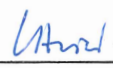
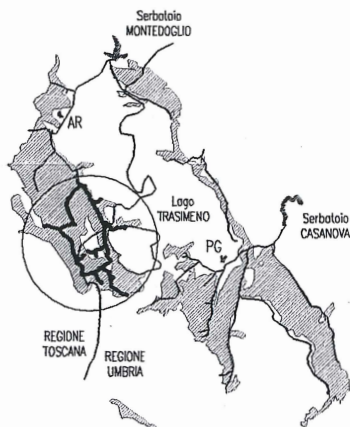
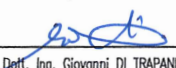
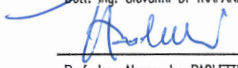




# ENTE IRRIGUO UMBRO-TOSCANO

## AREZZO

### PROGETTO DEFINITIVO PER LE OPERE DI ADDUZIONE DA MONTEDOGLIO PER IL COMPENSORIO OCCIDENTALE NELLE PROVINCE DI AREZZO, SIENA E PERUGIA

Classe  <b style="font-size: 2em;">3</b>	<b>STUDIO GEOTECNICO</b>		
N. Tavola  <b style="font-size: 2em;">3.1</b>	<b>RELAZIONE</b>		
Scala			
Aggiornamenti	<b>ENTE IRRIGUO UMBRO-TOSCANO</b>		
1	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	IL DIRETTORE GENERALE	IL COMMISSARIO STRAORDINARIO
2			
3			
4	Dott. Arch. Carlo CHIARINI	Dott. Arch. Diego ZURLI	Dott. Alessandro MARANGONI
Società di Ingegneria S.A.I. s.r.l. Studio Applicazioni Idrauliche - Palermo	<b>I PROGETTISTI</b>	<b>IL CONSULENTE</b>	
Società di Ingegneria ETATEC s.r.l. Milano	 Dott. Ing. Cesare ARICI		
Dott. Ing. Carmelo CARRUBA Palermo	 Dott. Ing. Giovanni DI TRAPANI		
GEO.I.TER. Palermo	 Prof. Ing. Alessandro PAOLETTI		
STUDIO APPLICAZIONI IDRAULICHE S.A.I. s.r.l. - PALERMO - Responsabile del progetto e del coordinamento generale		<b>AREZZO - NOVEMBRE 2001</b>	

## INDICE

1 -	PREMESSA .....	Pag. 1
2 -	IL PROGETTO, I LUOGHI, LE OPERE.....	Pag. 3
	2.1 - Lo studio di fattibilità.....	Pag. 3
	2.2 - I luoghi, il tracciato, le opere .....	Pag. 6
3 -	SVILUPPO E RISULTATI DELLE INDAGINI .....	Pag. 17
	3.1 - Premesse .....	Pag. 17
	3.2 - Sviluppo delle indagini in sito.....	Pag. 17
	3.3 - Risultati delle indagini in sito.....	Pag. 19
	3.3.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali .....	Pag. 20
	3.3.2 - L'Unità Cervarola-Falterona (AC).....	Pag. 23
	3.3.3 - Il detrito di falda (dt) .....	Pag. 25
	3.4 - Indagini di laboratorio.....	Pag. 25
	3.4.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali L, LS.....	Pag. 26
	3.4.2 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali LCS, LSG, SCL, LS .....	Pag. 28
	3.4.3 - L'Unità Cervarola-Falterona.....	Pag. 29
4 -	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TER- RENI .....	Pag. 31
	4.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali.....	Pag. 31
	4.2 - L'Unità Cervarola-Falterona .....	Pag. 33
	4.3 - I materiali da costruzione .....	Pag. 38
5 -	PROBLEMATICHE GEOTECNICHE E SOLUZIONI PROGETTUALI .....	Pag. 41
	5.1 - Le condotte.....	Pag. 41
	5.2 - Le vasche .....	Pag. 47
	5.3 - Gli attraversamenti .....	Pag. 52
	5.4 - Gli impianti di sollevamento.....	Pag. 53
6 -	CRITERI E RISULTATI DEI CALCOLI .....	Pag. 55
	6.1 - Premesse .....	Pag. 55
	6.2 - Le condotte.....	Pag. 56
	6.3 - Le vasche .....	Pag. 57
	6.4 - I rilevati di mascheramento delle vasche .....	Pag. 60
	6.5 - Il rinterro a tergo delle vasche .....	Pag. 62
	6.6 - Scavi con palancole.....	Pag. 62
	6.7 - L'attraversamento in spingitubo.....	Pag. 64
	6.8 - Gli scavi per gli impianti di sollevamento.....	Pag. 66

