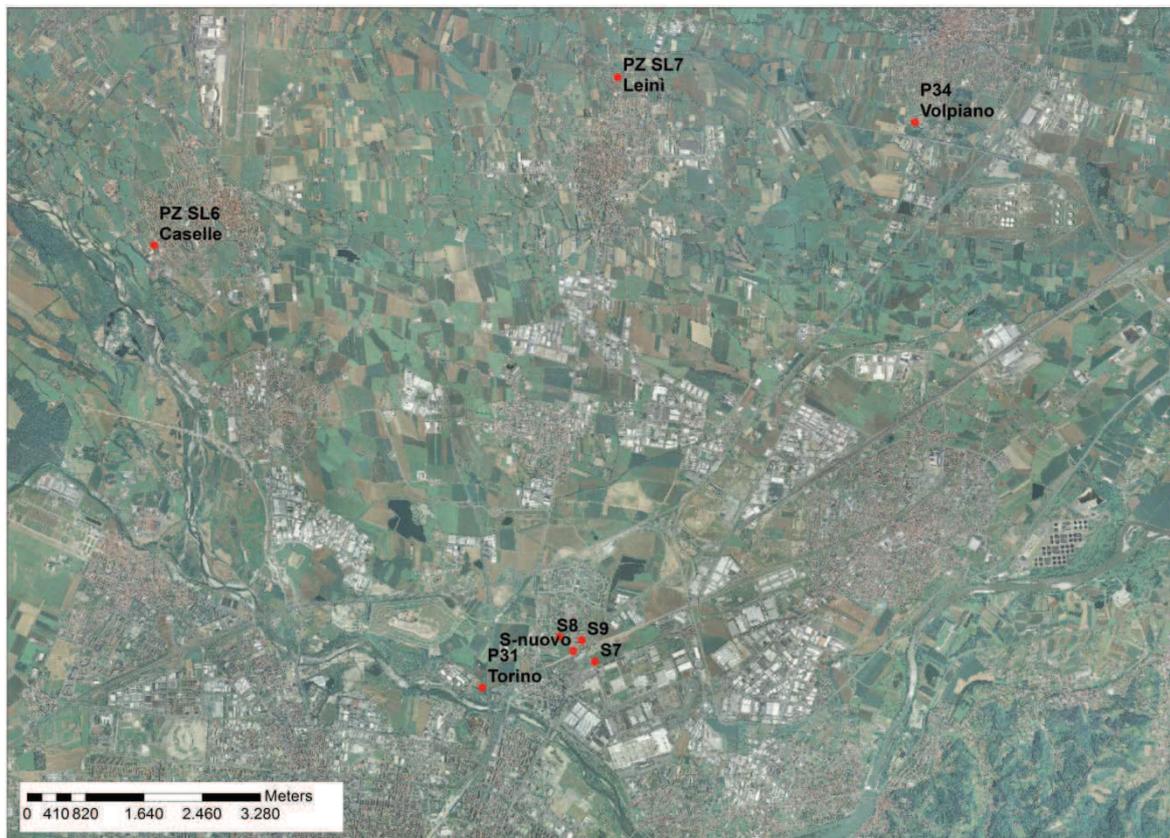
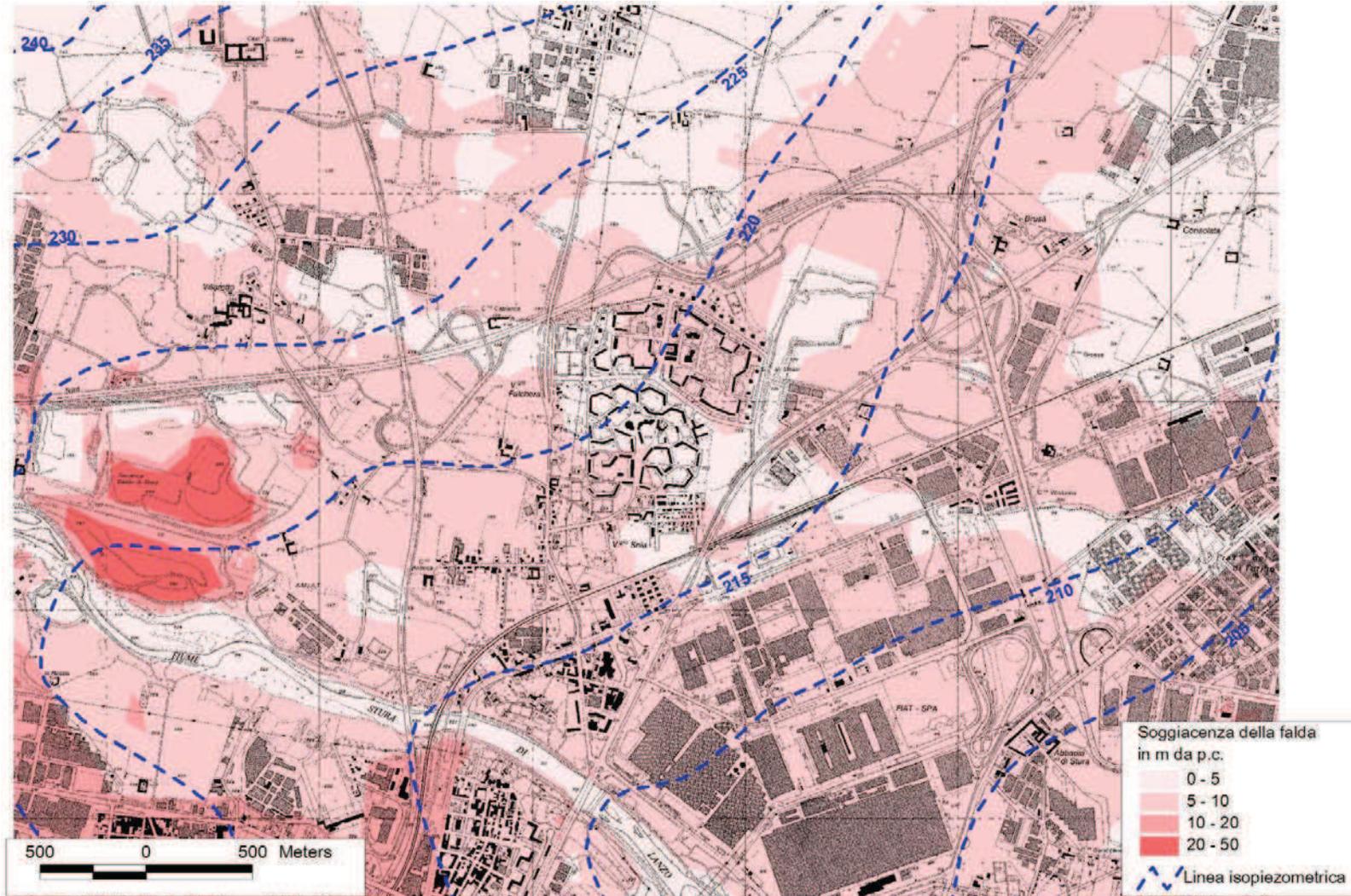


Figura 9 - Confronto dell'andamento della soggiacenza in corrispondenza dei piezometri PR.I.S.M.A.S di Leini (PZ-SL7), Volpiano (P34) e Torino Via Germagnano (P31/1) ed il piezometro GTT S9 in area Falchera. Si noti la relativa omogeneità dei trend a larga scala per tutta l'area in Sinistra Stura.



n.b. Le quote piezometriche indicate sono compatibili con gli attuali valori minimi invernali.

Figura 10 - L'assetto piezometrico complessivo dell'area in sinistra Stura, sulla base dei tematismi di cartografia numerica del PTA della Regione Piemonte, redatti in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, sulla base di dati rilevati nel periodo 2000-2002.

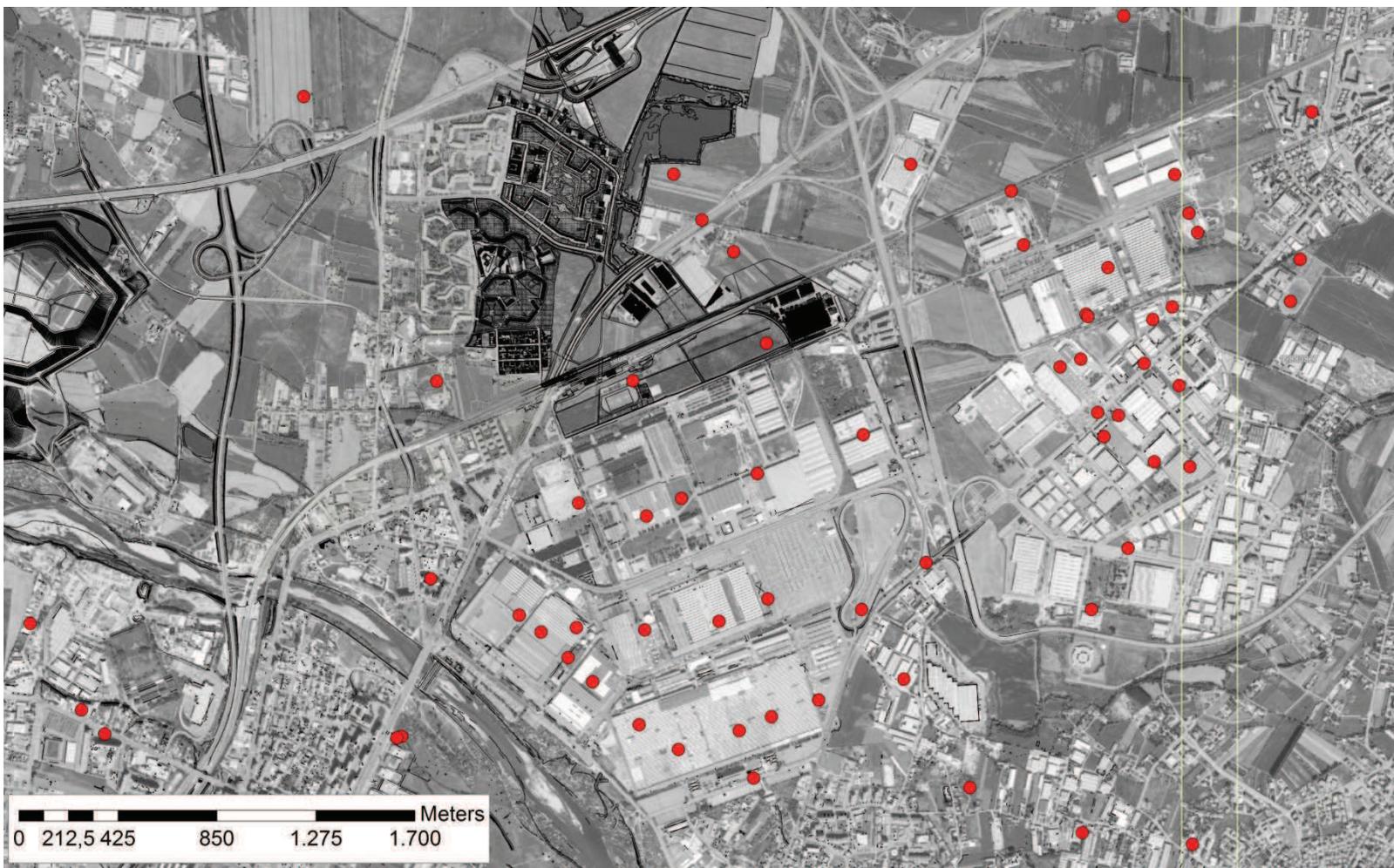


Figura 11 - Pozzi di prelievo ad uso industriale da falda freatica nell'area in esame attivi intorno alla fine degli anni '90 (fonte: Provincia di Torino – Catasto Pozzi, agg. 2000). La dismissione dei prelievi a seguito della parziale chiusura e riconversione dell'area industriale è principalmente all'origine del trend di innalzamento piezometrico osservato.



