

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01
LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto Funzionale Brescia-Verona
PROGETTO DEFINITIVO**

AREA DI CAVA BS2 – COMUNE DI LOGRATO (BS) IL PROGETTISTA IL PROGETTISTA INTEGRATORE

RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOLOGICA-GEOTECNICA

PROFILI DI SICUREZZA DEI TERRENI

G.T. ENGINEERING s.r.l.
Ing. Maurizio Grizzoni
DIRETTORE degli Ingegneri della
Provincia di Parma n° 631

saipem spa
Tommaso Taranta
Is. n° 115/116/117/118/119/120/121/122/123/124/125/126/127/128/129/130/131/132/133/134/135/136/137/138/139/140/141/142/143/144/145/146/147/148/149/150/151/152/153/154/155/156/157/158/159/160/161/162/163/164/165/166/167/168/169/170/171/172/173/174/175/176/177/178/179/180/181/182/183/184/185/186/187/188/189/190/191/192/193/194/195/196/197/198/199/200/201/202/203/204/205/206/207/208/209/210/211/212/213/214/215/216/217/218/219/220/221/222/223/224/225/226/227/228/229/230/231/232/233/234/235/236/237/238/239/240/241/242/243/244/245/246/247/248/249/250/251/252/253/254/255/256/257/258/259/260/261/262/263/264/265/266/267/268/269/270/271/272/273/274/275/276/277/278/279/280/281/282/283/284/285/286/287/288/289/290/291/292/293/294/295/296/297/298/299/300/301/302/303/304/305/306/307/308/309/310/311/312/313/314/315/316/317/318/319/320/321/322/323/324/325/326/327/328/329/330/331/332/333/334/335/336/337/338/339/340/341/342/343/344/345/346/347/348/349/350/351/352/353/354/355/356/357/358/359/360/361/362/363/364/365/366/367/368/369/370/371/372/373/374/375/376/377/378/379/380/381/382/383/384/385/386/387/388/389/390/391/392/393/394/395/396/397/398/399/400/401/402/403/404/405/406/407/408/409/410/411/412/413/414/415/416/417/418/419/420/421/422/423/424/425/426/427/428/429/430/431/432/433/434/435/436/437/438/439/440/441/442/443/444/445/446/447/448/449/450/451/452/453/454/455/456/457/458/459/460/461/462/463/464/465/466/467/468/469/470/471/472/473/474/475/476/477/478/479/480/481/482/483/484/485/486/487/488/489/490/491/492/493/494/495/496/497/498/499/500/501/502/503/504/505/506/507/508/509/510/511/512/513/514/515/516/517/518/519/520/521/522/523/524/525/526/527/528/529/530/531/532/533/534/535/536/537/538/539/540/541/542/543/544/545/546/547/548/549/550/551/552/553/554/555/556/557/558/559/560/561/562/563/564/565/566/567/568/569/570/571/572/573/574/575/576/577/578/579/580/581/582/583/584/585/586/587/588/589/590/591/592/593/594/595/596/597/598/599/600/601/602/603/604/605/606/607/608/609/610/611/612/613/614/615/616/617/618/619/620/621/622/623/624/625/626/627/628/629/630/631/632/633/634/635/636/637/638/639/640/641/642/643/644/645/646/647/648/649/650/651/652/653/654/655/656/657/658/659/660/661/662/663/664/665/666/667/668/669/670/671/672/673/674/675/676/677/678/679/680/681/682/683/684/685/686/687/688/689/690/691/692/693/694/695/696/697/698/699/700/701/702/703/704/705/706/707/708/709/710/711/712/713/714/715/716/717/718/719/720/721/722/723/724/725/726/727/728/729/730/731/732/733/734/735/736/737/738/739/740/741/742/743/744/745/746/747/748/749/750/751/752/753/754/755/756/757/758/759/760/761/762/763/764/765/766/767/768/769/770/771/772/773/774/775/776/777/778/779/780/781/782/783/784/785/786/787/788/789/790/791/792/793/794/795/796/797/798/799/800/801/802/803/804/805/806/807/808/809/810/811/812/813/814/815/816/817/818/819/820/821/822/823/824/825/826/827/828/829/830/831/832/833/834/835/836/837/838/839/840/841/842/843/844/845/846/847/848/849/850/851/852/853/854/855/856/857/858/859/860/861/862/863/864/865/866/867/868/869/870/871/872/873/874/875/876/877/878/879/880/881/882/883/884/885/886/887/888/889/890/891/892/893/894/895/896/897/898/899/900/901/902/903/904/905/906/907/908/909/910/911/912/913/914/915/916/917/918/919/920/921/922/923/924/925/926/927/928/929/930/931/932/933/934/935/936/937/938/939/940/941/942/943/944/945/946/947/948/949/950/951/952/953/954/955/956/957/958/959/960/961/962/963/964/965/966/967/968/969/970/971/972/973/974/975/976/977/978/979/980/981/982/983/984/985/986/987/988/989/990/991/992/993/994/995/996/997/998/999/1000

ALTA SORVEGLIANZA		Verificato	Data	Approvato	Data	

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 0 5 0 0 D E 2 R O C A 0 0 0 0 2 3 4 0

PROGETTAZIONE GENERAL CONTRACTOR									Autorizzato/Data
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Consorzio Cepav due Project Director (Ing. F. Lombardi) Data: _____
0	31.03.14	Emissione per CdS		31.03.14		31.03.14		31.03.14	

SAIPEM S.p.a. COMM. 032121 Data: 31.03.14 Doc. N.: 04232_02.doc



CUP.: F81H9100000008

INDICE

0.	INDICE	2
1.	INTRODUZIONE	4
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-TERRITORIALE	5
3.	GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE	6
4.	GEOLOGIA	8
5.	IDROGEOLOGIA DELLA ZONA	10
6.	CARATTERIZZAZIONE AREA IN OGGETTO	13
	6.1 Litostratigrafia e caratteristiche qualitative del materiale inerte	13
	<i>Inerti per rilevati</i>	16
	<i>Inerti per lavorati</i>	16
	6.2 Spessore coltivo e cappellaccio di alterazione superficiale	17
	6.3 Piezometria della falda idrica superficiale	17
	6.4 Vulnerabilità degli acquiferi	20
	6.5 Caratteristiche geotecniche	21
7.	PROFILI DI SICUREZZA DEI TERRENI	24
	7.1 Premessa	24
	7.2 Calcolo dell'azione sismica	25
	7.3 Verifica di stabilità	26

ALLEGATI (DOC. N. IN0500DE2R0CA0000235):

- Allegato n.1: ELENCHI CONCESSIONI RELATIVE A PICCOLE DERIVAZIONI DI ACQUE SOTTERRANEE AD USO POTABILE
- Allegato n.2: STRATIGRAFIE SCAVI DI PROSPEZIONE E RELATIVA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- Allegato n.3: ANALISI DI LABORATORIO CAMPIONI PRELEVATI IN SCAVI DI PROSPEZIONE
- Allegato n.4: STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI E RELATIVA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- Allegato n.5: ANALISI DI LABORATORIO CAMPIONI PRELEVATI IN SONDAGGI GEOGNOSTICI
- Allegato n.6: GRAFICO LIVELLI DI FALDA RILEVATI NEI PIEZOMETRI DI MONITORAGGIO
- Allegato n.7: ELABORAZIONE DATI N_{spt}
- Allegato n.8: PROFILI DI SICUREZZA DEI TERRENI