APPENDICE - Principi di calcolo

## 1 - PREMESSA

L'Ente Irriguo Umbro-Toscano ha in programma la realizzazione del "Sistema Occidentale" d'irrigazione del suo territorio, nel quadro più vasto del piano generale irriguo redatto dal prof. ing. Filippo Arredi nel 1965.

Tale Sistema Occidentale, prevede la derivazione dall'invaso di Montedoglio sul Tevere e l'adduzione con una serie di gallerie di valico e di sifoni verso la Valdichiana per terminare a Nord del lago Trasimeno.

Di questo sistema è in via di realizzazione un 1° lotto in più stralci che perviene al manufatto terminale a pelo libero sito in località Fondaccio di Pieve a Quarto, mentre è pronto per essere appaltato, sempre in più stralci, il progetto esecutivo di 2° lotto che, dipartendosi dal manufatto terminale e proseguendo verso la Valdichiana, si attesta in località Montecchio a Sud dell'abitato di Castiglion Fiorentino.

Nell'ottica della progressiva definizione dell'intero sistema d'irrigazione, l'Ente irriguo ha deciso di indire una gara che permettesse di acquisire il progetto definitivo di tutte le opere di adduzione del comprensorio irriguo occidentale a valle del secondo lotto nelle province di Arezzo, Perugia e Siena, sulla scorta di uno studio di fattibilità redatto nel Maggio 2000, nonché il progetto esecutivo di un primo stralcio funzionale.

L'incarico, conseguente alla gara di cui sopra, è stato affidato ad



un raggruppamento, con capogruppo mandataria S.A.I. s.r.l., di cui lo scrivente fa parte.

Si è pertanto dato corso a tutta una serie di studi e indagini necessarie per potere definire la progettazione definitiva alla luce di quanto esposto nel progetto preliminare.

Nei prossimi capitoli verranno, quindi, esposti in dettaglio gli studi e le indagini svolte ed i risultati acquisiti elaborati e parametrati per permettere una conoscenza sufficientemente completa, sotto l'aspetto geotecnico, dei terreni interessati dalle opere previste in progetto.

Si procederà quindi ad una disamina delle varie problematiche geotecniche connesse con la realizzazione delle opere e verrà esposto l'approccio metodologico adottato per una corretta risposta alla ricerca delle soluzioni progettuali tecnicamente ed economicamente più idonee.

S'illustreranno, infine, i calcoli e le verifiche svolte evidenziando, nel contempo, le soluzioni progettuali conseguenti.

## 2 - IL PROGETTO, I LUOGHI, LE OPERE

### 2.1 - Lo studio di fattibilità

Prima di descrivere le opere previste col progetto che la presente relazione accompagna, inserite nel loro contesto geomorfologico, occorre fare una doverosa premessa.

Come già detto precedentemente l'Ente irriguo Umbro-Toscano aveva acquisito lo studio di fattibilità della nuova configurazione del sistema occidentale Montedoglio e anticipazione dell'adduzione primaria.