Figura 12 - Confronto tra rilievi aerofotogrammetrici dell'area laghi Falchera nei periodi di massima quota falda estiva 1989, 1996, 2012. L'innalzamento del livello di falda è evidenziato dalla minore estensione delle aree emerse al contorno, e in particolare lungo il percorso che separa i bacini NE e SW.

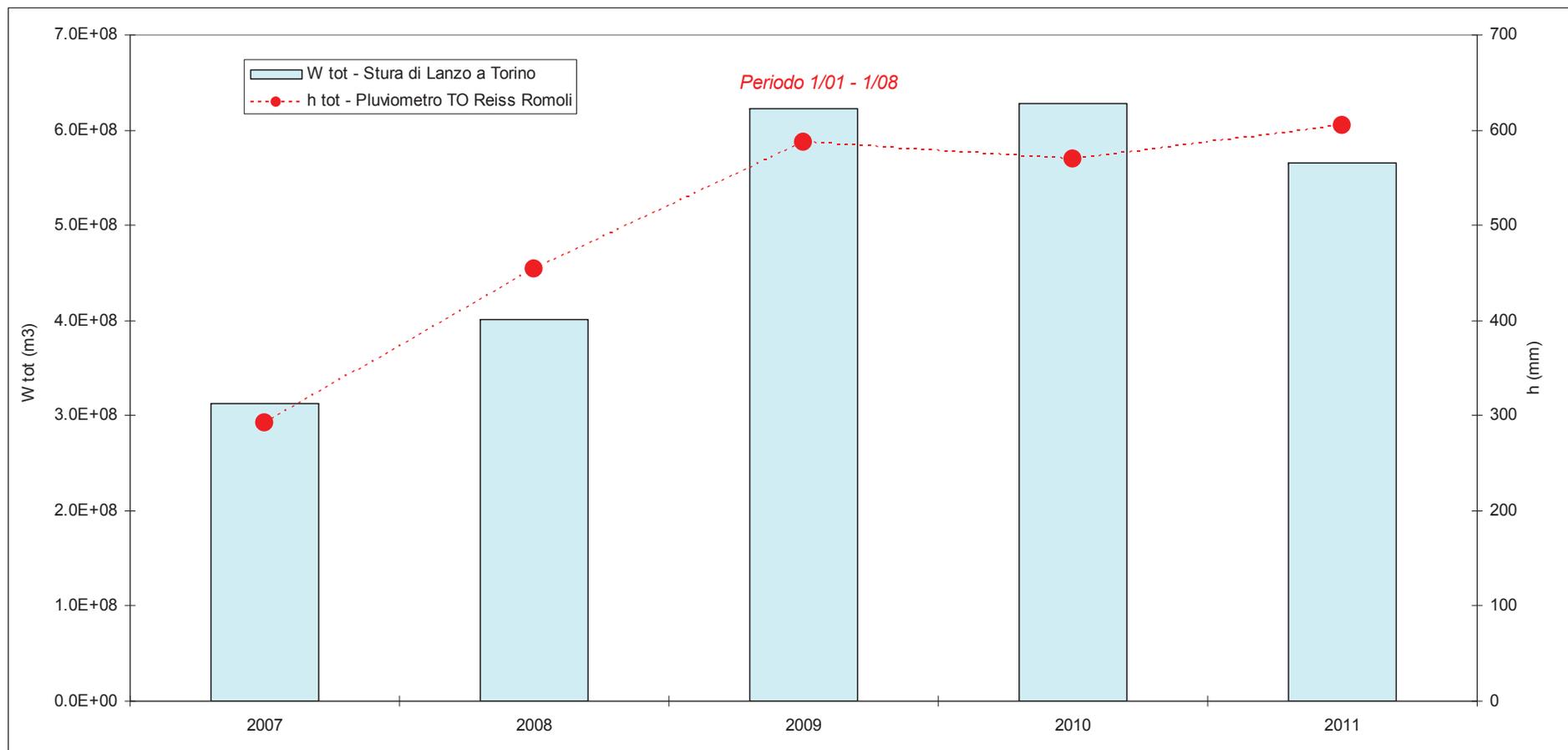


Figura 13 - Volume totale W_{tot} di deflusso della Stura a Torino (stazione monitoraggio SLATO Regione Piemonte) Vs. precipitazione cumulata (stazione pluviometrica Torino Reiss Romoli). Confronto tra gli andamenti 2007-2008-2010-2011 relativamente al periodo 01/01 – 01/08. Un incremento della ricarica naturale nel quadriennio 2009-2012 rispetto almeno al decennio precedente sarebbe concausa (con la riduzione dei prelievi) degli innalzamenti di falda osservati negli anni più recenti.

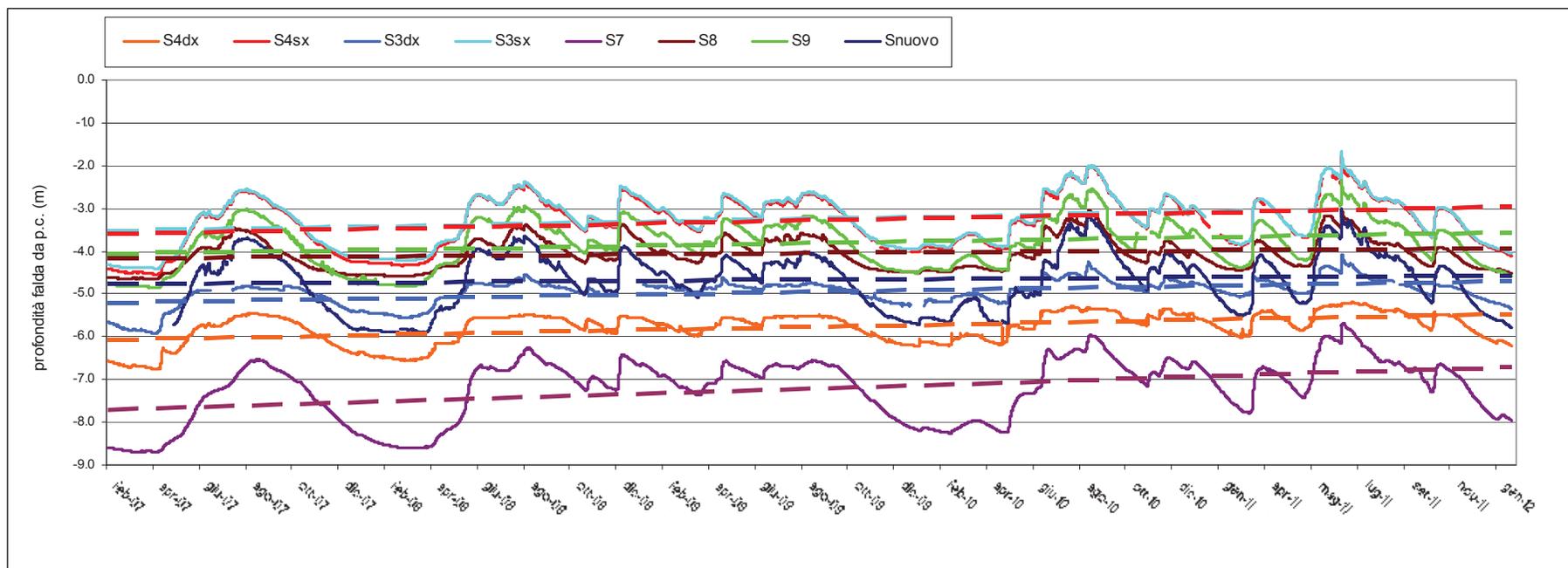


Figura 13 - Trend lineare dei livelli 2007-2011 (periodo idrologico comprensivo di 4 minimi tardo-invernali e 4 massimi estivi) – Si noti il trend positivo dei livelli nel periodo di riferimento, correlato a livelli minimi invernali in crescita e ad una maggiore persistenza dei livelli massimi. La tendenza più rilevante si osserva per il piezometro S7, esterno all’area Falchera e posto a valle della linea 4.

4.3 Definizione delle quote freatiche di progetto

La definizione di quote freatiche di progetto, fa riferimento allo stato attuale dei livelli di falda, che come evidenziato risultano mediamente superiori per l'area specifica in sinistra Stura, rispetto ai valori di riferimento definiti dalle indagini sui laghetti Falchera 1998-99.

Tale variazioni dipendono sia da cicli idrologici naturali, sia dalla progressiva riduzione dei prelievi che ha caratterizzato negli ultimi 15 anni circa l'intera area metropolitana.

In merito a tali concause, non è atteso un prossimo nuovo incremento dei prelievi da acque sotterranee a scala di area metropolitana. Non è invece compiutamente valutabile, evidentemente, un andamento idrologico a breve-medio termine.

Pertanto, i livelli di progetto fanno riferimento allo stato attuale delle quote di falda, e alla proiezione di breve termine dei trend in atto, non necessariamente significativi in una prospettiva temporale più estesa.

La definizione dei livelli di progetto è in particolare relativa alla quota di pelo libero dei laghetti Falchera nelle condizioni di massimo estivo (luglio-settembre) e di minimo invernale (dicembre-febbraio).

La definizione di tale quota è stata effettuata a partire dal monitoraggio dei livelli eseguito nell'area Falchera nuova a partire dal febbraio 2007. In particolare, come si può notare dal grafico di Figura 9, l'andamento del piezometro PZ9 Falchera risulta in assoluto congruente, sia per andamenti stagionali che pluriennali, con gli altri piezometri della rete regionale di controllo PRISMAS installati in falda freatica nel settore di sinistra Stura, ed è pertanto rappresentativo delle oscillazioni piezometriche anche per il limitrofo settore di progetto.

La procedura di definizione delle quote di riferimento è consistita in:

- livellazione delle quote di pelo libero dei bacini lacustri, in riferimento alle date attuali (fine novembre 2013);
- valutazione delle oscillazioni stagionali medie, su base annuale rispetto al mese di novembre, nel periodo di monitoraggio 2007-2013 (ovvero stima dei differenziali medi annui $+\Delta_{Hmax}$, $-\Delta_{Hmin}$ di quota piezometrica rispetto ai minimi e massimi stagionali);
- definizione delle quote massime e minime 2013-2014, rispettivamente come quota piezometrica di rilievo H (nov 2013) $+\Delta_{Hmax}$ e H (nov 2013) $-\Delta_{Hmin}$;
- proiezione dei dati di livello minimo e massimo sulla base del trend piezometrico pluriennale rilevato per l'area Falchera.

La stima dei differenziali $+\Delta_{Hmax}$, $-\Delta_{Hmin}$ di quota piezometrica tra i valori annuali di fine novembre (valutati come media per il periodo 20/11-10/12 di ogni anno di monitoraggio) rispetto ai minimi e massimi stagionali è riportata nella seguente Tabella 1.

anno	quota t.p.	liv med (m da p.c.) 20/11 - 10/12	quota med (m s.l.m.) 20/11 - 10/12	liv. min (m da p.c.) feb20xx-gen20X1	quota min (m s.l.m.) feb20xx-gen20X1	liv. max (m da p.c.) feb20xx-gen20X1	quota max (m s.l.m.) feb20xx-gen20X1	+Δ Hmin (m)	Δ H_max (m)
2007	221,95	-4,37	217,58	-4,843	217,107	-3,02	218,93	0,473	-1,35
2008	221,95	-3,93	218,02	-4,821	217,129	-2,956	218,994	0,891	-0,974
2009	221,95	-4,41	217,54	-4,505	217,445	-3,187	218,763	0,095	-1,223
2010	221,95	-3,81	218,14	-4,451	217,499	-2,554	219,396	0,641	-1,256
2011	221,95	-3,64	218,31	-4,588	217,362	-2,357	219,593	0,948	-1,283
<i>media</i>		<i>-4,03</i>	<i>217,92</i>	<i>-4,64</i>	<i>217,31</i>	<i>-2,81</i>	<i>219,14</i>	<i>0,61</i>	<i>-1,22</i>

Tabella 1 - Stazione di monitoraggio piezometrico Falchera S9 (cfr. Figura 9, Figura 13). Stima dei differenziali $+\Delta H_{max}$, $-\Delta H_{min}$ di quota piezometrica rispetto ai minimi e massimi valori stagionali.