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N. 04232_02

Progetto
IN05

Lotto
00

Codifica Documento
DE2ROCA0000234

Rev.
0

Foglio
3 di 27

ELABORATI CARTOGRAFICI:

- | | |
|------------|--|
| Tavola G.1 | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - TERRITORIALE
(DOC. N. IN0500DE2C3CA0000009) |
| Tavola G.2 | CARTA GEOLOGICO-MORFOLOGICA
(DOC. N. IN0500DE2C3CA0000010) |
| Tavola G.3 | UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
(DOC. N. IN0500DE2G6CA0000015) |
| Tavola G.4 | SEZIONE LITOSTRATIMETRICA
(DOC. N. IN0500DE2W9CA0000005) |
| Tavola G.5 | CARTA IDROGEOLOGICA CON ISOPIEZE
(DOC. N. IN0500DE2G5CA0000007) |
| Tavola G.6 | CARTA UBICAZIONE PUNTI D'ACQUA
(DOC. N. IN0500DE2C3CA0000011) |
| Tavola G.7 | CARTA DELLA VULNERABILITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE
(DOC. N. IN0500DE2C3CA0000012) |



0. INTRODUZIONE

La presente relazione si propone di inquadrare dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico l'area ubicata in Comune di Lograto (BS), oggetto di istanza ex art. 38 L.R. 14/98 per estrazione di sostanze di cava; l'intervento si colloca nel contesto della procedura di reperimento dei quantitativi di inerti di cava necessari alla realizzazione dell'opera pubblica rappresentata dalla linea ferroviaria AV/AC Brescia-Verona in un tempo contenuto rispetto alle disponibilità annuali pianificate nei Piani Cave.

L'elaborato si propone, inoltre, di determinare i profili di sicurezza da attribuire ai terreni durante le varie fasi di coltivazione.

Lo studio è stato predisposto sulla base di conoscenze personali della zona e sulla base delle informazioni desunte dalla bibliografia esistente; il tutto è stato integrato con indagini in situ ed osservazioni di campagna.

La relazione è stata redatta in conformità con quanto richiesto dal D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Per le verifiche di stabilità in condizioni sismiche si è fatto riferimento alle Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni approvate con Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-TERRITORIALE

L'area in oggetto, identificata come "area di cava BS2", è ubicata al margine settentrionale del Comune di Lograto (BS), al confine con il Comune di Travagliato (BS); è cartografata nel F. 47 della Carta d'Italia (scala 1:25.000) e precisamente nel quadrante IV Sud-Est, tavoletta Travagliato ed è compresa interamente nella sezione D6a2 (Lograto) della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (*TAV. GI*).

L'area d'intervento è ubicata a circa 200 m dalla realizzanda linea ferroviaria AV/AC Brescia-Verona; è delimitata a S dal Vaso Baioncello, nei lati W e N da canalizzazioni irrigue e, infine, ad E da un vaso irriguo e dalla strada comunale per Travagliato; quest'ultima si collega a 2 importanti vie di comunicazione, la strada provinciale S.P. 19 a nord e la S.S. 235 a sud.

Il sito in oggetto è adibito principalmente ad uso agricolo (seminativi e prati in rotazione) ed il sistema insediativo è rappresentato da fabbricati rurali sparsi.

I centri urbanizzati più vicini, tutti distanti più di 1 km dall'area in oggetto, sono rappresentati da:

- Comune di Lograto ubicato a Sud
- Comune di Berlingo ubicato ad Ovest
- Comune di Travagliato ubicato a Nord

Il settore occidentale dell'alta pianura bresciana è caratterizzato dalla presenza di vari ambiti estrattivi; per la loro vicinanza con la zona in oggetto si citano:

- ATEg14 (Comuni di Cazzago S.Martino - Travagliato) ubicato a Nord-Ovest ad una distanza di circa 2000 m;
- ATEg15 (Comune di Travagliato) ubicato a Nord - Est ad una distanza di circa 3100 m,
- ATEg16 (Comune di Travagliato) situato ad Nord - Est ad una distanza di circa 3250 m;
- ATEg18 (Comuni di Berlingo-Lograto) ubicato ad Ovest ad una distanza di circa 750 m



2. GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA SUPERFICIALE

L'area in oggetto si inserisce nel settore della media pianura bresciana, che costituisce una distinta unità morfologica sub-pianeggiante, compresa tra le colline moreniche della Franciacorta e la fascia pedemontana a nord e la linea delle risorgive posta a sud-est; è caratterizzata da una pendenza topografica da NW verso SE con quote altimetriche variabili da m 118.50 s.l.m., nella porzione più a N, a m 113.50 s.l.m., al margine S.

Il contesto geomorfologico del territorio in esame è tipico di *piana alluvionale fluvio-glaciale* generata per l'azione degli scaricatori centro-orientali dell'anfiteatro sebino; presenta caratteristiche abbastanza monotone ed è priva di elementi morfologici cartografabili separatamente. Le forme superficiali del terreno, come anche i processi che lo modellano, sono essenzialmente legate a due soli agenti morfologici: le acque superficiali e l'azione dell'uomo. Nell'intorno dell'area in oggetto non si evidenziano indizi di fenomeni erosivi e/o deposizionali attivi ascrivibili a corsi d'acqua di qualsiasi ordine e grado; considerando, inoltre, la distanza del sito in oggetto dai principali corpi idrici superficiali si ritiene che la zona d'intervento non sia potenzialmente soggetta a fenomeni di alluvionamento. Gli elementi morfologici osservati nell'area in oggetto e in un intorno significativo di essa sono tutti principalmente di origine antropica; si tratta, infatti, di laghi di cava, canali di bonifica o irrigui con relativi manufatti di arginatura, rilevati stradali e tracciati viari in genere, insediamenti abitativi e costruzioni rurali di servizio alle coltivazioni agricole.

I principali elementi costituenti il reticolo idrografico superficiale sono cartografati in **TAV. G2**.

Dal punto di vista idrografico, nel territorio di Lograto si riconoscono due settori con caratteristiche differenti, divisi dalla "linea della risorgive", una fascia che attraversa tutta la pianura in senso trasversale, in cui si concentra la maggior parte delle testate dei fontanili. A nord della linea delle risorgive, la rete idrografica superficiale è rappresentata da un intreccio di canalizzazioni antropiche ad uso essenzialmente irriguo, con direttrici di deflusso E-W; tali canalizzazioni costituiscono una efficiente rete di raccolta, trasporto e smaltimento delle acque superficiali, comprese le acque meteoriche in casi di precipitazioni a carattere eccezionale. Il decorso idrico suddetto interessa anche le 2 rogge principali: il Vaso Baioncello che scorre lungo il margine S dell'area in oggetto e la Seriola Travagliata che scorre a N ad una distanza di circa 1600 m. Nella porzione sud del territorio comunale, invece, il sistema idrografico risente in maniera determinante della presenza di fontanili che in passato contribuivano alla formazione di

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N. 04232_02

Progetto
IN05

Lotto
00

Codifica Documento
DE2ROCA0000234

Rev.
0

Foglio
7 di 27

zone paludose; si evidenziano zone depresse in modo più o meno marcato rispetto al livello fondamentale della pianura a testimonianza del fitto reticolo di corsi d'acqua che prendeva origine dai fontanili stessi e andava, in passato, divagando senza essere regimato.