La necessità di provvedere alla redazione di un nuovo piano programmatico, in sostituzione delle previsioni del piano generale irriguo redatto nel 1964 dal Prof. Arredi, era infatti già stata indicata dal Consiglio Superiore dei lavori Pubblici nei considerata del voto di approvazione del progetto di 2° lotto della "Adduzione primaria della diga di Montedoglio alla Valdichiana".

Il progetto prevede l'adduzione a partire dalla fine del 2° lotto, che si attesta in destra idraulica del fosso Vingone in località Montecchio a sud dell'abitato di Castiglion Fiorentino.

L'adduzione, così come per il tratto terminale del 2° lotto, è prevista tramite una doppia tubazione in acciaio DN 2400 sino alla diramazione per la vasca 10.

A questo punto l'adduzione primaria si suddivide in due grosse linee di alimentazione:

- L'una ad ovest di maggiori dimensioni che si dirige inizialmente verso il Canale Maestro della Chiana per poi raggiungere in un continuo saliscendi lungo modesti rilievi collinari e fondovalli pianeggianti sia l'area senese che l'area a Sud-Ovest del Trasimeno;
- L'altra ad Est di dimensioni minori sino a raggiungere le zone irrigue a Nord del Trasimeno.

Il ramo Ovest, inizialmente dal diametro DN2200, dopo avere servito lungo il percorso le vasche 24 e 25 alimenta anche le vasche 26 e 37 con due diramazioni rispettivamente del DN600 e DN700. Giunto ad un partitore, nei pressi della vasca 38 si biforca proseguendo con un ramo verso ovest dove alimenta con diametri decrescenti dal DN800 al DN700 dapprima la vasca 39 ed in ultimo la vasca 40 nei pressi dell'abitato di Bettolle.

Il secondo ramo prosegue verso Sud con diametri dal DN1300 al DN1100 alimentando lungo il percorso le vasche 41, 42, 43 e con una diramazione del DN400 la vasca 45 poco a Nord dell'abitato di Pozzuolo.

L'adduttore prosegue infine con DN1000 sino ad alimentare la vasca esistente 44.

Il ramo Est, invece, corre parallelamente alla linea ferrata fino a raggiungere il lago Trasimeno in prossimità del quale si biforca proseguendo con un ramo ad Est sino a raggiungere le aree irrigue di Tuoro

e Passignano servendo lungo il tragitto le vasche dalla n° 11 alla n° 17, e con un altro ramo a Sud in direzione di Castiglion del Lago alimentando nel suo percorso le vasche 27 e 28.

Superato l'abitato di Castiglion del Lago l'adduttore del DN1600 devia ad Ovest per raggiungere un partitore da cui si Biforca alimentando lungo il percorso la vasca 29, la vasca 33 e con una diramazione DN700, la vasca 32.

Dalla vasca 33 è prevista una diramazione del DN600 che porta sino alla vasca 44 esistente chiudendo così l'anello tra il ramo Est e quello Ovest.

Lungo questo tratto è previsto un'impianto di sollevamento..

Sin qui le previsioni del progetto di fattibilità, posto a base dell'offerta per l'affidamento dell'incarico per la redazione del progetto definitivo e di 1° stralcio esecutivo.

Già in sede di stesura dell'offerta il gruppo di progettazione aveva effettuato un primo esame del progetto verificandone la fattibilità direttamente sui luoghi interessati dalle opere.

Sin da questo primo approccio si era potuto, in generale, evidenziare la fattibilità dei tracciati e l'attendibilità dell'ubicazione delle vasche.

Successivamente, ad affidamento avvenuto, sulla scorta anche dei rilievi esecutivi a seguito di una ripresa aerea appositamente eseguita, e di alcune valutazioni legate sia alla morfologia dei luoghi che a

considerazioni di utilizzazione irrigua, è stato deciso di operare alcune modifiche tendenti ad ottimizzare i tracciati delle condotte ed a razionalizzare le posizioni delle vasche di accumulo.