Pertanto, stante la quota di pelo libero misurata in data 27/11/2013 pari a 220,04 m s.l.m. si stimano le seguenti quote di riferimento per il progetto di recupero naturalistico:

- **quota massima stagionale** (luglio-agosto) = 220,04 + 1,22 = **221,26** m s.l.m.
- **quota minima stagionale** (gennaio-febbraio) = 220,04 – 0.61 = **219,43** m s.l.m.

Nel periodo di monitoraggio 2007-2012, le quote medie annuali di falda freatica hanno subito un innalzamento su S9 pari a circa 0,14 m/a. Tale valore risulta in linea con quanto riscontrato per gli altri piezometri della rete di monitoraggio Falchera e a più larga scala territoriale sui punti di controllo della rete regionale PRISMAS (Figura 9, Figura 13).

I dati parziali 2013 non evidenzerebbero tuttavia un ulteriore innalzamento rispetto ai valori 2011-2012, condizione che potrebbe indicare una condizione prossima all'equilibrio, ovvero il termine della fase di innalzamento iniziata nella seconda metà degli anni '90, anche in risposta alla diminuita pressione dei prelievi da falda in tutta l'area metropolitana.

Attualmente non si ritiene dunque opportuno inserire i valori di quota falda precedentemente calcolati nell'ambito di un trend di evoluzione pluriennale.

Circa le quote di progetto attuali, si rileva come queste risultino incrementate di oltre 1 m rispetto a quelle valutate nella condizione di falda 1999, come risulta dalla seguente tabella.

	Progetto 1999	Progetto 2013
Quota max stagionale	220	221,26
Quota media stagionale	219	220,35
Quota min stagionale	218	219,43

Tabella 2 - Confronto tra le quote di progetto 1999 e 2013, in riferimento all'evoluzione dei livelli di falda e conseguente pelo libero dei bacini Falchera.

In sintesi si rileva come a seguito dell'innalzamento del livello di falda e lacustre, i livelli massimi estivi 1999 (rilievo 22 luglio 99, Q p.l. 220.06 m s.l.m.), siano comparabili con i livelli del mese di novembre (rilievo 27 novembre 2013, Q p.l. 220.04 m s.l.m.), più prossimo al campo dei valori minimi stagionali.

4.4 Valutazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero sulla base delle prove di emungimento

I parametri idrodinamici dell'acquifero in area Falchera sono noti a partire da prove di emungimento di lunga durata (interpretate sulla base di 100 ore di pompaggio) condotte in regime di non equilibrio nell'ambito del sistema di abbattimento e controllo della falda in area Falchera nuova.

I parametri sono stati ricavati sulla base delle relazioni tempo/abbassamenti, per pompaggio a portata costante dal nuovo pozzo P1 di via Adige 15, su tre punti significativi della rete di controllo Falchera (PZ9, PZ4, PZ-nuovo).

I parametri idrodinamici (T, K, S), riportati in Tabella 3, sono pertanto rappresentativi di porzioni estese dell'acquifero alluvionale, e si caratterizzano per una marcata omogeneità. Tali dati possono pertanto essere considerati rappresentativi anche della limitrofa area di progetto, in corrispondenza dei laghetti Falchera.

I valori di conducibilità idraulica sono in particolare relativamente elevati ($\approx 2 \cdot 10^{-3}$ m/s), compatibili con la natura grossolana ghiaioso-sabbioso-ciottolosa dei depositi superficiali.

Piezometro	Distanza da P1 (m)	T (m ² /s)	K (m/s)	S []
PZ9	64	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$	n.d.
PZ4 sx	128	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$1,60 \cdot 10^{-3}$	0,08
PZ nuovo	254	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	0,06

Tabella 3 - Calcolo dei parametri idrodinamici dell'acquifero in riferimento a punti di osservazione posti a differente distanza dal punto di emungimento P1.

4.5 Ipotesi di controllo dei livelli tramite emungimento o scarico a gravità

A supporto di ipotesi progettuali basate sul controllo delle oscillazioni massime di falda, è stato valutato lo scenario di abbattimento dei livelli, per un'altezza di circa 1 m, attraverso il prelievo di una portata costante dal bacino lacustre, tramite idonea derivazione superficiale.

La stima è basata sulla parametrizzazione dell'acquifero a falda libera effettuata tramite prove di emungimento nell'area Falchera nuova, di cui al precedente paragrafo 4.4.

Sulla base di tale parametrizzazione, è stato implementato un modello numerico preliminare, quasi-3D, dello scenario di derivazione. Il modello, semplificato, considera una condizione iniziale di falda $H = 121.0$ m s.l.m., corrispondente circa alla quota massima di falda freatica.

Si sottolinea come in considerazione del campo di variabilità dei parametri idrodinamici, una valutazione di dettaglio progettuale deve necessariamente basarsi su indagini di caratterizzazione idrodinamica mediante prove di emungimento in sito a supporto di uno studio modellistico adeguato, calibrato anche sulla base delle oscillazioni naturali dei livelli.

I risultati della valutazione sono riportati nella successiva Figura 14. Per lo scenario simulato, e la parametrizzazione idrodinamica di riferimento, la riduzione del livello di falda tra le quote 221 e 220 m s.l.m., risulta realizzabile tramite una derivazione in continuo di circa 140 l/s. I tempi di riferimento per il raggiungimento della condizione di equilibrio (grafico nella medesima Figura 14) sono relativamente lunghi, ovvero nell'ambito di intervalli di tempo stagionali in cui sono comunque marcate le oscillazioni naturali di falda.

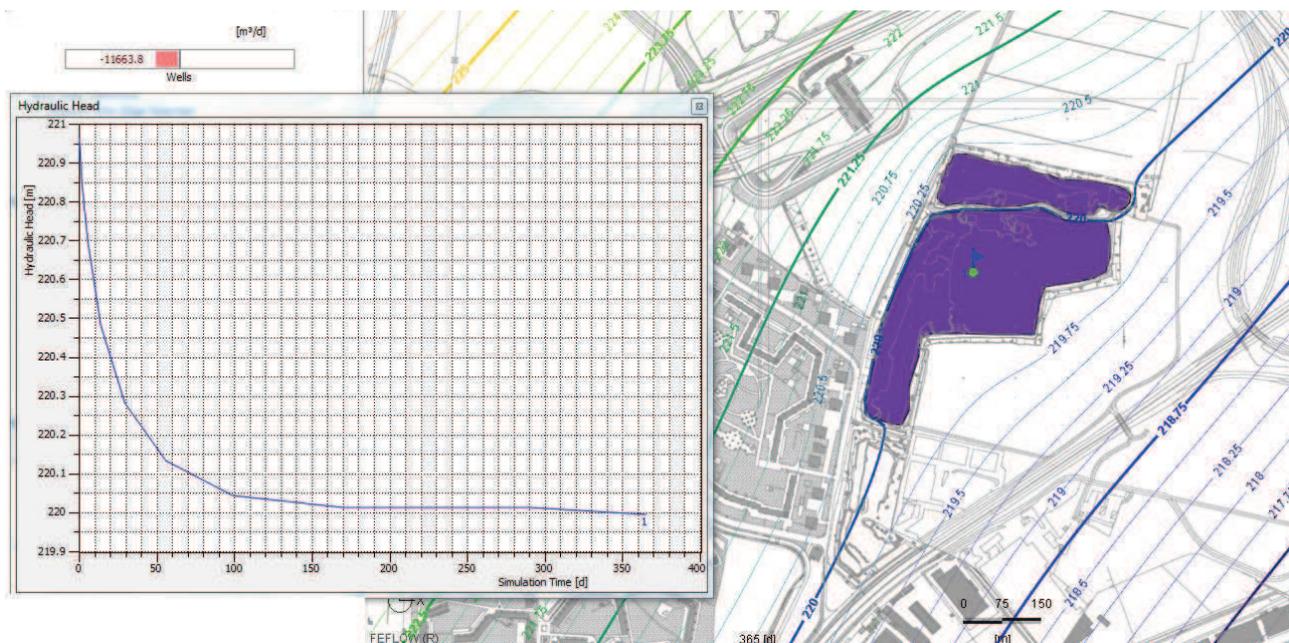


Figura 14 - Scenario di controllo dei livelli di pelo libero pari a 1.0 m, attraverso prelievo in continuo dal bacino lacustre.

Seppure l'opzione di un controllo dei livelli risulti in linea teorica, percorribile, occorre però valutare problemi pratici per un'effettiva attuabilità, che si ritengono rilevanti e sostanziali:

- l'opzione di progetto più razionale, basata su uno sfioro a gravità, risulta difficilmente realizzabile per la non disponibilità di punti di scarico alla quota di ipotetica limitazione dei livelli (indicativamente 219÷220 m s.l.m), anche per il vincolo verso valle dell'autostrada A4;
- un sollevamento con idrovora, oltre che di compatibilità da valutare con la tipologia di progetto con valenza naturalistica, introdurrebbe costi di gestione elevati (in prima valutazione stimabili in oltre 30.000-40.000 Euro/anno di sola fornitura elettrica, nell'opzione di una pompa da 40 kWh in emungimento continuo 180 gg/a);
- nel caso di un sollevamento qualsiasi guasto all'impianto (assolutamente plausibile anche solo per interruzione temporanea della fornitura elettrica) determinerebbe un rapido ripristino dei livelli naturali (in tempi anche inferiori all'ordine delle 12-24 ore), con danni all'ecosistema che si intende mantenere con il medesimo obiettivo di controllo dei livelli;
- per una derivazione di questo tipo e ordine dimensionale da falda freatica occorre valutare con attenzione il profilo di autorizzabilità.

5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI DEPOSITI COSTITUENTI LE SPONDE DEI LAGHETTI

5.1 Indagini stratigrafiche e prove in sito

Le caratteristiche geotecniche dei depositi costituenti le sponde e fondo dei laghetti Falchera, pertinenti alla litozona superiore ghiaioso-sabbioso-ciottolosa dei depositi fluio-glaciali, sono valutabili attraverso due differenti approcci di analisi:

- per correlazione con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT), disponibili da fonte Banca Dati Geotecnica di ARPA Piemonte (cfr. localizzazione in Figura 3 e risultati delle indagini geognostiche in allegato 1);
- a partire da back analysis sulle sezioni di sponda dei bacini in condizioni di equilibrio limite, mediante le usuali metodologie geotecniche di verifica della stabilità.

La seconda metodologia conduce a risultati più attendibili, anche in relazione ai limiti di significatività delle prove penetrometriche SPT in depositi a rilevante scheletro ghiaioso-ciottoloso come nel caso in esame.

A livello indicativo sono comunque riportati in Tabella 4 i risultati delle prove penetrometriche disponibili e significative per l'area di progetto.

La valutazione dell'angolo di resistenza al taglio ϕ è riportata, sulla base delle usuali correlazioni di letteratura, nelle successive Tabella 5 (ϕ di picco, metodo diretto di De Mello, 1971) e Tabella 7 (metodo indiretto di Schmertmann, 1969, sulla base della correlazione con la densità relativa, cfr. Tabella 6).