La genesi delle risorgive è da collegarsi alla variazione dei depositi che costituiscono la pianura, via via più fini procedendo in direzione sud; la diminuzione della permeabilità dei terreni, insieme alla diminuzione della pendenza della superficie topografica, induce, infatti, la falda acquifera ad avvicinarsi al piano campagna. Depressioni naturali o artificialmente realizzate nel terreno possono intersecare la superficie piezometrica, determinando una fuoriuscita di acqua.

3. GEOLOGIA

Le unità geologiche affioranti nella zona e in un intorno significativo di essa sono rappresentate in **TAV. G2**; in legenda sono brevemente descritti i caratteri essenziali di ciascuna formazione, a partire dalla più recente. Il riferimento bibliografico per la nomenclatura e la descrizione delle varie formazioni è rappresentato da Carta Geologica d'Italia - Foglio 47 (Brescia) e da Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello.

L'area d'intervento è inserita nelle ampie strutture della pianura posta immediatamente a monte della zona delle risorgive, separata dalle serie pre-quadernarie e dai depositi quadernari delle colline moreniche della Franciacorta affioranti a nord. La linea dei fontanili identifica una fascia di transizione dai depositi fluvio-glaciali di età Wurm-Riss alle alluvioni wurmiane propriamente dette, le quali si differenziano dai precedenti depositi per una diminuzione della granulometria. Si passa, infatti, da depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, a depositi più fini; le variazioni granulometriche sono strettamente legate agli antichi percorsi delle acque superficiali e ai meccanismi di deposizione fluviale.

L'area in oggetto risulta interamente caratterizzata da ALLUVIONI FLUVIO-GLACIALI [f_g], da molto grossolane a ghiaiose con strato di alterazione superficiale argilloso di ridotto spessore. Sono depositi contraddistinti da una granulometria variabile con prevalenza di ghiaie e sabbie, talora con livelli cementati a vario grado di fratturazione; la componente clastica risulta talvolta immersa in una più o meno abbondante matrice sabbiosa o sabbioso-limosa e subordinatamente limosa o limoso-argillosa. Ai livelli a granulometria grossolana si intercalano orizzonti argillosi o argillo-limosi talora con trovanti. Dal punto di vista sedimentologico, tali depositi presentano chiare strutture di deposizione fluviale ed uno spettro dimensionale variabile dai limi ai ciottoli, a conferma di un meccanismo deposizionale di alta energia.

Per quanto riguarda la composizione, la natura poligenica è rilevante: si osserva la presenza di clasti di origine diversa, assimilabili sia alle rocce degli affioramenti calcarei posti più a N sia agli affioramenti granitici e ignei, in genere, dell'Alta Val Camonica e dell'Adamello.

Come accennato precedentemente, la linea delle risorgive segna, invece, il passaggio alle ALLUVIONI FLUVIO-GLACIALI E FLUVIALI [f_g^w], caratterizzanti la bassa pianura. Secondo alcuni autori le alluvioni fluvio-glaciali [f_g] sono sottoposte ed anteriori al fluvio-glaciale e fluviale Wurm [f_g^w], secondo altri costituiscono una variazione granulometrica verso monte del medesimo.

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N. 04232_02

Progetto
IN05

Lotto
00

Codifica Documento
DE2ROCA0000234

Rev.
0

Foglio
9 di 27

In corrispondenza del centro abitato di Capriano del Colle, affiorano le ALLUVIONI FLUVIO-GLACIALI E FLUVIALI [f_g^M], appartenenti all'unità morfologica sottostante e riconducibili al "Mindel"; si riscontrano, inoltre, placche e coltri di loess [e] con strato di alterazione superficiale giallo rossiccio. Trattasi di depositi di origine eolica, la cui granulometria è caratterizzata dalla netta prevalenza della frazione limosa, a causa della selezione operata dal vento.



4. IDROGEOLOGIA DELLA ZONA

Per definire il sistema idrogeologico locale non si può prescindere da alcune considerazioni di carattere generale e regionale.

I caratteri idrogeologici generali del territorio in esame sono desunti dalla bibliografia esistente; in particolare, lo “STUDIO IDROGEOLOGICO DELLA PIANURA BRESCIANA COMPRESA TRA I FIUMI OGLIO E CHIESE” - POLITECNICO DI MILANO 1988 - ha rappresentato il riferimento per una caratterizzazione litostratigrafica ed idrogeologica generale del territorio.

La “serie idrogeologica” risulta definita dalle unità di seguito brevemente descritte; ciascuna unità riunisce successioni litostratigrafiche che presentano comportamento idrogeologico omogeneo e caratteristiche di permeabilità, trasmissività e porosità similari.

- Unità ghiaioso-sabbiosa - Olocene e Pleistocene Sup.(Wurm)-: unità più superficiale, caratterizzata dalla presenza della prima falda acquifera e costituita da ghiaie e sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvio-glaciali wurmiani. Dal punto di vista litologico questi depositi alluvionali sono costituiti da ciottoli, ghiaie e sabbie con trovanti, immersi in una matrice limoso-sabbiosa; superficialmente presentano una coltre di alterazione, di ridotto spessore, colorazione giallo-rossiccia e composizione argillosa-limosa con inglobati ciottoli di varia pezzatura.
- Unità a conglomerati e fluvioglaciale Mindel-Riss: l'unità ghiaioso-sabbiosa sopra descritta viene sostituita, inferiormente, dall'unità a conglomerati tradizionalmente denominata “Ceppo” ascrivibile al Pleistocene medio (Mindel-Riss). Si tratta di una successione di conglomerati, sabbie, arenarie e rare ghiaie, con scarse intercalazioni argillose, che si rinviene a profondità varie; nella pianura bresciana, procedendo da Nord verso Sud, la potenza di tale unità decresce sensibilmente e si osserva il passaggio a sabbie, ghiaie, e prevalenti argille attribuibili alle diverse fasi glaciali del Pleistocene medio (unità idrogeologica Fluvioglaciale Mindel-Riss).
- Unità Villafranchiana: è costituita da depositi continentali formati da limi, limi sabbiosi e argillosi, con intercalazioni di sabbie e rare ghiaie. Le ghiaie e le sabbie, ovunque subordinate ai terreni limosi, hanno la caratteristica colorazione grigio-azzurra e spesso recano intercalazioni di torbe nerastre. Questa unità non si rinviene mai in affioramento ma con l'ausilio delle stratigrafie dei pozzi perforati nella zona è possibile notare come essa subisca un notevole innalzamento in corrispondenza dei rilievi del M.te Netto e di Pievedizio; questo fenomeno di origine tettonica ha condizionato le fasi di deposizione successive, come testimoniato dagli



spessori più esigui degli orizzonti fluvioglaciali soprastanti che possono essere limitati anche a soli 20-30 metri.

L'idrogeologia della zona è determinata dalle successioni litologiche sopra descritte e dalle loro caratteristiche di permeabilità.