## **2.2 - I luoghi, il tracciato, le opere**

L'area in studio si sviluppa nella parte meridionale della Toscana e occidentale dell'Umbria a sud di Cortona, ed interessa la parte centrale e meridionale del bacino della Chiana, nel tratto compreso tra l'abitato di Montecchio a nord, l'abitato di Tuoro sul Trasimeno e il lago Trasimeno ad Est, l'abitato di Panicale a sud e il paese di Bettolle ad ovest.

La fascia centrale del comprensorio, localizzata a quote comprese tra 290 e 350 m s.l.m., è caratterizzata da una morfologia tipica della bassa collina, con versanti arrotondati e poco acclivi separati da valli trasversali ampie e poco incise; in tali zone insistono gli abitati di Montecchio, Cignano, Centoia, Farneta, Valiano, Pozzuolo, Gioiella.

La parte orientale dell'area è costituita da zone a morfologia collinare e montana, caratterizzate da versanti da poco a mediamente acclivi interrotti da incisioni di una serie di fossi e valloni con sviluppo NE-SW, i quali scaricano le loro portate nel T.Mucchia.

Il margine meridionale del comprensorio in studio presenta aree sub-pianeggianti siti a cavallo del T. Tresa, che procedendo verso sud assumono un andamento collinare con versanti poco acclivi ad anda-

mento arrotondato; tali versanti risalendo in direzione degli abitati di Paciano e Panicale si fanno più ripidi e a tratti scoscesi.

Sotto il profilo idrogeologico l'area in studio presenta un reticolo alquanto articolato e ben sviluppato; essa è delimitata ad occidente da sud verso nord dal canale Maestro della Chiana nel quale confluiscono dal versante orientale i corsi d'acqua provenienti dai rilievi collinari che interessano la fascia centrale dell'area in studio.

La parte centrale è attraversata da S-O a N-E dal canale del T. Mucchia, affluente di destra del canale Maestro della Chiana, nel quale confluiscono dal versante orientale i corsi d'acqua provenienti dai rilievi montuosi che la delimitano.

Si tratta di corsi d'acqua di tipo torrentizio a carattere stagionale, i cui alvei nella parte montana sono molto pendenti ed interessati da fenomeni di erosione di fondo mentre nella parte terminale che attraversa il fondovalle, sono incanalati e arginati artificialmente.

La parte centro-orientale e meridionale dell'area in studio è interessata da basse colline a morfologia arrotondata e vaste aree sub pianeggianti ed è caratterizzata fino poco a valle di Castiglion del Lago da una serie di impluvi a carattere stagionale che adducono le loro portate nel Lago Trasimeno.

La parte meridionale del comprensorio è attraversata dal canale del Torrente Tresa.

Bisogna, inoltre, segnalare che tutto il fondovalle della Val di Chiana è attraversato da una fitta maglia di canali di scolo e di drenaggio dei terreni, finalizzati alla raccolta e all'allontanamento delle acque che nei periodi piovosi tendono ad allagare ed impaludare le aree di fondovalle.

In relazione all'assetto morfologico dell'area ed alla presenza di numerosi centri e di rilevanti infrastrutture (linee ferroviarie, insediamenti industriali, Canale Maestro della Chiana, etc.) il tracciato delle condotte di adduzione è stato studiato e verificato in sito in modo da ridurre al minimo le interferenze tra le opere in progetto e le infrastrutture esistenti.

Il tracciato dell'adduttore principale ha origine dal partitore della Vasca 9 facente parte del progetto di II lotto.

Da questo tratto l'adduttore principale che è costituito da due tubi in acciaio affiancati, ciascuno del diametro DN 2400, si sviluppa in trincea per circa 1.6 Km con direzione NE-SO, fino alla derivazione del ramo per Sinalunga, in tale tratto interessa un'area sub-pianeggiante sita poco a valle della linea ferrata Firenze-Roma. Superata la deviazione per Sinalunga la condotta principale costituita da un tubo in acciaio del diametro DN 2200 prosegue poco a valle della linea ferrata Firenze-Roma attraversando il canale del T. Esse e del T. Mucchia fino all'altezza della Stazione di Terontola per circa 11 Km.