Tutte le correlazioni applicate risultano, come noto, definite per terreni prevalentemente sabbiosi, mentre conducono di norma in terreni a scheletro grossolano a una sovrastima dell'angolo di resistenza al taglio.

Si ritiene peraltro cautelativamente rappresentativo, come risultato dei metodi di valutazione applicati, fare riferimento al valore di calcolo minimo assoluto, in termini di angolo di attrito di picco

$$\phi_p = 37^\circ$$

Si tratta peraltro del medesimo dato derivante dalle verifiche di stabilità eseguite nell'ambito dello studio di progetto 1999, in riferimento alla condizione di equilibrio limite da back analysis.

Tale valore è in assoluto compatibile con le caratteristiche granulometriche dei depositi, come derivante dalle analisi sui campioni del materiale di sponda (cfr. successivo paragrafo 5.2) in riferimento a valori medi di addensamento dei depositi.

Profondità (m)	Nspt				
	Codice sondaggio			min	Med
3	104966	104967	108840	26	34
6	26	R	33	12	22,5
9	58	52	67	52	59
12	R	44	R	44	44

Tabella 4 - Risultati delle prove penetrometriche SPT.

Angolo di Attrito di Picco

METODO DIRETTO - DE MELLO (1971)

Quota falda [m]:		2,50	In presenza di falda		
Profondità [m]	Nspt [colpi/piede]	σ'_{vo} [kPa]	N'spt [colpi/piede]	ϕ [gradi]	
3,00	26,00	55,00	21	44	
6,00	12,00	85,00	12	37	
9,00	52,00	115,00	34	45	
12,00	44,00	145,00	30	42	

Tabella 5 - Valutazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ_p con il metodo diretto di De Mello (1971).

Densità Relativa

METODO DIRETTO - GIBBS & HOLTZ (1957)

Quota falda [m]:		-2,50	In presenza di falda					
Profondità [m]	Nspt [colpi/piede]	γ [kg/m ³]	σ_{vo} [kg/cm ²]	zw [m]	uo [kg/cm ²]	σ'_{vo} [kg/cm ²]	N'spt [colpi/piede]	Dr [%]
3,00	26,00	1900	0,57	3	0,55	0,02	21	> 95
6,00	12,00	1900	1,14	6	0,85	0,29	14	78
9,00	52,00	1900	1,71	9	1,15	0,56	34	> 95
12,00	44,00	1900	2,28	12	1,45	0,83	30	> 95

Tabella 6 - Stima della densità relativa a partire dai valori di Nspt, per l'applicazione del metodo indiretto di Schmertmann (cfr. successiva Tabella 7).

METODO INDIRECTO - DI SCHMERTMANN

Profondità [m]	Dr [%]	ϕ [gradi]	LITOLOGIA			
			1	2	3	4
3,00	90%	44			X	
6,00	80%	43			X	
9,00	80%	43			X	
12,00	90%	44			X	

1 = sabbia fine 3 = sabbia grossa
2 = sabbia media 4 = ghiaie

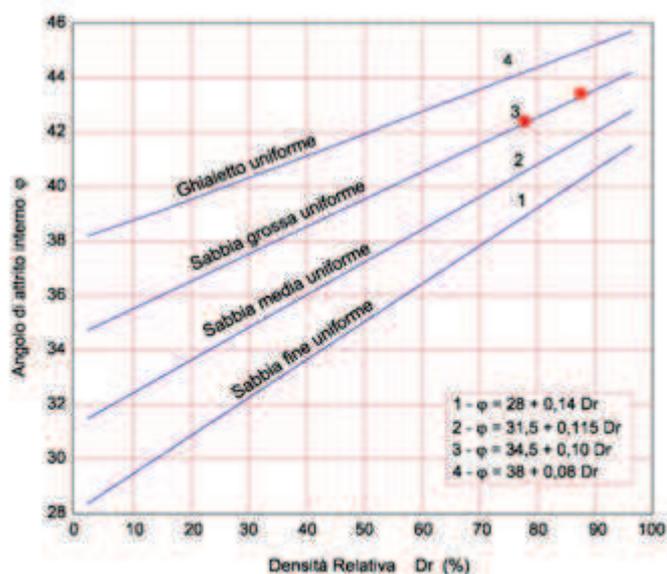


Tabella 7 - Valutazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ_p con il metodo indiretto di Schmertmann.

5.2 Indagini granulometriche

Le caratteristiche dei depositi sono state determinate attraverso analisi granulometriche di 7 campioni di terreno prelevati dalle sponde dei bacini lacustri (figura 8).

Le analisi sono state eseguite dal Laboratorio Modelli e Misure di HYDRODATA, per vagliatura secondo le procedure standard ASTM e AGI.

I risultati delle analisi granulometriche sono riportati nelle schede grafiche in allegato 3 a cui si rimanda per il dettaglio dei risultati.

A livello di sintesi la seguente tabella 14 riporta, per ognuno dei campioni prelevati, le percentuali in peso per le diverse classi granulometriche.

campione	% ghiaia (>2 mm)	% sabbia (2.0÷0.075 mm)	% limo/arg (<0.075 mm)
1	81	18.5	0.5
2	82	17.5	<0.5
3	66.5	31	2.5
4	66	33.5	<0.5
5	71.5	26	2.5
6	76	23.5	<0.5
7	78	22	<0.5

Tabella 14 - Granulometria delle sponde dei bacini lacustri (localizzazione punti di prelievo in Figura 15).

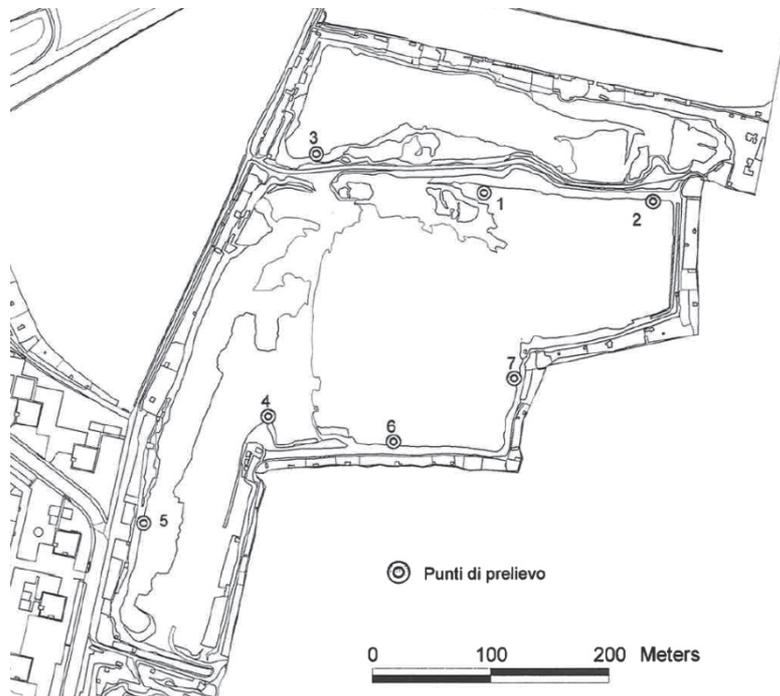


Figura 15 - Localizzazione dei punti di prelievo campioni per analisi granulometriche.

5.3 Definizione dei parametri geotecnici di progetto

Sulla base delle indagini geotecniche disponibili, e delle stime in back analysis su profili di sponda attuale in condizione di equilibrio limite, si definiscono i seguenti parametri geotecnici di progetto:

$$c = 0.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varphi_p = 37^\circ$$

$$\gamma = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

6. STABILITA' DELLE SPONDE DELL'INVASO

6.1 Generalità

Riguardo la stabilità delle sponde dei bacini, sia emerse che sommerse, si osserva quanto segue (rif. precedente par. 0):

- i bacini originati da attività estrattiva come quelli oggetto del presente studio sono generalmente caratterizzati da inclinazioni dei fianchi prossime all'equilibrio limite, in relazione all'esigenza di aumentare il rapporto volume di scavo/superficie;
- successivamente all'uso estrattivo dei bacini, gli abitanti locali hanno effettuato diffusi interventi di rimodellamento delle sponde, finalizzati al recupero di superfici per l'orticoltura a ridosso dei bacini lacustri; in alcuni casi sono stati effettuati interventi di stabilizzazione, scarsamente efficienti, utilizzando materiali di recupero di ogni tipo, sia per il rinforzo orizzontale dei terreni (griglie metalliche, reti, pali orizzontali e obliqui, ecc.), sia per il contenimento passivo degli stessi.

Conseguentemente, alcuni settori spondali non sono attualmente in sicurezza, con riferimento alle condizioni di stabilità a lungo termine delle sponde naturali e ai settori interessati dai precari interventi realizzati dagli orticoltori.

Pertanto, sono state effettuate verifiche geotecniche di stabilità delle sponde, mediante il metodo dell'equilibrio limite, finalizzate sia all'individuazione dei tratti spondali in condizioni di precaria stabilità sia alla definizione delle sezioni tipo "stabili", di riferimento in tali settori per il progetto degli interventi di messa in sicurezza.

6.2 Verifiche geotecniche

6.2.1 Metodologia utilizzata e riferimenti normativi

Le procedure di analisi della stabilità globale di un pendio, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consistono nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica.

Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza di taglio massima disponibile lungo la superficie di rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo tale piano:

$$(1) F_{\text{sic}} = T_{\text{max}} / T_{\text{mob}};$$

con

F_{sic} = coefficiente di sicurezza;

T_{max} = resistenza di taglio massima;

T_{mob} = sforzo tangenziale mobilitato.

All'equilibrio ($T_{max}=T_{mob}$) F_{sic} deve essere ovviamente uguale a 1.

La soluzione dell'equazione dell'equilibrio limite è stata effettuata utilizzando il noto metodo di Bishop. Tale metodo costituisce lo standard più comune per il calcolo di stabilità dei pendii; per la descrizione dello stesso si rimanda pertanto alla bibliografia in merito.

Il pendio potrebbe essere considerato in teoria stabile, quando F_{sic} risulta maggiore di 1 ($T_{max}>T_{mob}$), instabile in caso contrario ($T_{max}<T_{mob}$). In realtà, per tener conto dell'incertezza introdotta dalle ipotesi semplificatrici nella procedura di calcolo e soprattutto dell'approssimazione con cui sono noti i parametri geotecnici della roccia, ai fini di una verifica di stabilità secondo gli stati limite ultimi (SLU), in conformità alle prescrizioni delle **NTC 2008** (D.M. 14 febbraio 2008), i parametri geotecnici devono essere ridotti con un coefficiente parziale (cfr. par. 6.3.1).

Tutte le verifiche sono state eseguite, trattandosi di sponde fruibili al pubblico, sulla base dell'opzione più cautelativa prevista dalle NTC 2008, ovvero applicando i coefficienti parziali di riduzione e l'azione sismica (cfr. par. 6.3) per la zona e le condizioni geologiche e topografiche di riferimento (condizione A2+M2+R2+sisma).

Con l'applicazione dei coefficienti parziali, ai sensi delle NTC 2008 la stabilità normativa può dirsi raggiunta per valori del coefficiente di sicurezza $F_{sic} > 1.0$.

La valutazione di stabilità per il presente progetto, si basa sulle verifiche già eseguite a supporto del progetto 1999, con riferimento alla normativa all'epoca vigente (D.M. 11-3-88 n. 127). Le verifiche hanno riguardato 16 sezioni, rappresentative della morfologia spondale dei laghi Falchera, la cui localizzazione è riportata nello stralcio planimetrico di Figura 17.

Tali verifiche hanno evidenziato, come riportato nella medesima Figura 17 e nell'elenco di Tabella 8, condizioni di instabilità normativa ($F_s < 1.3$ come da ex D.M. 127/88) per 9 delle 16 sezioni sui lati maggiori Est e Ovest dei bacini lacustri.