Sezioni idrogeologiche riportate nello studio precedentemente citato evidenziano, procedendo da nord verso sud nel territorio comunale di Lograto, il passaggio dai depositi fluvioglaciali prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, tipici dell'alta pianura, ai depositi più sabbiosi della media pianura; l'unità ghiaioso-sabbiosa fluvioglaciale più superficiale è presente fino a profondità variabili e comprese fra m 60 da p.c., nella parte settentrionale del territorio comunale e m 35-40 da p.c. in quella centrale e meridionale. Si osserva, inoltre, come i materiali fini che costituiscono l'Unità Villafranchiana subiscano un marcato sollevamento andando verso est e verso sud, per la presenza dei rilievi tettonici del M.te Netto e Pievedizio, fino a raggiungere profondità attorno ai 40-50 m da p.c., limitando in modo significativo lo spessore dell'acquifero soprastante.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte si deduce che, nel territorio in oggetto, le alluvioni sabbioso-ghiaiose wurmiane sono sede di falda idrica sotterranea libera che presenta buone potenzialità idriche; falde confinate o semi-confinate si riscontrano a profondità maggiori in corrispondenza dei depositi continentali di età Villafranchiana, dove l'intercalazione di bancate argillose più o meno potenti e con continuità laterale favorisce lo sviluppo di falde in pressione generalmente contenute in corpi sabbiosi lenticolari.

La raccolta di dati relativi alle fonti di approvvigionamento idrico, sia pubbliche che private, ha rappresentato una delle tappe fondamentali della presente indagine; si deve, in proposito, sottolineare che il reperimento di dati stratigrafici di pozzi idrici privati ha comportato numerose difficoltà in quanto i pozzi individuati sono risultati per lo più con caratteristiche tecnico-costruttive non note. Altro problema incontrato è stato quello di rendere compatibili i pochi dati disponibili provenienti da fonti molto diverse e spesso senza una precisa connotazione geologica; si ritiene tuttavia che il quadro ottenuto sia sufficientemente rappresentativo.

Nelle tabelle allegate (*Allegato n. 1*) sono elencate le CONCESSIONI RELATIVE A PICCOLE DERIVAZIONI DI ACQUE SOTTERRANEE AD USO POTABILE, alimentanti la rete acquedottistica del Comune di Lograto e dei comuni limitrofi all'area d'intervento; concessioni risultanti dagli elenchi pubblicati sul BURL. L'ubicazione dei sopra elencati pozzi pubblici, unitamente a quelli privati presenti nella zona, è evidenziata in **TAV. G6**; nell'elaborato cartografico è, inoltre, rappresentata la direzione di deflusso della falda idrica superficiale, così come indicato nello

“Studio idrogeologico della pianura bresciana fra il F. Oglio e il F. Chiese” - Politecnico di Milano, 1988”.

Di seguito sono, inoltre, riassunte le principali caratteristiche tecnico-costruttive dei sopraccitati pozzi idrici ad uso potabile.

	COMUNE	INDIRIZZO - DENOMINAZIONE	QUOTA m s.l.m.	DATI CATASTALI		PROF. m	STRAT.	PROF. 1° filt m	PROF. ult. filt. m	ANNO COSTR.	PORTATA MEDIA	DATI IDRAULICI			
				FOGLIO	MAPP.							data	l.s. (m)	l.d. (m)	Q (l/sec)
1	TRAVAGLIATO	VIA VALVERDE - MULINI	132.5	10	-	104.3	SI	51.33	87.55	1979	90	-	-	-	-
2	TRAVAGLIATO	BREDA	124.13	13	-	115.4	SI	58	103	1982	60				
2	CAZZAGO S.M.	VIA RIZZINI - RIZZINI	184.0	27	141	102	SI	70	96	1981	10	10/81	63.0	64.0	34.0
1	OSPITALETTO	VIA PERGOLINA	160.0	3	771	80	SI	54-74			15		50		10
2	OSPITALETTO	VIALE CADUTI	151.5	10	6	95	SI	54-62	70-78	1978	26		36.6	37	55
3	OSPITALETTO	CAMPO SPORTIVO - LEOPARDI	160.30	2	77/A	175	SI	114,5-145,2	167,5-170	1988	43	-	52,0	54,5	40,0
1	ROVATO	VIA S. ANNA - S. ANNA	145.8	26	A	72	SI	60	72	1981	5	10/81	28.0	29.0	35.0
2	ROVATO	VIA CADUTI - DUOMO	144.8	31	48	101	SI	70	100	1981	10	-	-	-	-
3	ROVATO	VIA FRANCIACORTA - STADIO	150.0	1	49	122	SI	68	102	1962	10	-	-	-	-
4	ROVATO	VIA DEL DOSSELLO - DOSSELLI	195.0	1	449	162	SI	108	158	-	10	-	84.1	90.9	49.0
5	ROVATO	VIA DELLA FORNACE - FORNACE	199.0	1	448	150	SI	108	144	1988	30	-	-	-	-
1	BERLINGO	VIA TRENTO - TRENTO (BERLINGHETTO)	131.0	1	117	140	SI	120	130	1987	15				
1	LOGRATO	VIA GIOVANNI XXIII	110	6	186	73	SI	44	68	1975	10	12/75	2.1	3.1	42
2	LOGRATO	PAMA					NO								
1	TORBOLE CASAGLIA	VIA DON SALVONI (CASAGLIA)	109.7	18	21	103	SI	65	100	1981	40	-	-	-	-
1	TRENZANO	VIALE STAZIONE STAZIONE VECCHIA	109.3	17	2	94	SI	43	83	1980	20	09/80	1.5	4.0	78
1	MACLODIO	VIA RUDIANA	109.4	3	148	100	SI	52	70	1994	15	01/94	3.0	4.5	123
1	CASTEGNATO	VIA LAVORO E INDUSTRIA (PIP)	150	7	143	127	SI	90.81	121.2	1982	5	07/82	36.5	37	50
2	CASTEGNATO	VIA CAVOUR	148	1	58	143	SI	132	139	1988	20	01/88	31.5	34	28
3	CASTEGNATO	FRANCHI	144	5	302	-	NO	-	-	-	15	-	-	-	-
1	RONCADELLE	S.GIULIA	120	6	47	105	SI	40	92	1977	40	-	-	-	-

Il pozzo pubblico, attivo, più prossimo all'area d'intervento è il pozzo comunale n. 2 di Lograto (“Pama”), ubicato a sud-est, a circa 600 m di distanza dal limite meridionale dell'area in oggetto.

Si sottolinea, infine, che entro un raggio di m 200 dai confini esterni dell'area d'intervento non esistono pozzi pubblici destinati al consumo umano e privati collegati con pubbliche condutture acquedottistiche.



5. CARATTERIZZAZIONE AREA IN OGGETTO

Sulla situazione generale precedentemente illustrata si impostano le seguenti considerazioni di carattere locale, desunte da specifiche indagini eseguite in situ.

Nell'area d'intervento sono stati realizzati **n. 6 sondaggi geognostici** con lo scopo di:

- acquisire indicazioni circa le caratteristiche litostratigrafiche del sito e prelevare campioni di materiale da sottoporre a specifiche analisi di laboratorio;
- caratterizzare, mediante prove SPT eseguite in foro di sondaggio, i materiali dal punto di vista geotecnico;
- consentire l'installazione di tubi piezometrici nel foro di sondaggio per definire il livello di falda.

Trattasi di sondaggi terebrati nel mese di ottobre 2005, con metodo di perforazione a rotazione e carotaggio continuo e spinti alla massima profondità di m 25 da p.c.. In corrispondenza di n. 4 fori di sondaggio sono stati installati tubi piezometrici, identificati con le sigle “**P.1-P.2-P.3-P.4**”, per il controllo periodico dei livelli di falda.