In questo tratto nella fascia collinare a monte è prevista la realizzazione di due vasche di compenso: la prima denominata vasca 10+11 è ubicata nel tratto iniziale a monte della SS71 ad una quota di circa 310 m s.l.m., la seconda, denominata vasca 12+13, è sita a sud-est di Cortona in località Villa Laura ad una quota di circa 320 m s.l.m.

La stessa nomenclatura adottata per queste vasche pone in risalto come valutazioni di carattere idraulico e/o irriguo abbiano portato il gruppo di progettazione ad operare un accorpamento delle singole vasche, previste nello studio di fattibilità.

Dal partitore sito a valle della stazione di Terontola un ramo della condotta si sviluppa con direzione O-E per raggiungere il sito della vasca 14+15 ad una quota di circa 325 m s.l.m. Superata l'altura di Poggio Vaccaro la condotta prosegue per circa 1.5 Km con direzione ONO-ESE, circa 200 m a monte della linea ferrata Terontola-Foligno sviluppandosi a mezza costa, impegnando un versante mediamente acclive a morfologia regolare; attraversato il raccordo Autostradale Bettolle-Perugia la condotta si porta verso valle, poco a monte della sponda del Lago Trasimeno e prosegue attraversando una stretta fascia di terreno compresa tra la ferrovia e il raccordo Autostradale fino a poco oltre la fermata ferroviaria di Tuoro, per poi proseguire, sottopassando la sede ferroviaria, fino all'impianto di sollevamento esistente.

E' proprio questo l'unico tratto che costituisce una variante sostanziale al tracciato riportato nello studio di fattibilità. Infatti, la previ-



sione progettuale era quella di alimentare con una condotta di diramazione del DN600, da un partitore sito in prossimità dello svincolo per il raccordo autostradale per Perugia, le vasche esistenti 16 e 17 in prossimità dell'abitato di Tuoro.

Oggi invece, col presente progetto, su precise indicazioni dell'Ente Irriguo con parere favorevole della Direzione Regionale Attività Produttive della Regione dell'Umbria, da un manufatto di diramazione sito poco dopo la stazione di Terontola si diparte una condotta del DN 1000 che alimenta dapprima la vasca 14+15 per poi proseguire con DN 700 non più verso le vasche esistenti 16 e 17, ma fino alla stazione di sollevamento Tuoro posta in fregio al lago Trasimeno.

Nei pressi del km 107 della SS n. 71 è prevista la costruzione di un partitore da cui ha origine una diramazione che conduce alle vasche 27 e 28, quest'ultima esistente.

Superato il partitore l'adduttore prosegue verso sud in direzione di Castiglion del Lago poco a monte della linea ferrata Roma-Firenze per poi, allontanandosi da questa e attraversando un'ampia area a morfologia sub-pianeggiante, raggiungere il partitore di località Frattapeccchia.

Dal partitore si originano due condotte la prima si sviluppa in direzione degli abitati di Panicale e Paciano e la seconda verso l'abitato di Gioiella.

Dallo stesso partitore si sviluppa, per circa 300 m, una condotta di diramazione fino alla località Poggio Gagiolo dove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 29.

La prima condotta prosegue interessando pendii poco acclivi a morfologia arrotondata, a tratti subpianeggianti interessati dall'incisione di un modesto impluvio, affluente di destra del Rio Pescia, fino alla Vasca esistente denominata vasca 30 che verrà alimentata dalla nuova condotta.

Superata tale vasca la condotta prosegue verso sud fino alla località Poggio del Sole ove è prevista la costruzione di un partitore. Dal partitore si origina una condotta di diramazione lunga circa 1 Km, che si sviluppa in direzione dell'abitato di Sanfatucchio dove in un'area, a valle del cimitero, è prevista la costruzione della vasca 31.