La normativa attuale a seguito delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2008) introducono, con il criterio degli stati limite ultimi (SLU), un approccio che di norma risulta sensibilmente più cautelativo, ovvero a favore della sicurezza.

Pertanto, considerando confermata la non stabilità delle sezioni già "instabili" ai sensi del D.M. 127/88, anche ai sensi dei più cautelativi criteri di verifica agli SLU (NTC08), **le nuove verifiche a supporto del presente progetto hanno riguardato:**

- le sezioni prossime ai limiti di instabilità normativa da verifiche 1999, ovvero con $F_s 1.3 \div 1.45$, per valutarne la condizione di stabilità ai sensi anche delle NTC08 attualmente vigenti (Sezioni S4, S6);
- le sezioni di progetto, in riferimento ai settori spondali previsti a maggiore acclività.

I risultati delle verifiche sono riportati nel seguente paragrafo 6.5.1.

6.2.2 Definizione dei parametri geotecnici per l'esecuzione delle verifiche di stabilità

I depositi costituenti i fianchi dei Laghi della Falchera hanno natura non coesiva, in quanto costituiti da materiale grossolano prevalentemente ghiaioso-sabbioso, con percentuali inferiori al 3% di matrice fine.

In tali condizioni, ovvero con coesione $c = 0$, la resistenza al taglio τ del terreno dipende unicamente dall'angolo di attrito interno φ del terreno, riducendosi la legge di Coulomb a $\tau = \text{tg } \varphi$.

L'angolo di attrito interno dei materiali è stato determinato, già dalle serie di verifiche eseguite nell'ambito del progetto 1999, mediante back-analysis, secondo la procedura nel seguito descritta:

- individuazione delle sezioni maggiormente critiche, ovvero in cui l'estrazione degli inerti ha determinato i massimi possibili angoli di scarpa e pertanto condizioni prossime all'equilibrio limite;
- calcolo del fattore di sicurezza mediante l'applicazione del metodo dell'equilibrio limite, utilizzando differenti valori dell'angolo di attrito interno φ ;
- individuazione dell'angolo di attrito interno φ_{min} che determina un fattore di sicurezza $F_s = 1.00$ della sezione critica, ovvero condizioni limite di stabilità, con equilibrio tra momento ribaltante e momento stabilizzante.

Tutti i calcoli sono stati eseguiti utilizzando il metodo di Bishop semplificato, ovvero lo stesso metodo da utilizzarsi per le successive verifiche di stabilità. Inoltre, le verifiche di back analysis sono state effettuate applicando le condizioni di quota falda più cautelative (ovvero che minimizzano il fattore di sicurezza F_s) nella presunta fascia di oscillazione della stessa.

Per le sezioni più critiche (sezione 5, sezione 11, cfr. Allegato 2) $F_s \approx 1.0$ è determinato dal valore di $\varphi=37^\circ$. Tale valore di calcolo è in assoluto compatibile, e da ritenersi inoltre cautelativo, in relazione alla natura ghiaioso-sabbioso-ciottolosa dei depositi, come risultante dalle analisi granulometriche di cui al paragrafo precedente, oltre che compatibile con i risultati delle prove penetrometriche eseguite nell'area..

In relazione all'omogeneità dei depositi, evidenziata dalle stesse analisi granulometriche, non si è ritenuto opportuno variare nell'ambito dei diversi settori spondali i parametri geotecnici da utilizzare per le verifiche di stabilità.

Per quanto riguarda il peso specifico dei terreni, sopra falda (γ , kg/m^3) e saturo (γ_{sat} , kg/m^3), è stata eseguita nell'ambito delle indagini 1999 la misura in laboratorio sui campioni prelevati per analisi granulometriche. Le prove hanno identificato un range di $\gamma = 1900\div 1950 \text{ kg/m}^3$ e $\gamma_{\text{sat}} = 2100\div 2150 \text{ kg/m}^3$, valori ancora coerenti con la natura, granulometria e addensamento dei depositi.

Pertanto, la caratterizzazione dei depositi utilizzata per tutte le verifiche di stabilità è la seguente:

$$c = 0.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varphi = 37^\circ$$

$$\gamma = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

6.3 Valutazione dell'azione sismica ai sensi delle NTC 2008

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

6.3.1 Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$\mathbf{T1}(S_T = 1.0) \mathbf{T2}(S_T = 1.20) \mathbf{T3}(S_T = 1.20) \mathbf{T4}(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

6.4 Valutazione dei parametri sismici sito-specifici per l'area di progetto

Ai sensi della vigente classificazione sismica di cui alla Delibera G.R. 19/01/2010, n. 11-13058 (Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte n. 7 del 18/02/2010), il Comune di Torino è posto nella classe 4, a minore sismicità.

Come noto la classe 4 sostituisce la categoria "non sismica", non più prevista dalla normativa vigente, con particolare riferimento alle NTC 2008.

Nella seguente Figura 16 è riportato il calcolo dei parametri sismici di progetto, in conformità a quanto previsto dalle suddette Norme Tecniche, Capitolo 3.

Per il calcolo si è fatto riferimento alla categoria di suolo di fondazione "C", ovvero:

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT,30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)."

Tale categoria è stata definita in quanto maggiormente cautelativa della categoria "B", nell'ambito del campo di compatibilità con i valori di N_{spt} dalle prove penetrometriche disponibili (Allegato 1).

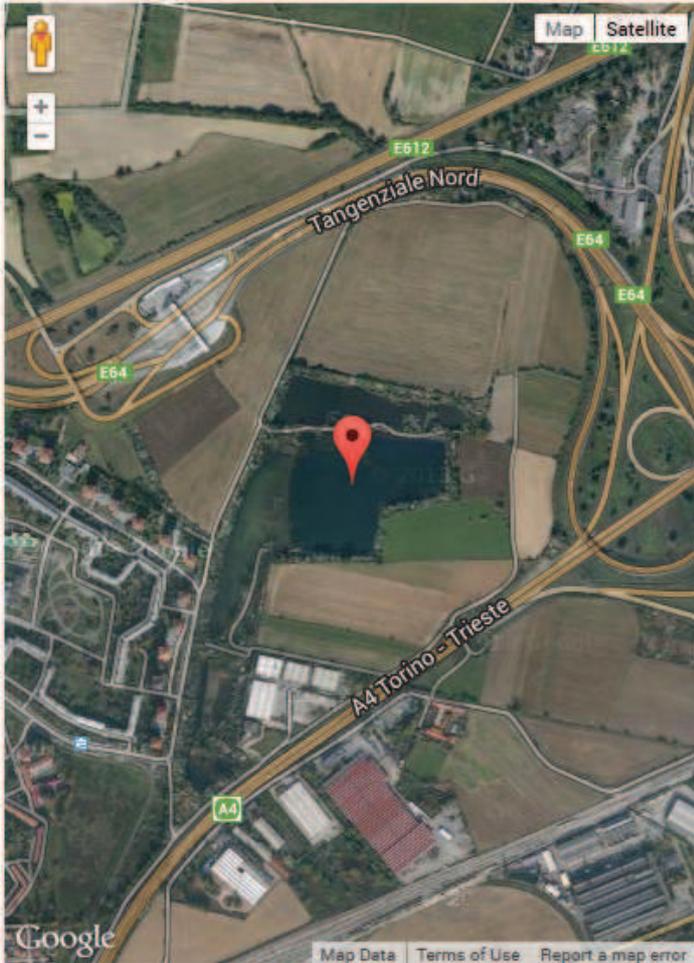
Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. 45,131892 ° Long. 7,7202878 °

(1)* Coordinate ED50
 Lat. 45,132848 ° Long. 7,721374 °

Classe dell'edificio
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche ▾ Cu = 1

Vita nominale 50 ▾



Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c * [s]
Operatività (SLO)	30	0,022	2,604	0,166
Danno (SLD)	50	0,027	2,600	0,191
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,051	2,748	0,271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,060	2,799	0,291
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc* Coeff. funz categoria	1,90	1,81	1,62	1,58
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,008	0,015	0,018
kv	0,003	0,004	0,008	0,009
Amax [m/s ²]	0,317	0,392	0,748	0,876
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

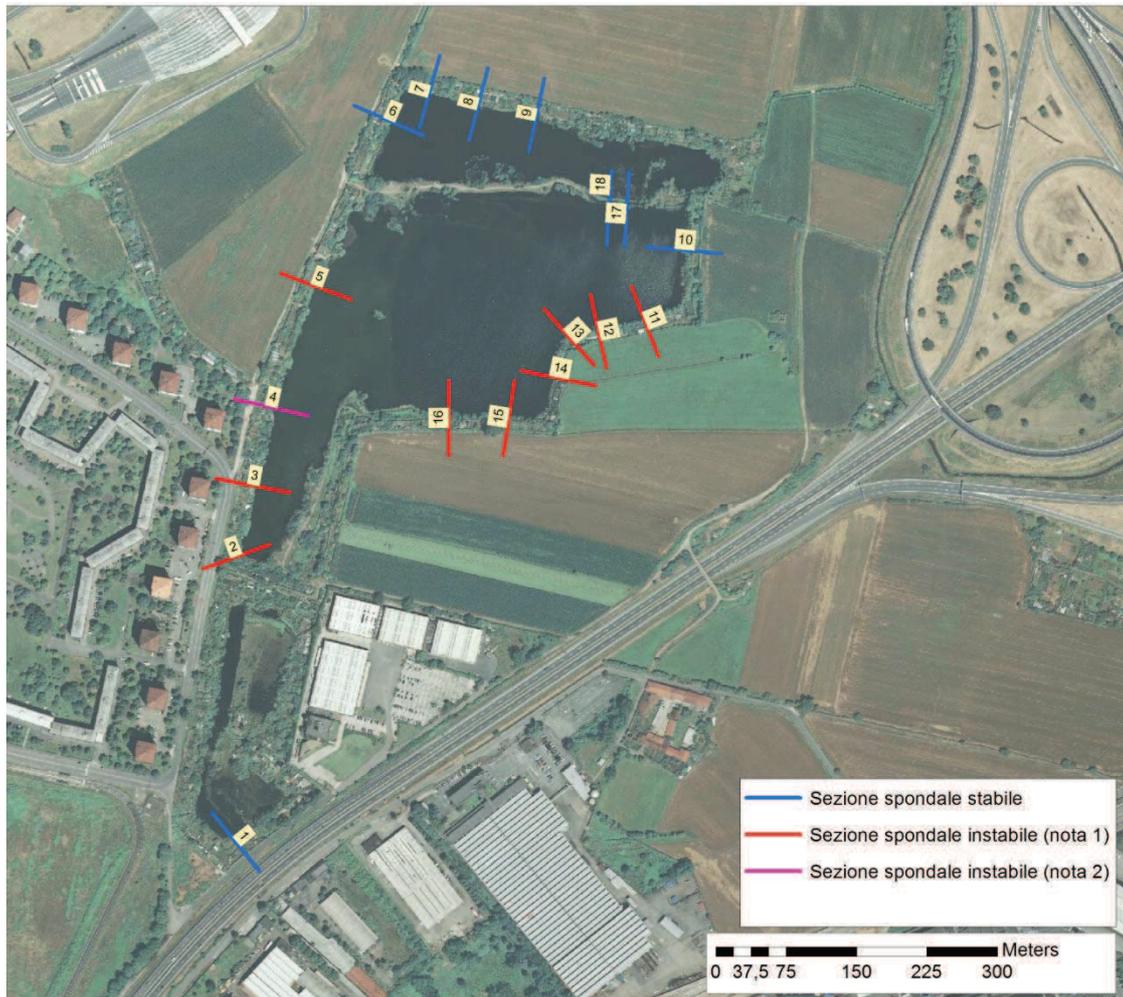
45.131892, 7.7202879

Figura 16 - Calcolo dei parametri sismici di progetto (NTC 2008).