Ad approfondimento dell'indagine, ma soprattutto allo scopo di definire lo spessore medio del terreno vegetale e del cappellaccio di alterazione superficiale, sono stati, inoltre, eseguiti **n. 4 scavi di prospezione** mediante escavatore meccanico, distribuiti in modo da interessare l'area di futura escavazione.

E' stato realizzato un accurato rilievo plano-altimetrico che ha permesso di definire l'esatta ubicazione dei punti d'indagine; in corrispondenza dei piezometri installati, sono state, inoltre, rilevate le rispettive quote testa, quote utili per le considerazioni relative alla soggiacenza della falda. L'ubicazione dei punti d'indagine è rappresentata in **TAV. G3**; le stratigrafie degli scavi di prospezione e la relativa documentazione fotografica sono riportate in *Allegato n. 3* alla presente relazione, mentre le stratigrafie dei sondaggi, la relativa documentazione fotografica e le caratteristiche tecnico-costruttive dei piezometri sono riportate in *Allegato n. 4*.

6.1 Litostratigrafia e caratteristiche qualitative del materiale inerte

L'indagine geognostica eseguita presso l'area d'intervento ha evidenziato la presenza di litologie del sottosuolo sostanzialmente uniformi per tutta l'area indagata; sulla base delle informazioni emerse dall'esecuzione dei suddetti scavi di prospezione e sondaggi geognostici è stata ricostruita una sezione litostratigrafica di dettaglio con andamento N-S in modo da interessare tutta l'area d'intervento (**TAV. G4**). Si premette che la descrizione della struttura

litostratigrafica di dettaglio si riferisce unicamente ai primi 25 m di profondità rispetto al piano campagna, limite imposto dalla massima profondità raggiunta dai dati stratigrafici disponibili.

I principali caratteri litologici sono riassumibili come segue:

- strato coltivo superficiale di spessore medio pari a m 0.50 circa; presenta colorazione marrone brunastra e natura argilloso-limosa con inclusi ciottoli poligenici, in prevalenza calcarei;
- alla base dello strato terrigeno, l'aumento percentuale degli elementi più grossolani indica il progressivo passaggio (cappellaccio di aletrazione) al deposito fluvioglaciale vero e proprio sottostante; questo deposito è caratterizzato da ghiaia sabbiosa debolmente limosa di colore marrone-grigio, addensata, con clasti poligenici arrotondati e subordinate intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose. Il suddetto deposito è risultato continuo fino alla massima profondità indagata pari m 25 circa da p.c.

Il materiale inerte di interesse economico, oggetto di futura escavazione, è rappresentato dalle alluvioni ghiaioso-sabbiose sopra descritte; tale materiale è stato **analizzato e classificato mediante specifiche prove di laboratorio**.

Le tabelle seguenti riassumono sinteticamente i risultati delle analisi effettuate su campioni prelevati sia durante l'esecuzione degli scavi di prospezione sia durante la terebrazione dei sondaggi geognostici.

I certificati di laboratorio delle singole prove sono riportati negli *Allegati nn. 3-5*.

Tab. 1 - Analisi di laboratorio effettuate su campioni prelevati in scavi di prospezione

	SCAVO PZ1		SCAVO PZ3		SCAVO PZ5		SCAVO PZ6		
SONDAGGIO	BS2 PZ1	BS2 PZ1	BS2 PZ3	BS2 PZ3	BS2 PZ5	BS2 PZ5	BS2 PZ6	BS2 PZ6	
CAMPIONE	1	2	1	2	1	2	1	2	
PROFONDITA' [m]	0.00-0.50	0.50-3.50	0.00-0.80	0.80-3.40	0.00-1.20	1.20-3.40	0.00-0.80	0.80-3.50	
CONTENUTO NAT. ACQUA	%	18.08	4.56	19.50	7.11	23.48	6.91	19.39	5.18
ANALISI GRANULOMETRICA									
Ghiaia	%	15.98	46.35	23.62	47.39	26.75	46.30	35.42	49.86
Sabbia	%	45.92	50.37	55.58	49.08	41.69	49.06	44.37	46.43
Limo + argilla	%	38.10	3.28	20.81	3.53	31.56	4.64	20.21	3.71
LIMITI DI CONSISTENZA									
Limite liquido	%	21	N.D	20	N.D	26	N.D	28	N.D
Limite plastico	%	15	N.P.	N.P.	N.P.	20	N.P.	21	N.P.
Indice plastico		6	N.P.	N.P.	N.P.	6	N.P.	7	N.P.
CLASSIFICAZIONE									
UNI 10006		A-4	A-1-a	A-1-b	A-1-a	A-2-a	A-1-a	A-2-a	A-1-a
USCS		SC-SM	GP	SM	GP	SC-SM	GP	SC	GP

GENERAL CONTRACTOR Cepav due 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Doc. N. 04232_02	Progetto IN05	Lotto 00	Codifica Documento DE2ROCA0000234	Rev. 0	Foglio 16 di 27

Le prove di laboratorio effettuate indicano che i materiali in oggetto presentano caratteristiche qualitative che soddisfano i requisiti degli inerti necessari per la realizzazione delle opere civili in terra della Linea A.C. Brescia-Verona, requisiti riassunti nella tabella seguente, elaborata sulla base delle prescrizioni di “Capitolato di Costruzione Italferr” integrate da informazioni di tipo classificativo secondo la norma CNR UNI 10006/63 e litologico in accordo alla terminologia dei Piani Cave.

	RINTERRI	RILEVATO		SUPERCOMPATTATO
		stradale	ferroviario	
CLASS.UNI CNR 10006/63	A1-A2-A3-A4	A1-A2-A3-A4-A6	A1-A2-A3	A1-A2/4-A3
note	A4 solo se proveniente da scavi di opere di linee	A3 con C.U.> 7; strati di A2 e A6 di 30 cm, A2/5 e A2/7 si deve verificare la validità prima della messa in opera; A6 solo con indice di gruppo <=8.	A3 con C.U. >7; A1 e A3 in strati da 50 cm; A2-A2/6 in strati da 30 cm; A2/5 e A2/7 da verificare prima della messa in opera	A3 con E.S. 25-50 % e C.U. >7
PRESTAZIONI IN OPERA	M.D.> 200 Kg/cmq; densità secca >95% AASHTO Mod.	M.D.> 200 Kg/cmq; densità secca >95% AASHTO Mod.	M.D.> 400 Kg/cmq; densità secca >95% AASHTO Mod.	M.D.> 800 Kg/cmq; densità secca >95% AASHTO Mod.
LITOLOGIA	INERTI NON PREGIATI		INERTI PREGIATI	
	(sabbia, sabbia-limosa, sabbia limo-ghiaiosa)		(ghiaia, ghiaia con sabbia anche limosa)	

Si evidenzia che i materiali da utilizzarsi ricoprono quasi tutta la classificazione della norma CNR, ma come ampiamente noto e documentato ben difficilmente si potranno ottenere per i rilevati ferroviari in opera i valori di Modulo di deformazione (Md) richiesti per i rilevati utilizzando materiali tipo A2-4.

Inerti per rilevati

La realizzazione dei rilevati ferroviari deve essere eseguita con materiali inerti di elevate caratteristiche qualitative riscontrabili nella litologia ghiaiosa-sabbiosa di cui alla norma CNR 10006/63, in termini di classificazione questi inerti appartengono al gruppo A1, A2 e A3.