Tutta l'area interessata dalla condotta è caratterizzata da una morfologia collinare con versanti poco acclivi ad andamento arrotondato interessati dall'ampia vallata del Rio Maggiore che viene attraversato sia dalla condotta principale che da quella di diramazione alla vasca.

Superato il partitore di Poggio del Sole la condotta prosegue verso sud fino alla Vasca esistente denominata Vasca 34, che viene alimentata dalla nuova condotta, attraversando un'area a morfologia collinare con versanti da poco a mediamente acclivi interessati dalle

ampie vallate di due modesti impluvi affluenti di destra del Rio Maggiore.

Dalla Vasca 34 il tracciato della condotta prosegue in direzione dell'abitato di Panicale superando inizialmente l'ampia vallata del T. Tresa.

La valle a fondo piatto, delimitata da versanti poco acclivi ha una larghezza di circa 1300 m ed è interessata dai tracciati della linea ferroviaria Firenze-Roma, della strada statale Umbro-Casentinese e dai canali artificiali del Rio Maggiore, del T. Tresa e del fosso dello Angudima, superati con appositi manufatti. Il tracciato risale, quindi, interessando pendii poco acclivi a morfologia arrotondata, fino nei pressi dell'abitato di Panicale ove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 35+36 che nasce, appunto come dice il nome, dall'accorpamento delle due vasche omonime.

La seconda condotta, che si origina dal partitore di Poggio Gaggiolo, si sviluppa verso l'abitato di Gioiella parte lungo la sponda sinistra e parte lungo la sponda destra di un modesto fosso a carattere stagionale fino alla collina sulla cui sommità è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 33 alimentata mediante un impianto di sollevamento. La condotta prosegue poi fino all'altura di case le Campanelle ove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 44. Il tracciato della condotta interessa un'area a morfologia collinare caratterizzata da versanti da poco a mediamente acclivi a morfologia arrotondata.

Dalla stazione di sollevamento ubicata nei pressi della Vasca 33 ha origine una condotta di adduzione sino alla vasca 32 lunga circa 4.500 m che si sviluppa in direzione NE-SO fino all'abitato di Vaiano interessando un'area a morfologia da poco acclive a sub-pianeggiante.

Tornando alla condotta principale superata la dorsale, mediante l'esecuzione di una trivellazione orizzontale teleguidata, eseguita ad una quota di circa 320 m in modo da potere alimentare a gravità le vasche poste in destra del Canale Maestro della Chiana, la condotta prosegue fino all'altezza di case le Campanelle ove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 44. L'area attraversata dalla condotta presenta una morfologia collinare caratterizzata da versanti da poco a mediamente acclivi a morfologia arrotondata.

Il ramo dell'adduttore principale che si sviluppa, invece, in direzione di Sinalunga fino al canale del T. Mucchia attraversa un'area a morfologia sub-pianeggiante compresa tra le quote 247.80 e 256 m s.l.m.

Superato il canale la condotta prosegue per circa 3 Km risalendo il versante sinistro della valle fino alla località Cerreto ove è prevista la costruzione della Vasca 24 ad una quota di circa 300 m s.l.m. In questo tratto il tracciato interessa pendii poco acclivi a morfologia arrotondata che costituiscono il versante sinistro della valle del Torrente Mucchia. Superata la vasca 24 il tracciato della condotta prosegue

fino alla località Borgo Nuovo, ove è prevista la costruzione della vasca 25, attraversando un'area a morfologia collinare caratterizzata da pendii poco acclivi o tratti sub-pianeggiati.

Dalla vasca 25 la condotta prosegue verso sud per circa 1,5 Km fino al partitore posizionato nei pressi della località Ospizio.