6.5 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (verifiche agli SLU)

Ai fini di una verifica di stabilità secondo gli stati limite ultimi (SLU), in conformità alle prescrizioni delle NTC 2008, i parametri geotecnici devono essere ridotti con un coefficiente parziale. I coefficienti applicati, come da normativa succitata sono:

Tangente angolo di resistenza al taglio (γ_ϕ)	1,25
Coesione efficace (γ_c)	1,25
Coesione non drenata (γ_{cu})	1,4



Nota 1: instabilità da verifiche 1999 (ai sensi ex D.M. 11/03/88), $F_s < 1.3$

Nota 2: instabilità da verifiche con criterio SLU da NTC2008

Figura 17 - Risultati delle verifiche di stabilità e condizioni di equilibrio delle sponde.

6.5.1 Risultati delle verifiche

Le verifiche di stabilità sulle sponde naturali (ante-operam) hanno riguardato:

- 16 sezioni di sponda ricavate dal rilievo topografico batimetrico e riportate nello stralcio planimetrico di Figura 17;
- di tali sezioni sono state riverificate quelle più prossime alla condizione di instabilità normativa ai sensi del "vecchio" D.M. 127/88, ovvero le sezioni S4, S6, per valutare le condizioni di stabilità ai sensi dei criteri più cautelativi di verifica agli SLU, delle NTC2008;
- sono state inoltre verificate, sulla base dei criteri attuali delle NTC2008, le sezioni di progetto "B" e "C", caratterizzate da profili locali relativamente più acclivi rispetto alle altre sezioni di progetto, per le quali, per le condizioni di acclività spondale moto bassa, si assume già a priori la condizione di stabilità.

Nella seguente tabella 15 sono riportati i valori del coefficiente di sicurezza relativo alle sezioni attuali, con riferimento alle verifiche 1999 (D.M. 127/88), e oggetto di riverifica (NTC2008) nei casi di stabilità dubbia .

Sezione	Fs min (1999) D.M. 127/88	Fs min (2013) NTC08 (A2+M2+R2+sisma)	Stabile /Instabile(*)	Note
1	1.52		S	
2	1.22		I (*)	
3	1.15		I (*)	
4	1.33	0.78	I (**)	
5	1.00		I (*)	
6	1.41	1.19	S	
7	1.63		S	
8	1.81		S / I (vedi nota)	Presente una lieve irregolarità spondale, mantenuta in condizioni di stabilità da opere precarie realizzate dagli orticoltori (progressive profilo 11÷14); da risagomare
9	1.95		S	
10	1.53		S	
11	0.99		I (*)	presenza di precarie opere di stabilizzazione realizzate dagli orticoltori
12	1.23		I (*)	
13	1.29		I (*)	
14	1.28		I (*)	
15	1.23		I (*)	
16	1.13		I (*)	
17	3.37		S	
18	1.95		S	

(*) Fs min < 1.3, ai sensi del D.M. 11/2/88

(**) Fs min < 1.0, verifica SLU (A2+M2+R2+sisma), Norme Tecniche sulle Costruzioni NTC2008

Tabella 8 - Risultati delle verifiche di stabilità delle sponde (stato attuale ante operam).

Le condizioni di stabilità, per le normative di riferimento, sono sintetizzate nello stralcio planimetrico di Figura 17.

Si può osservare come ai sensi delle suddette normative siano da considerare "instabili" le sponde relative al bacino principale (SE), sull'intero lato dell'edificio Falchera e su larga parte del lato Autostrada A4.

Il profilo attuale non è dunque compatibile con la stabilità a lungo termine e la conseguente fruizione delle sponde, che necessitano di riprofilatura, come da sezioni di progetto.

Le **sezioni di progetto** sono caratterizzate da acclività molto basse, come generalmente previsto per gli interventi con valenza principale di recupero naturalistico.

Le verifiche hanno pertanto riguardato i settori a maggiore acclività del complesso delle sezioni di progetto, che sono riscontrabili in particolare entro settori localizzati delle sezioni "B" e "C", nell'ambito di acclività comunque largamente inferiori all'angolo di attrito interno di riferimento.

I risultati delle verifiche sono riportati nella successiva Tabella 9. Nella prima colonna di risultati è riportata la verifica agli SLU, ai sensi delle NTC 2008.

Sezione di progetto	Fs min (NTC 2008)	Fs min
Sezione B	2,89	3,74
Sezione C	2,19	2,82

Tabella 9 - Risultati delle verifiche di stabilità delle sponde di progetto (sezioni tipo a maggiore acclività).

Le sezioni di progetto verificate ai sensi delle NTC2008 sono riportate negli schemi grafici al termine del presente capitolo (a livello di output del software di calcolo) e con dettaglio di quote e progressive, nell'allegato 2.

Nell'allegato 2 è inoltre riportato il dettaglio delle verifiche di stabilità, secondo quanto sotto elencato.

- Parametri geometrici della superficie critica; per ognuno dei conchi di calcolo:
 - lunghezza (m)
 - altezza (m)
 - inclinazione della base (°)
 - volume (m³)
- Forze e momenti agenti sulla superficie critica; per ognuno dei conchi di calcolo:
 - momento ribaltante (kg*m)
 - momento stabilizzante (kg*m)
- Caratteristiche della superficie critica:
 - Metodo di calcolo
 - Coef. di sicurezza minimo
 - Momento ribaltante (kg*m)
 - Momento stabilizzante (kg*m)
 - X del centro di calcolo (m)
 - Y del centro di calcolo (m)
 - X estremo di monte della sup. di scivolamento (m)
 - X estremo di valle della sup. di scivolamento (m)
 - Numero conchi
 - Spaziatura orizzontale dei conchi (m)

I risultati delle verifiche di stabilità, rappresentati schematicamente in figura 9, evidenziano quanto nel seguito riportato.

- Le sponde del bacino Nord, sono in condizioni di stabilità; il fattore di sicurezza minimo relativo alle sezioni maggiormente acclivi (sezioni 6, 7, 8, 9) è risultato sempre largamente superiore a 1.3.
- Le sponde del bacino centrale (principale) sono frequentemente in condizioni prossime all'equilibrio limite; in particolare risultano normativamente non stabili i tratti compresi tra le sezioni di verifica 2÷5 e 12÷16.
- Le sponde del bacino Sud, destinato al ricolamento secondo le attuali ipotesi di progetto, sono in condizioni di evidente instabilità morfologica sul lato quartiere Falchera (cfr. precedenti Figura 6, Figura 7); per tale bacino, l'unica sezione di verifica che è stato possibile rilevare direttamente nella campagna di indagine 1999 è localizzata sull'opposto lato SE del bacino medesimo ed è viceversa in condizioni di stabilità con Fs min pari a 1.52.

Le sezioni tipo, definite “di progetto”, sono state ottenute a partire dalle indicazioni di stabilità derivanti dallo studio 1999, modificando l’andamento spondale secondo un principio di approssimativo equilibrio tra volumi di riporto e di sbancamento.

Da tale studio, si evidenziava una condizione di stabilità, con F_s min uguale o poco superiore a 1.3, ottenibile con una scarpata spondale unica di acclività $\alpha = 29^\circ$. Profili spondali continui e regolari con tale acclività, sono pertanto da ritenersi stabili nel tempo, in ogni condizione di falda e livello del pelo libero lacustre.

Tale profilo di acclività, dalle verifiche effettuate in tale ambito, non risulta invece compatibile dalla verifica effettuata in funzione dell’ ipotesi di stazionamento di mezzo pesante biasse a ridosso del ciglio di scarpata, parallelo alla linea spondale, con carico pari a 20t per ogni asse (10t per ogni treno di ruote).

Con riferimento alle suddette verifiche si evidenzia dunque quanto segue:

- la presenza del mezzo di cantiere a ridosso della sponda determina una riduzione del fattore di sicurezza della scarpata, fino a un F_s min = 1.15;
- la condizione di stabilità minima corrisponde a superfici critiche in corrispondenza del sovraccarico più prossimo al ciglio di scarpata.

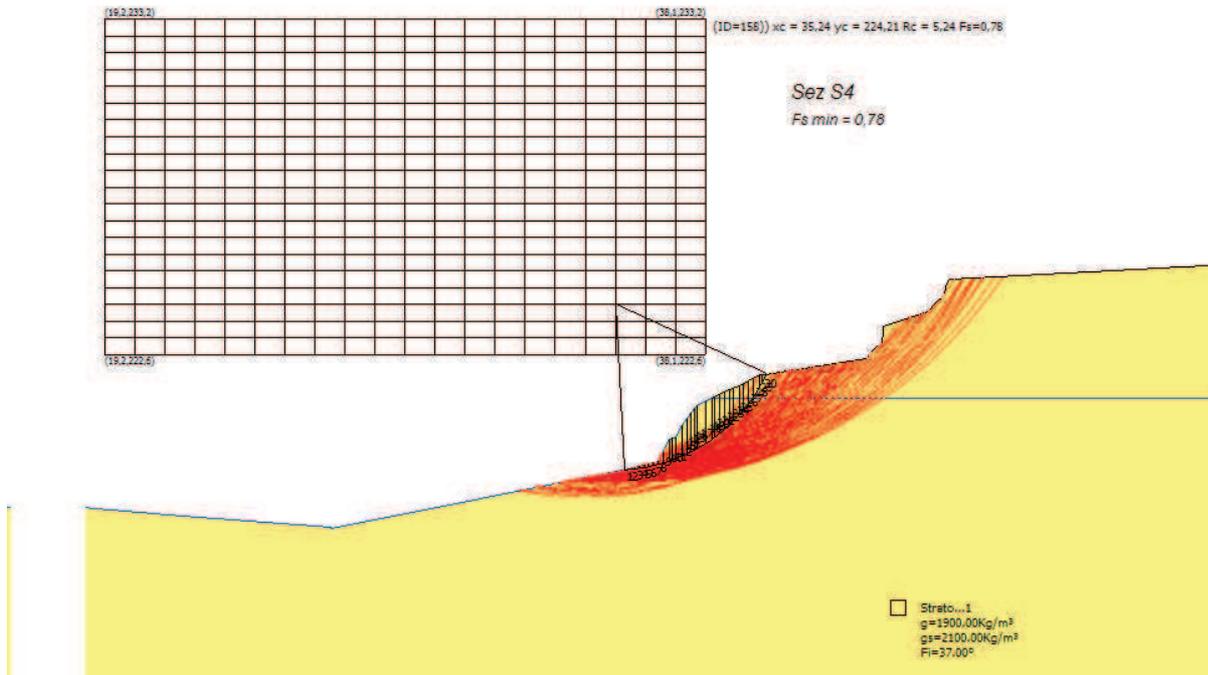
Pertanto un profilo di sponda continuo a 29° , con sovraccarichi quali quelli considerati, risulta in condizioni prossime all’equilibrio limite. Ulteriori limitati sovraccarichi, quali ad esempio sollecitazioni sismiche indotte dal movimento dei mezzi stessi, potrebbero portare all’innescò di scivolamenti rotazionali con sprofondamento dell’asse più prossimo al ciglio.

Tale eventualità deve essere considerata dal progettista nella predisposizione dei Piani di Sicurezza ai sensi delle normative vigenti, evidenziando gli eventuali rischi per gli operatori e gli interventi e cautele per minimizzazione degli stessi.

Lo scenario succitato non è significativo in termini di sistemazione definitiva, in quanto le acclività spondali di progetto risultano sempre inferiori, da cui i coefficienti di sicurezza ampiamente favorevoli anche in riferimento alle NTC 2008, ma deve essere considerato nella fase di cantiere, dove si potranno invece riscontrare acclività temporanee largamente superiori.