Inerti per lavorati

Per lavorati si intendono tutti gli inerti che subiscono processi di lavorazione tipo frantumazione, vagliatura ecc. prima del loro utilizzo. Per la realizzazione della linea Alta Capacità sono richiesti inerti lavorati per il CLS, anticapillare, dreni di varia natura, supercompattato, conglomerato bituminoso, rivestimenti ecc.. Dal punto di vista qualitativo si tratta di materiali di partenza con ottime caratteristiche meccaniche e litologiche

6.2 Spessore coltivo e cappellaccio di alterazione superficiale

La potenza media del terreno superficiale, costituito dal coltivo e dallo strato di alterazione sottostante di natura prevalentemente limoso-argillosa, è stata determinata attraverso una campagna geognostica comprendente scavi di prospezione realizzati mediante escavatore meccanico.

Gli scavi, ubicati come da planimetria allegata (**TAV. G3**), sono stati distribuiti in modo da interessare le aree di futura escavazione.

Lo spessore dello strato coltivo è risultato il seguente:

Scavo PZ1	spessore coltivo = 0.50 m
Scavo PZ3	spessore coltivo = 0.40 m
Scavo PZ5	spessore coltivo = 0.50 m
Scavo PZ6	spessore coltivo = 0.40 m

Si rimanda all' *Allegato n. 4* della presente relazione per la relativa documentazione fotografica.

A seguito dei valori sopra esposti, si indica uno spessore medio del coltivo pari a m 0.50.

6.3 Piezometria della falda idrica superficiale

Nell'area d'intervento, l'acquifero superficiale è localizzato nel complesso alluvionale precedentemente descritto ed in particolare nelle ghiaie e sabbie, dotate di buona permeabilità, presenti fino a profondità pari a m 35-40 da p.c.

La condizione necessaria per la ricostruzione della piezometria della falda superficiale è rappresentata dalla disponibilità di un certo numero di pozzi captanti il medesimo acquifero superficiale, distribuiti in modo da interessare buona parte dell'area indagata; le misure di livello della falda freatica effettuate nei pozzi sono, inoltre, correlabili solamente se realizzate nel medesimo periodo di tempo.

Nel caso specifico l'esatta definizione della profondità della falda freatica è stata verificata mediante la messa in opera di n. 4 pozzi piezometrici (**P.1-P.2-P.3-P.4**), ubicati come da elaborato cartografico allegato (**Fig. 2 - TAV. G5**) e con caratteristiche tecnico-costruttive illustrate in allegato (*Allegato n. 4*). I piezometri sono stati ubicati al di fuori delle aree di futura escavazione, a piano campagna, a monte e a valle dell'area d'intervento, in funzione della direzione di flusso della falda.



Come accennato precedentemente, nell'area in oggetto è stato eseguito un rilievo plano-altimetrico che ha permesso di definire l'ubicazione esatta dei piezometri e le rispettive quote testa, quote utili per le considerazioni relative alla soggiacenza della falda nell'area in oggetto.

Tab. 3 - Piezometri costituenti la rete di monitoraggio

	P.1	P.2	P.3	P.4
quota assoluta testa piezometro (m s.l.m.)	119.06	116.87	114.00	115.70

L'attività di monitoraggio, costituita da periodica misurazione dei livelli statici della falda, è alla data odierna è limitata **al periodo compreso fra il 04/10/05 ed il 25/10/2005**

I valori misurati sono rappresentati nel grafico allegato (*Allegato n 6*); si sottolinea che i livelli statici rilevati sono condizionati sia da fattori climatici (precipitazioni meteoriche) sia da fattori antropici (attività irrigua).

Tali misure evidenziano i seguenti valori di massimo innalzamento (rilevati il 25/10/2005):

m 109.67 s.l.m. in corrispondenza del piezometro	P.1
m 109.66 s.l.m.	“ P.2
m 108.53 s.l.m	“ P.3
m 108.58 s.l.m	“ P.4

L'andamento della falda, riferito alla sopraccitata situazione di massimo innalzamento, è stato graficamente ricostruito nella carta delle isofreatiche di **TAV. G5 (Fig. 2)**, ottenuta elaborando i dati disponibili mediante specifici programmi di calcolo, che utilizzano metodi statistico-matematici; al fine di ottenere una migliore rappresentazione dell'area d'intervento e del suo immediato intorno è stata eseguita una ricostruzione grafica a scala 1:10.000. I livelli di falda sono espressi in termini assoluti (m s.l.m.).

L'elaborato evidenzia quanto segue:

- una direzione di deflusso idrico da NE verso SW;
- quote di falda variabili, nell'area d'intervento, da circa m 109.67 s.l.m. (P.1) a m 108.53 (P.3);
- il gradiente idraulico medio è circa 0,15%

Al fine di valutare le oscillazioni dei livelli di falda e di definire, quindi, la massima escursione della falda nell'area in oggetto, sono stati consultati i vari studi idrogeologici disponibili relativamente alla zona e ad un intorno significativo di essa.



La **Fig.1** mostra l'andamento della falda tratto da: "*Carta idrogeologica e del sistema idrografico*"- *Studio geologico del territorio comunale* - redatta dalla Dr.ssa Geol. L. Ziliani (maggio 1997) per conto dell'Amministrazione comunale di Lograto. Tale andamento, relativo al periodo luglio-agosto 1995, è stato ricostruito mediante campagne di misura dei livelli statici nel pozzo comunale di Lograto (Pozzo "Giovanni XXIII") e in alcuni pozzi privati presenti sul territorio comunale di Lograto, di Azzano Mella e di Travagliato; i dati rilevati sono stati integrati con i livelli di emergenza dei fontanili. Si evince che:

- la direzione di deflusso idrico principale è da NNW verso SSE;
- le quote di falda, nell'area d'intervento, variano da circa m 110.70 (a NNW) a m 109.70 (a SSE);
- il gradiente idraulico medio è 0.15%

La **Fig.3** mostra, invece, l'andamento della falda individuato nello "*Studio Idrogeologico della pianura bresciana fra il F. Oglio e il F. Chiese*" (Politecnico di Milano, 1988); si evince che:

- la direzione di deflusso idrico è da NNW verso SSE;
- l'area d'intervento ricade in un'ampia fascia caratterizzata da superficie piezometrica con quota compresa fra m 108 e 110 s.l.m.

Si sottolinea che la citata direzione di deflusso principale, individuata a scala locale, è diversa dalle direzioni di deflusso indicate dai sopraccitati studi idrogeologici condotti ad ampia scala; tali variazioni sono presumibilmente connesse a variazioni locali correlabili con la presenza nella zona di pozzi idrici, che possono determinare coni di depressione di una certa importanza. L'andamento della superficie piezometrica può, inoltre, subire oscillazioni legate al variare delle stagioni e al regime pluviometrico.