Dal partitore ha origine una diramazione costituita da una condotta in acciaio DN 800 che si sviluppa inizialmente verso sud per poi alla fine risalire il versante sinistro fino alla località Pacazzino ove è prevista la realizzazione di una vasca denominata vasca 26+37 posizionata ad una quota di circa 320 m s.l.m.

Dal partitore sito in località Ospizio la condotta principale in acciaio DN 1600 prosegue con direzione prevalente NO-SE per circa 5 Km fino all'altura di Castellina ove è prevista la costruzione di un partitore e poco oltre di una vasca denominata vasca 38+39. In questo tratto la condotta attraversa un'area a morfologia collinare caratterizzata da un versante da poco a mediamente acclive a morfologia arrotondata.

Superato il partitore di località Castellina la condotta prosegue con direzione prevalente E-O ed attraversa l'ampia vallata a fondo piatto della Val di Chiana. In questo tratto, lungo complessivamente circa 5 Km, la condotta attraversa il canale Reglia della Chiana, il canale Maestro della Chiana, il canale allacciante sinistro e il canale del Torrente Foena Nuova, per poi proseguire, in direzione dell'abitato di

Bettolle dove, in corrispondenza della località Poggio Gabbiano, è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 40 posizionata ad una quota di circa 280 m s.l.m.

Dal partitore sito in località Castellina la condotta costituita da un tubo in acciaio DN 1300 prosegue con direzioni prevalenti NNO-SSE fino alla vasca 41 per circa 5 Km attraversando un'area a morfologia collinare caratterizzata da versanti da poco a mediamente acclivi a morfologia regolare.

Oltrepassata la vasca 41 la condotta DN 1200 prosegue per circa 2900 m. verso sud fino alla località Podere Oppieta, dove è localizzato un partitore. In questo tratto la condotta interessa inizialmente pendii da poco a mediamente acclivi fino al fondo valle della Reglia di Valiano e superato l'impluvio, prosegue lungo il fondovalle fino al partitore interessando terreni sub-pianeggianti.

Dal partitore si origina una condotta lunga circa 500 m che risale il versante, secondo la linea di massima pendenza fino alla località Podere Macchia ove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 42+43 sita ad una quota di circa 300 m s.l.m

La condotta principale, dal partitore di località Oppieta prosegue lungo il fondovalle per circa 2,5 Km interessando un'area sub-pianeggiante fino al partitore da cui ha origine una condotta DN 400 lunga circa 2,8 Km che risale, seguendo il tracciato di una strada esistente, fino poco a nord dell'abitato di Pozzuolo, dove è prevista la costruzione di una vasca denominata vasca 45. In questo tratto è

prevista la realizzazione di un impianto di sollevamento. La condotta, che si sviluppa a monte della strada, interessa pendii da poco a mediamente acclivi a morfologia arrotondata.

### **3 - SVILUPPO E RISULTATI DELLE INDAGINI**

#### **3.1 - Premesse**

Nel seguito si illustrano lo sviluppo ed i risultati di una campagna di indagini geognostiche, in sito ed in laboratorio, programmata ed eseguita inizialmente sulla base del tracciato e dell'ubicazione delle opere previste nello studio di fattibilità, e sulla base di riscontri diretti e del rilevamento geologico di primo approccio effettuato nel corso di diversi sopralluoghi.

Man mano che la progettazione andava avanti e veniva affinato ed ottimizzato il progetto di fattibilità, si è provveduto ad adeguare le indagini in sito.

Nella planimetria 1:25.000 delle tavole 3.2.1 e 3.2.2 è riportato il tracciato, quello previsto col presente progetto, con l'ubicazione dei sondaggi eseguiti.

Nel seguito si riferirà sull'interpretazione della successione stratigrafica dei terreni e la loro caratterizzazione geotecnica, mentre per i dettagli sull'inquadramento generale e la classificazione geologica si rimanda allo studio specifico.