Normalmente la riprofilatura “in sicurezza” delle sponde può essere effettuata mediante macchine operatrici a braccio lungo, con elevato raggio operativo, in grado di operare a sufficiente distanza dal ciglio. Come ovvio la metodologia operativa di sicurezza prevede lo sbancamento del ciglio con rideposizione al piede della scarpata.

In casi di particolare criticità, potrà essere prevista l’esecuzione di opere provvisorie di sostegno, o meglio la costituzione di un’unghia al piede delle scarpate più acclivi, realizzata direttamente dal lago a mezzo di chiatte e pontoni.



Azione sismica

Descrizione: NTC 2008: [A2+M2+R2]
 Normativa: NTC 2008
 Calcolo coefficienti sismici:
 Accelerazione massima (amax/g): 0,034
 Coefficiente azione sismica orizzontale: Kh: 0,007
 Coefficiente azione sismica verticale: Kv: 0,003

Coefficienti parziali parametri geotecnici

Tangente angolo di resistenza al taglio: γ_ϕ 1,25
 Coesione efficace: γ_c 1,25
 Coesione non drenata: γ_{cu} 1,4
 Utilizzare questi coefficienti per ridurre la resistenza del materiale

Coefficiente parziale resistenza

Coefficiente parziale resistenza: γ_R 1,1

Dati Generali

Località: Indirizzo: _____
 Lat. Long. 45,131741 7,719

Dati opera: Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 V. Nominale: 50 V. Rif. 50

Parametri sismici su sito di riferimento

SL	TR [Anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
SLO	30,00	0,22	2,60	0,17
SLD	50,00	0,26	2,60	0,19
SLV	475,00	0,50	2,75	0,27
SLC	975,00	0,59	2,80	0,29

Zona sismica: Zona 4
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità pendii e Fondazioni

SL	amax [m/s²]	β	khk [-]	kvk [-]
SLO	0,33	0,2	0,0067	0,0034
SLD	0,39	0,2	0,008	0,004
SLV	0,75	0,2	0,0153	0,0076
SLC	0,885	0,2	0,0181	0,009

Stato limite di riferimento: SLO

Figura 18 – Verifica di stabilità sezione S4 (NTC2008)

ALLEGATO 1 - Sondaggi geognostici e prove SPT (Banca
Dati Geotecnica ARPA Piemonte)

Nota: la localizzazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche SPT riportata nella precedente Figura 3.

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
104966	2.70	materiale di riporto ghiaia eterometrica con sabbia e ciottoli
104966	7.60	ghiaia eterometrica sabbiosa localmente con sabbia moderatamente addensata con presenza di ciottoli
104966	8.00	ghiaia eterometrica con sabbia eterometrica
104966	8.50	ghiaia eterometrica debolmente sabbiosa
104966	9.00	ghiaia eterometrica con sabbia eterometrica
104966	9.30	ghiaia eterometrica debolmente sabbiosa molto addensata con presenza di ciottoli
104966	11.50	ghiaia eterometrica con sabbia eterometrica molto addensata
104966	13.60	ghiaia eterometrica sabbiosa con presenza di ciottoli
104966	14.00	ghiaia eterometrica con sabbia eterometrica
104966	15.50	ghiaia eterometrica debolmente sabbiosa
104966	17.40	ghiaia eterometrica e ciottoli poligenici debolmente sabbiosi
104966	18.00	ghiaia eterometrica con sabbia eterometrica
104966	21.00	ghiaia eterometrica sabbiosa con presenza di ciottoli
104966	21.60	ghiaia eterometrica debolmente sabbiosa con clasti poligenici con presenza di ciottoli
104966	30.00	sabbia eterometrica limosa localmente debolmente argillosa con presenza di alcuni frammenti di fossili

Codice Perforazione	Profondita` (m)	N1	N2	N3	NSPT
104966	3.00	8	11	15	26
104966	6.00	6	7	5	12
104966	9.00	28	31	27	58
104966	12.00	48	-999	0	-999
104966	16.00	-999	0	0	-999
104966	18.00	15	39	-999	-999
104966	21.00	28	-999	0	-999

NOTA: il valore -999 indica un rifiuto.

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
104967	16.90	ghiaia eterometrica sabbiosa da moderatamente a molto addensata e ciottoli poligenici
104967	30.00	sabbia eterometrica ghiaiosa da moderatamente a molto addensata con presenza di abbondanti frammenti di fossili

Codice Perforazione	Profondita` (m)	N1	N2	N3	NSPT
104967	3.00	7	13	14	27
104967	6.00	-999	0	0	-999
104967	9.00	14	20	32	52
104967	12.00	11	17	27	44
104967	15.00	13	16	19	35
104967	18.00	6	12	14	26
104967	21.00	34	-999	0	-999
104967	28.50	39	-999	0	-999

NOTA: il valore -999 indica un rifiuto.

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
104973	5.00	sabbia eterometrica ghiaiosa moderatamente addensata
104973	9.60	ghiaia eterometrica sabbiosa con presenza di elementi ciottolosi
104973	10.50	ghiaia eterometrica debolmente sabbiosa con presenza di ciottoli
104973	10.80	ghiaia eterometrica con sabbia
104973	16.50	ghiaia eterometrica da debolmente sabbiosa a sabbiosa con presenza di ciottoli
104973	17.00	ghiaia eterometrica con sabbia
104973	19.90	ghiaia eterometrica sabbiosa molto addensata con presenza di ciottoli
104973	36.00	sabbia eterometrica prevalentemente grossolana limosa debolmente argillosa molto addensata con presenza di abbondanti frammenti fossili

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
101110	1.00	terreno vegetale
101110	8.00	sabbia e ghiaia

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
108840	1.00	terreno vegetale
108840	3.20	sabbia fine con limo , poca ghiaia e ciottoli
108840	5.50	sabbie grossolane con ghiaia e ciottoli
108840	6.40	limo argilloso con torba
108840	10.00	sabbia media con limo e poca ghiaia
108840	13.80	ghiaia e sabbia medio grossolana a tratti debolmente limosa
108840	18.00	sabbia medio grossolana e ghiaia con limo
108840	20.00	ghiaia e sabbia grossolana con alcuni ciottoli

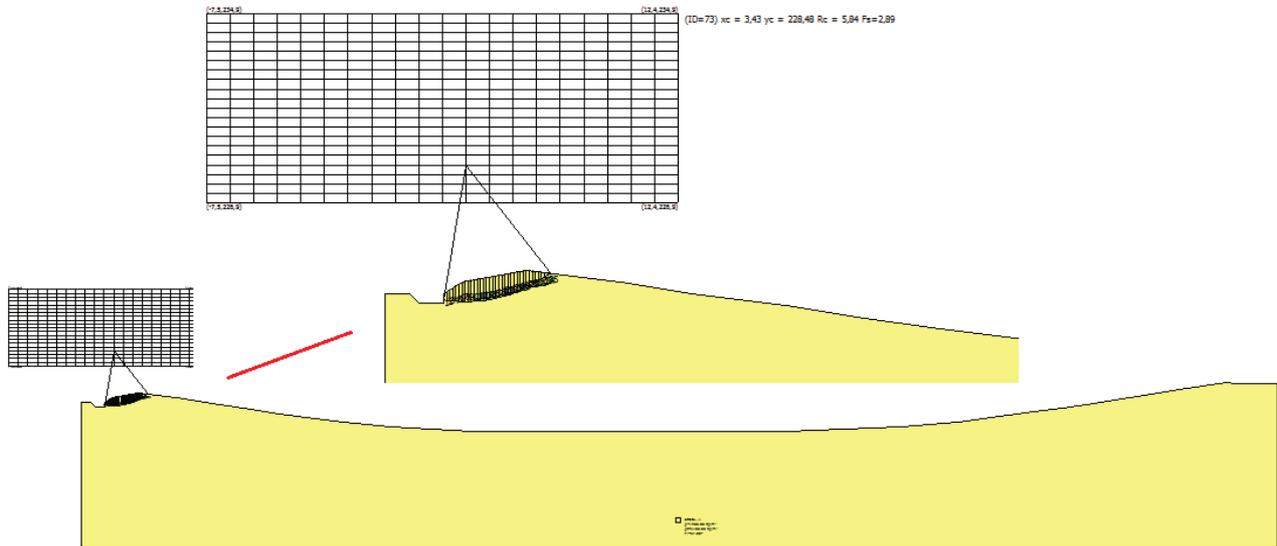
Codice Perforazione	Profondita` (m)	N1	N2	N3	NSPT
108840	3.00	26	23	26	49
108840	6.00	15	13	20	33
108840	9.00	28	32	35	67
108840	12.00	36	-999	0	-999
108840	15.00	28	37	-999	-999
108840	18.00	18	-999	0	-999

NOTA: il valore -999 indica un rifiuto.

Codice perforazione	Profondita` (m)	Descrizione
101109	1.50	terreno vegetale
101109	8.00	sabbia e ghiaia

Allegato 2 – Verifiche di stabilità sezioni di progetto

SEZIONE B - Progetto



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP

Zona	Sezione progetto B
Lat./Long.	45,131741/7,719
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	35,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-7,54 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	226,86 m
Ascissa vertice destro superiore xs	12,41 m
Ordinata vertice destro superiore ys	234,93 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II

Vita nominale: 50,0 [anni]
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,22	2,6	0,17
S.L.D.	50,0	0,26	2,6	0,19
S.L.V.	475,0	0,5	2,75	0,27
S.L.C.	975,0	0,59	2,8	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,33	0,2	0,0067	0,0034
S.L.D.	0,39	0,2	0,008	0,004
S.L.V.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.C.	0,885	0,2	0,0181	0,009

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0067
 Coefficiente azione sismica verticale 0,003 4

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	223,0
2	1,07	223,0
3	1,47	222,6
4	2,47	222,6
5	2,47	223,0
6	3,27	223,5
7	5,97	224,0
8	9,97	223,5
9	12,97	223,0
10	16,97	222,5
11	19,97	222,0
12	23,47	221,5
13	27,47	221,0
14	32,47	220,5
15	40,97	220,0
16	73,97	220,0
17	85,97	220,5
18	91,97	221,0
19	95,47	221,5
20	98,97	222,0
21	102,97	222,5
22	106,97	223,0
23	109,97	223,5
24	112,97	224,0

25	115,97	224,5
26	120,17	225,2
27	120,97	225,0
28	125,47	225,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0		37,00	1900,00	2100,00	0,00	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

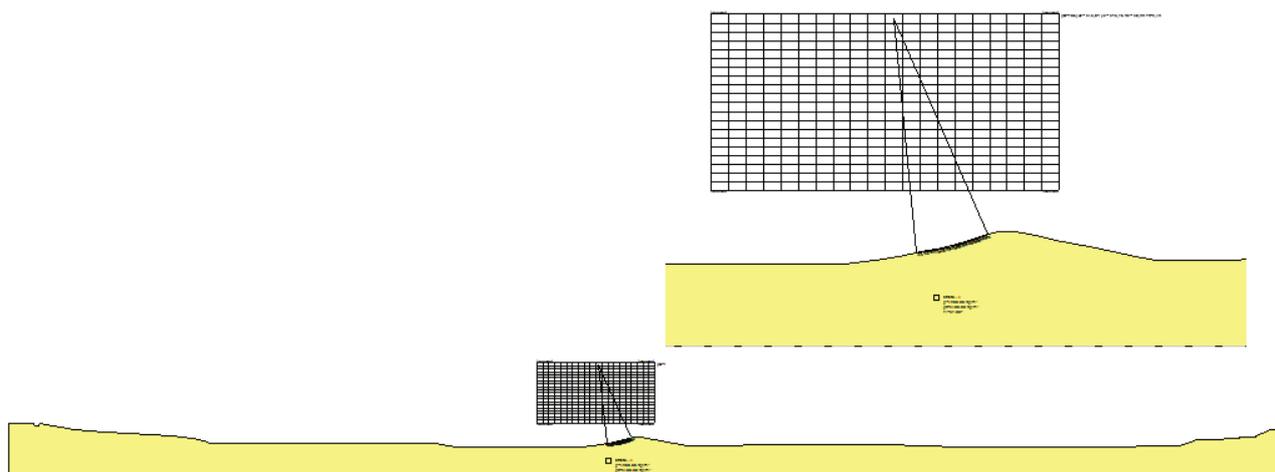
Fs minimo individuato	2,89
Ascissa centro superficie	3,43 m
Ordinata centro superficie	228,48 m
Raggio superficie	5,84 m