Alla data attuale, non sono disponibili per l'area in oggetto altre serie storiche di letture freaticometriche che determinino in dettaglio l'entità delle oscillazioni del livello della falda superficiale; si sottolinea, quindi, che i valori indicati nella "*Carta idrogeologica e del sistema idrografico*"- *Studio geologico del territorio comunale* - redatta dalla Dr.ssa Geol. L. Ziliani rappresentano **i livelli di massima risalita della falda al momento documentabile per l'area d'intervento. La prosecuzione delle rilevazioni freaticometriche a cadenza mensile potrà fornire più precise indicazioni in merito sia alla direzione di flusso della falda sia alle relative oscillazioni stagionali.**



Con riferimento specifico all'area in oggetto, tali valori di massima risalita possono essere espressi in termini di soggiacenza **rispetto alla quota massima di fondo scavo prevista dal progetto di coltivazione:**

1. limite NNW di escavazione:

quota massima piano campagna	m 118.19 s.l.m.
quota massima fondo scavo	m 111.19 s.l.m.
quota massima risalita della falda	m 110.69 s.l.m.
profondità della falda da fondo scavo	m 0.50

2. limite SSE di escavazione:

quota massima piano campagna	m 113.74 s.l.m.
quota massima fondo scavo	m 110.18 s.l.m.
quota massima risalita della falda	m 109.68 s.l.m.
profondità della falda da fondo scavo	m 0.50

Per quanto concerne i valori di permeabilità dei terreni indagati, durante i sondaggi sono stata effettuate diverse prove di tipo Lefranc, i cui risultati sono riassunti nella tabella che segue.

Codice sondaggio	Profondità (m)	Coefficiente di permeabilità (m/s)
P2 – prova 1	10.50 – 11.00	5.65 E-0.5
P2 – prova 2	19.50 – 20.00	5.773 E-0.5
P4 – prova 1	8.20 – 8.70	8.25 E-0.5
P4 – prova 2	19.50 – 20.00	1.52 E-0.4

6.4 *Vulnerabilità degli acquiferi*

La CARTA DELLA VULNERABILITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE riprodotta in **TAV. G7** (estratta da “Carta della vulnerabilità delle acque sotterranee – Provincia di Brescia”) indica che l'area in oggetto si colloca al limite tra la classe definita “alta” e “molto alta”; il metodo di valutazione (DRASTIC) utilizzato dalla Provincia classifica la pianura bresciana nelle seguenti 4 classi di vulnerabilità:

- “mediamente bassa”
- “mediamente alta”
- “alta”
- “molto alta”

La “*Carta della vulnerabilità delle acque sotterranee*”, parte integrante dello *Studio geologico del territorio comunale* redatto a cura della Dr.ssa Geol. L. Ziliani (maggio 1997), indica, invece, che l’area d’intervento ricade interamente in un’unica classe di vulnerabilità (classe 7), corrispondente a vulnerabilità “alta” con protettività dei suoli elevata. Il passaggio alla classe di vulnerabilità “molto alta” (classe 8) si osserva esclusivamente nel settore meridionale del territorio comunale di Lograto, dove i suoli possiedono caratteristiche più scadenti e la falda acquifera è più vicina alla superficie del suolo.

6.5 Caratteristiche geotecniche

Le alluvioni ghiaioso-sabbiose che caratterizzano l’area d’intervento sono state definite, dal punto di vista geotecnico, attraverso l’esecuzione di specifiche indagini in situ; durante l’esecuzione dei carotaggi P.1-P.2-P.3-P.4-S.1-S.2 sono state, infatti, realizzate, in foro di sondaggio, prove penetrometriche discontinue (SPT) che hanno permesso di ricavare informazioni sulla resistenza dei materiali prevalentemente granulari.

In particolare, le prove effettuate entro i primi 7 m di profondità hanno fatto registrare i seguenti valori di N_{SPT} riportati in tabella.

Codice sondaggio	Profondità (m)	Valore di N_{SPT}
P2	7	Rifiuto alla penetrazione
P3	5.8	Rifiuto alla penetrazione
P4	6	46
S1	7	74

Utilizzando il numero di colpi ottenuto dalle prove SPT è possibile, in via indiretta, determinare il valore di angolo d’attrito dei terreni (ϕ'). Tra le numerose correlazioni disponibili in letteratura si è scelto di utilizzare quella proposta da De Mello (1971) in cui l’angolo d’attrito è valutato, oltre che il valore di N_{SPT} , anche sullo sforzo verticale efficace σ'_{vo} .



Tale correlazione, è stata preferita ad altre analoghe poiché, oltre a permettere di considerare l'influenza del peso del terreno sovrastante consente, anche, di evitare il doppio passaggio insito, ad esempio, nella correlazione proposta da Schmertmann (1977) nel quale da N_{SPT} si ricava dapprima la densità relativa (DR) e da questa il valore di angolo.

Il grafico di figura 6.1 evidenzia che i terreni presenti nell'area di studio mostrano un angolo di resistenza al taglio assai elevato in sintonia con le loro caratteristiche granulometriche. Per le analisi di stabilità si è adottato $\phi' = 45^\circ$, corrispondente al limite inferiore nell'ambito della suddetta correlazione.

Se, come riportato da alcuni autori, il valore di angolo di resistenza al taglio valutato in terreni ghiaiosi con l'utilizzo della correlazione di De Mello potrebbe risultare lievemente sovradimensionato rispetto a quello reale, si osserva che l'analisi della stabilità dei fronti di scavo è stata condotta per il resto assumendo parametri di calcolo molto conservativi (coesione nulla, falda a fondo scavo, accelerazione orizzontale di 0.15 g, accelerazione verticale non nulla) tali da compensare ampiamente l'effetto dell'eventuale suddetta sovrastima.