(ID=73) xc = 3,432 yc = 228,477 Rc = 5,84 Fs=2,888

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,13	-9,0	0,13	77,5	0,52	0,26	0,0	31,1	0,0	81,1	16,9
2	0,13	-7,4	0,13	103,27	0,69	0,35	0,0	31,1	0,0	107,1	22,4
3	0,13	-6,1	0,13	128,32	0,86	0,44	0,0	31,1	0,0	132,0	27,6
4	0,13	-4,9	0,13	152,65	1,02	0,52	0,0	31,1	0,0	156,0	32,6
5	0,13	-3,6	0,13	176,26	1,18	0,6	0,0	31,1	0,0	178,9	37,4
6	0,14	-2,2	0,14	212,64	1,42	0,72	0,0	31,1	0,0	214,5	44,8
7	0,12	-1,0	0,12	201,13	1,35	0,68	0,0	31,1	0,0	201,9	42,1
8	0,13	0,1	0,13	220,77	1,48	0,75	0,0	31,1	0,0	220,7	46,1
9	0,13	1,5	0,13	226,19	1,52	0,77	0,0	31,1	0,0	225,0	47,0
10	0,13	2,8	0,13	230,9	1,55	0,79	0,0	31,1	0,0	228,8	47,8
11	0,13	4,1	0,13	234,9	1,57	0,8	0,0	31,1	0,0	232,0	48,4
12	0,13	5,3	0,13	238,19	1,6	0,81	0,0	31,1	0,0	234,7	49,0
13	0,13	6,5	0,13	240,76	1,61	0,82	0,0	31,1	0,0	236,7	49,4
14	0,13	7,9	0,13	242,61	1,63	0,82	0,0	31,1	0,0	238,0	49,7
15	0,13	9,2	0,13	243,73	1,63	0,83	0,0	31,1	0,0	238,8	49,9
16	0,13	10,4	0,13	244,11	1,64	0,83	0,0	31,1	0,0	239,0	49,9
17	0,13	11,8	0,13	243,75	1,63	0,83	0,0	31,1	0,0	238,6	49,8
18	0,13	13,1	0,13	242,64	1,63	0,82	0,0	31,1	0,0	237,6	49,6
19	0,13	14,4	0,13	240,76	1,61	0,82	0,0	31,1	0,0	235,9	49,3
20	0,13	15,7	0,13	238,11	1,6	0,81	0,0	31,1	0,0	233,6	48,8
21	0,13	17,0	0,14	234,66	1,57	0,8	0,0	31,1	0,0	230,6	48,2

22	0,13	18,4	0,14	230,4	1,54	0,78	0,0	31,1	0,0	227,0	47,4
23	0,13	19,8	0,14	225,31	1,51	0,77	0,0	31,1	0,0	222,7	46,5
24	0,13	21,0	0,14	219,38	1,47	0,75	0,0	31,1	0,0	217,6	45,4
25	0,13	22,3	0,14	212,57	1,42	0,72	0,0	31,1	0,0	211,7	44,2
26	0,13	23,9	0,14	204,87	1,37	0,7	0,0	31,1	0,0	205,1	42,8
27	0,12	25,2	0,13	177,94	1,19	0,61	0,0	31,1	0,0	179,0	37,4
28	0,14	26,5	0,16	199,04	1,33	0,68	0,0	31,1	0,0	201,4	42,1
29	0,13	28,0	0,15	160,32	1,07	0,55	0,0	31,1	0,0	163,5	34,1
30	0,13	29,5	0,15	138,82	0,93	0,47	0,0	31,1	0,0	142,7	29,8
31	0,13	30,9	0,15	116,26	0,78	0,4	0,0	31,1	0,0	120,5	25,1
32	0,13	32,5	0,15	92,57	0,62	0,31	0,0	31,1	0,0	96,9	20,2
33	0,13	33,9	0,16	67,71	0,45	0,23	0,0	31,1	0,0	71,6	14,9
34	0,13	35,5	0,16	41,6	0,28	0,14	0,0	31,1	0,0	44,5	9,3
35	0,13	37,1	0,16	14,19	0,1	0,05	0,0	31,1	0,0	15,4	3,2

SEZIONE C - Progetto



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP

Lat./Long.	45,131741/7,719
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	35,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	191,46 m
---------------------------------------	----------

Ordinata vertice sinistro inferiore yi	224,52 m
Ascissa vertice destro superiore xs	234,09 m
Ordinata vertice destro superiore ys	246,31 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,22	2,6	0,17
S.L.D.	50,0	0,26	2,6	0,19
S.L.V.	475,0	0,5	2,75	0,27
S.L.C.	975,0	0,59	2,8	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,33	0,2	0,0067	0,0034
S.L.D.	0,39	0,2	0,008	0,004
S.L.V.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.C.	0,885	0,2	0,0181	0,009

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0067
Coefficiente azione sismica verticale	0,0034

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	224,3
2	9,37	224,3
3	9,62	223,2
4	11,12	223,2
5	11,37	224,3
6	13,37	224,0
7	16,37	223,5
8	18,87	223,0
9	21,37	222,5
10	23,87	222,0
11	29,37	221,5

12	34,87	221,0
13	43,87	220,5
14	58,87	220,0
15	62,87	219,5
16	66,87	219,0
17	71,07	218,0
18	73,07	217,0
19	150,37	217,0
20	154,19	217,0
21	154,91	217,0
22	156,8	216,5
23	158,85	216,0
24	162,99	215,5
25	207,74	215,52
26	211,44	216,0
27	214,38	216,52
28	217,26	217,02
29	219,81	217,52
30	221,49	218,0
31	223,17	218,5
32	224,83	219,0
33	226,53	219,5
34	228,63	219,5
35	231,11	218,99
36	233,6	218,5
37	236,07	218,0
38	238,55	217,5
39	243,43	216,53
40	245,82	216,0
41	253,25	216,0
42	279,01	216,54
43	289,91	216,55
44	310,2	216,55
45	317,36	216,5
46	330,93	216,06
47	344,88	215,57
48	392,95	215,48
49	423,77	215,97
50	425,28	216,47
51	426,83	216,97
52	427,9	217,47
53	429,38	217,97
54	430,46	218,47
55	433,66	218,49
56	439,79	218,47
57	440,56	218,97
58	445,71	218,97
59	445,71	219,47
60	451,49	219,47
61	451,49	219,97
62	453,82	220,47
63	455,03	220,97
64	456,07	221,61
65	457,07	221,97

66	462,61	221,97
----	--------	--------

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

c: coazione; cu: coazione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0		37,00	1900,00	2100,00	0,00	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2,19
Ascissa centro superficie	213,84 m
Ordinata centro superficie	245,76 m
Raggio superficie	28,99 m

B: Larghezza del conccio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conccio; Li: Lunghezza della base del conccio; Wi: Peso del conccio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coazione.

(ID=786) xc = 213,841 yc = 245,762 Rc = 28,99 Fs=2,192

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,25	5,7	0,25	4,56	0,03	0,02	0,0	31,1	0,0	4,5	1,2
2	0,25	6,1	0,25	12,93	0,09	0,04	0,0	31,1	0,0	12,6	3,5
3	0,18	6,6	0,18	14,04	0,09	0,05	0,0	31,1	0,0	13,7	3,8
4	0,32	7,1	0,32	34,73	0,23	0,12	0,0	31,1	0,0	33,8	9,3
5	0,25	7,7	0,25	36,39	0,24	0,12	0,0	31,1	0,0	35,4	9,7
6	0,25	8,1	0,25	43,17	0,29	0,15	0,0	31,1	0,0	42,0	11,5
7	0,25	8,7	0,25	48,95	0,33	0,17	0,0	31,1	0,0	47,5	13,1
8	0,25	9,2	0,25	53,58	0,36	0,18	0,0	31,1	0,0	52,0	14,3
9	0,25	9,7	0,25	57,24	0,38	0,19	0,0	31,1	0,0	55,5	15,3
10	0,25	10,1	0,25	59,76	0,4	0,2	0,0	31,1	0,0	57,9	15,9
11	0,25	10,7	0,25	61,28	0,41	0,21	0,0	31,1	0,0	59,3	16,3
12	0,25	11,1	0,26	61,61	0,41	0,21	0,0	31,1	0,0	59,6	16,4
13	0,23	11,7	0,23	55,85	0,37	0,19	0,0	31,1	0,0	54,0	14,8
14	0,27	12,2	0,28	70,47	0,47	0,24	0,0	31,1	0,0	68,1	18,7
15	0,25	12,7	0,26	73,15	0,49	0,25	0,0	31,1	0,0	70,6	19,4
16	0,25	13,2	0,26	79,77	0,53	0,27	0,0	31,1	0,0	77,0	21,2
17	0,25	13,7	0,26	85,35	0,57	0,29	0,0	31,1	0,0	82,3	22,6
18	0,25	14,2	0,26	89,75	0,6	0,31	0,0	31,1	0,0	86,6	23,8
19	0,25	14,7	0,26	93,08	0,62	0,32	0,0	31,1	0,0	89,8	24,7

20	0,16	15,1	0,16	59,55	0,4	0,2	0,0	31,1	0,0	57,4	15,8
21	0,34	15,7	0,36	133,32	0,89	0,45	0,0	31,1	0,0	128,6	35,4
22	0,25	16,3	0,26	98,79	0,66	0,34	0,0	31,1	0,0	95,3	26,2
23	0,25	16,8	0,26	98,85	0,66	0,34	0,0	31,1	0,0	95,3	26,2
24	0,25	17,3	0,26	97,85	0,66	0,33	0,0	31,1	0,0	94,4	26,0
25	0,25	17,8	0,26	95,57	0,64	0,32	0,0	31,1	0,0	92,2	25,4
26	0,34	18,4	0,35	122,53	0,82	0,42	0,0	31,1	0,0	118,3	32,5
27	0,17	18,9	0,17	57,35	0,38	0,19	0,0	31,1	0,0	55,4	15,2
28	0,25	19,4	0,27	82,23	0,55	0,28	0,0	31,1	0,0	79,5	21,9
29	0,25	19,9	0,27	75,56	0,51	0,26	0,0	31,1	0,0	73,1	20,1
30	0,25	20,4	0,27	67,77	0,45	0,23	0,0	31,1	0,0	65,6	18,0
31	0,25	21,0	0,27	58,61	0,39	0,2	0,0	31,1	0,0	56,8	15,6
32	0,25	21,5	0,27	48,24	0,32	0,16	0,0	31,1	0,0	46,8	12,9
33	0,24	22,0	0,26	35,66	0,24	0,12	0,0	31,1	0,0	34,6	9,5
34	0,26	22,6	0,28	24,06	0,16	0,08	0,0	31,1	0,0	23,4	6,4
35	0,25	23,1	0,27	8,08	0,05	0,03	0,0	31,1	0,0	7,9	2,2