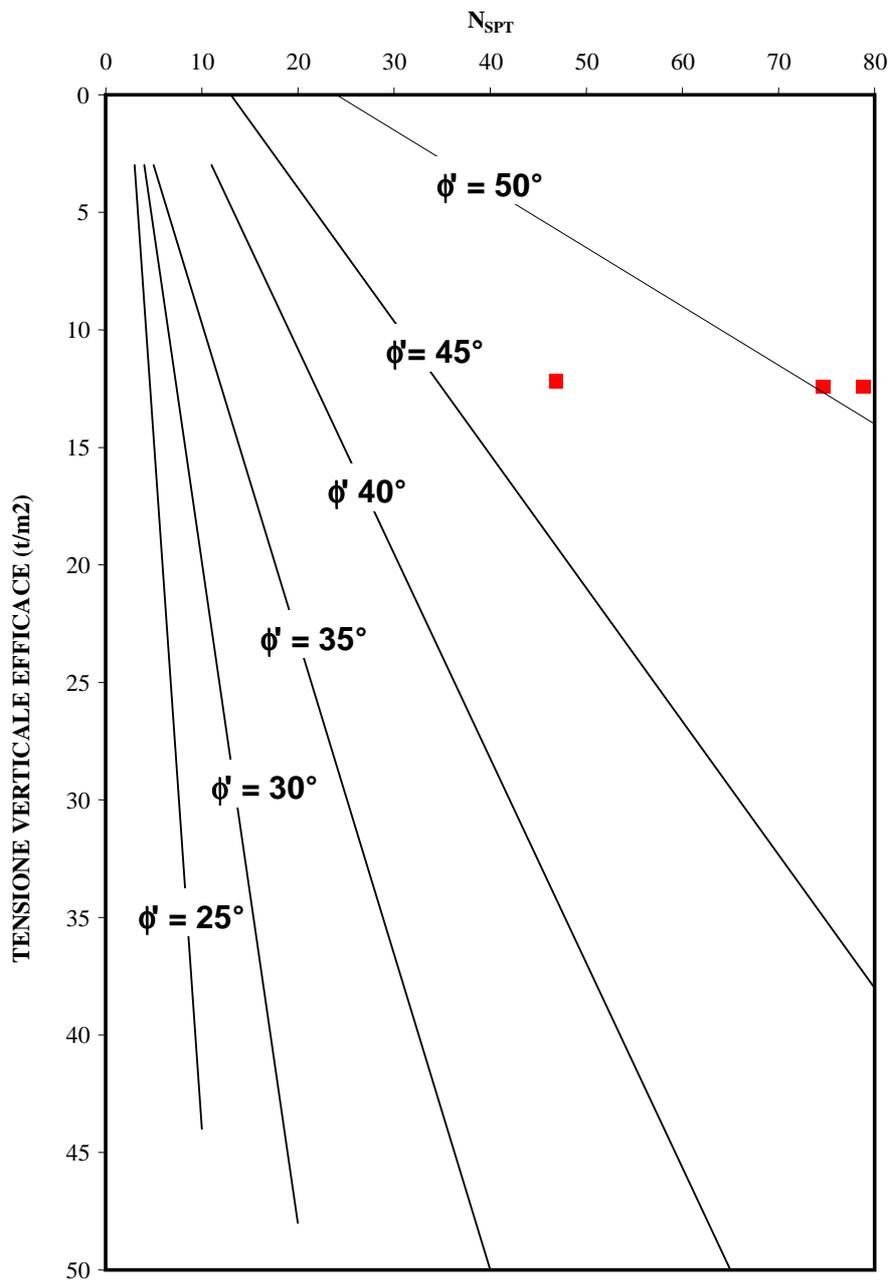


Fig. 6.1. Determinazione dell'angolo d'attrito dei terreni



6. PROFILI DI SICUREZZA DEI TERRENI

7.1 Premessa

Secondo i disposti della normativa vigente si è proceduto alla determinazione dei profili di sicurezza da attribuire ai terreni durante le varie fasi della coltivazione (*Allegato n. 8*).

La geometria dei profili da sottoporre a verifica di stabilità è stata definita considerando la massima profondità di escavazione di materiale inerte prevista dal piano di coltivazione; tale profondità massima, pari a circa m 7 dal piano campagna, sarà raggiunta nella zona N dell'area d'intervento.

Le elaborazioni sono state eseguite utilizzando il programma I.L.A. (Interactive Landslides Analysis), prodotto dalla "geo&soft international".

L'espressione usata per la determinazione del fattore di sicurezza col metodo di Bishop è la seguente:

$$FS = (\Sigma(c b + (W - u b) \tan \varphi') \sec \alpha / (1 + \tan \alpha \tan \varphi' / FS)) / (\Sigma W \sin \alpha)$$

Essendo:

c = coesione

b = larghezza del concio i-esimo

W = peso del concio

U = pressione idraulica

φ' = angolo di attrito

α = inclinazione della base del concio

Si tratta di una equazione in cui l'incognita compare sia nel primo sia nel secondo membro. L'equazione viene risolta perciò per via numerica in modo iterativo, assegnando cioè un valore iniziale al fattore di sicurezza e ripetendo il procedimento di calcolo sino a giungere a convergenza.

Le verifiche sopraelencate sono state condotte anche in prospettiva sismica in relazione all'applicazione dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri - n. 3274 del 20 marzo

2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

7.2 Calcolo dell'azione sismica

Ai fini dell'applicazione delle nuove norme sismiche, la stabilità dei pendii deve essere verificata nei confronti dell'azione sismica di progetto (A_g); tale verifica può essere condotta con metodi semplificati di tipo pseudo-statico. Sono metodi che consistono nel verificare la stabilità di una massa di terreno delimitata dalla superficie libera e dalla più sfavorevole delle superfici di potenziale scorrimento.

Le forze agenti sono costituite, oltre che dal peso proprio del volume dei terreni interessati, dalle forze di inerzia dovute all'azione sismica:

$$\text{componente sismica orizzontale} \quad F_H = \pm 0,5 * S * a_g * S_T (\text{se necessario}) \quad (1)$$

$$\text{componente sismica verticale} \quad F_V = \pm 0,5 * F_H$$

Con la nuova classificazione sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g , ossia accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, corrispondente a formazioni litoidi o terreni omogenei caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s.

I valori di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g e da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

zona 1 0,35 g

zona 2 0,25 g

zona 3 0,15 g

zona 4 0,05 g

L'azione sismica di progetto ($S * a_g = A_g$) corrispondente all'accelerazione massima orizzontale attesa al sito di progetto, si ottiene moltiplicando il valore di a_g per:

un fattore S che tiene conto del profilo stratigrafico del terreno di fondazione.

Sono previste dalla normativa 5 classi di terreni (A, B, C, D, E), identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche, rilevate nei primi 30 m e definite dai parametri indicati nell'Eurocodice 8, e precisamente: velocità delle onde S , numero dei colpi della prova SPT, coesione non drenata.

A seconda della categoria di suolo si indicano i seguenti valori di S :

categoria suolo S



A	1,0
B, C, E,	1,25
D	1,35

Si sottolinea, infine, che per strutture importanti erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello superiore a circa 30 m dovrà essere incrementata l'azione sismica di progetto nell'espressione (1) moltiplicandola per un coefficiente di amplificazione topografica S_T dipendente dalle caratteristiche morfologiche del pendio.

Nel caso in esame:

- il territorio comunale di Lograto è classificato in zona sismica 3 per la quale viene indicato un valore di a_g pari a 0,15 g;
- il terreno di fondazione può essere assimilato alla categoria di suolo C definita al punto 3.1 delle "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", allegato n.2 all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri - n. 3274 del 20 marzo 2003. Trattasi di *depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media rigidità*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa). Il fattore S, riferito alla categoria C, risulta pertanto pari a 1,25;
- il coefficiente di amplificazione topografica S_T non è stato introdotto in quanto trattasi di profili topografici con dislivello non superiore a m 30 (nel caso specifico = m 11 da p.c.)

Alla luce di quanto sopra esposto si indicano **i seguenti valori delle componenti sismiche, introdotti nelle verifiche di stabilità eseguite:**

$$F_H = \pm 0,5 * S * a_g * W = 0,5 * 1,25 * 0,15 = 0,09375 \quad \text{componente sismica orizzontale}$$

$$F_V = \pm 0,5 * F_H = 0,5 * 0,09375 = 0,046875 \quad \text{componente sismica verticale}$$

7.3 Verifica di stabilità

La sezione-tipo sottoposta a verifica di stabilità è mediamente rappresentativa dei fronti di scavo previsti dal PIANO DI COLTIVAZIONE; l'approfondimento pari a circa m 7 da p.c. rappresenta il valore massimo che sarà raggiunto.

- altezza H = 7 m circa
- pendenza = 35° circa



La verifica di stabilità è stata condotta utilizzando il metodo delle superfici di scivolamento circolari passanti per un punto (base della scarpata) con maglia di centri prestabilita e assegnando al terreno, prevalentemente granulare, i seguenti parametri geotecnici:

angolo di attrito	$\phi = 45^\circ$
coesione	$c = 0$
peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
peso di volume saturo	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$

I risultati del calcolo sono illustrati nella tabella seguente:

	SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO CIRCOLARI PASSANTI PER UN PUNTO	
SEZIONE SOTTOPOSTA A VERIFICA	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE	ANALISI IN CONDIZIONI PSEUDO-STATICHE (PROSPETTIVA SISMICA)
SEZIONE-TIPO NORD	F.S. min = 1.58	F.S. min = 1.41

In tutte le condizioni si ricava un valore di $F_s \gg 1.3$