#### **3.2 - Sviluppo delle indagini in sito**

Sulla base di dati d'indagine già disponibili, degli indirizzi progettuali e dei primi risultati del rilievo geologico di superficie, è stata programmata, unitamente al Consulente Geologo, una campagna di



indagini in sito di verifica. La ubicazione e la tipologia delle indagini è stata, a volte, condizionata dalla possibilità di accesso ai luoghi. La ubicazione di tutte le indagini in sito eseguite è indicata nelle già citate Tavole 3.2.1 e 3.2.2.

In particolare, sono stati eseguiti complessivamente n° 79 sondaggi meccanici a carotaggio continuo ubicati in corrispondenza delle vasche e degli attraversamenti più importanti e lungo il tracciato delle condotte. I sondaggi sono stati eseguiti dalla Ditta SICILSONDE s.n.c. di Palermo.

I sondaggi in corrispondenza delle vasche sono stati spinti sino alla profondità di 15 m, mentre quelli lungo il tracciato delle condotte, hanno raggiunto una profondità variabile tra 5 m e 10 m in dipendenza del diametro della condotta e quindi dell'altezza dello scavo.

Il sondaggio S04 è stato spinto fino alla profondità di m 30 per esplorare i terreni interessati dall'attraversamento in galleria, nelle vicinanze di Gioiella, realizzato con la tecnica della trivellazione orizzontale teleguidata.

Complessivamente sono stati prelevati 147 campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

Infine, nel nuovo sito della vasca 14+15, in corrispondenza di una cava abbandonata, oltre al sondaggio meccanico è stata effettuata un'indagine sismica mediante l'esecuzione di n° 4 profili sismici.

In 14 sondaggi eseguiti lungo il tracciato delle condotte e che ri-

cadevano in aree di fondovalle in presenza di un reticolo idrografico di un certo impegno, sono stati installati piezometri a tubo aperto per il rilievo della falda idrica; i dati così acquisiti sono stati integrati con una serie di notizie acquisite sui pozzi presenti lungo il tracciato.

I profili stratigrafici dei sondaggi eseguiti nel corso della presente campagna di indagine sono riportati nella Tav. 3.3. Per quanto attiene alle indagini sismiche si rinvia allo studio geologico.

### **3.3 - Risultati delle indagini in sito**

I risultati delle indagini, integrati con gli elementi di dettaglio del rilevamento geologico, hanno consentito di accertare che l'area in studio, comprendente il fondovalle dell'ampia Valdichiana ed il versante orientale fino ai laghi di Chiusi e Montepulciano, nel tratto tra Cortona ed il lago Trasimeno, è caratterizzata dalla presenza:

- di depositi fluvio-lacustri del Pleistocene inf. e del Pleistocene sup.;
- di depositi alluvionali recenti ed attuali;

mentre risalendo lungo il versante orientale affiorano le arenarie quarzose feldspatiche dell'Unità Falterona-Cervarola.

Nel seguito si illustrano, dal punto di vista geotecnico e per gli aspetti di carattere generale, i risultati delle indagini in sito, rinviando allo studio geologico per gli aspetti descrittivi di dettaglio dei singoli siti indagati.

### 3.3.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali

Dal punto di vista geotecnico sono stati trattati unitariamente i terreni che, dal punto di vista geologico, sono stati suddivisi in:

- depositi fluvio-lacustri della Chiana del Pleistocene inferiore [fl], che si rinvencono in affioramento lungo il versante orientale della Val di Chiana, dove costituiscono la fascia pedemontana che borda i terreni dell'Unità Cervarola-Falterona, in destra del Canale Maestro della Chiana, lungo le dolci alture collinari che separano il Canale Maestro dal T. Mucchia, dal fosso Paganico, etc., su cui sono ubicati i paesi di Montecchio, Farneta, Petria, Centona, Cignano, Valiano, Pozzuolo, Gioiella, Sanfaticchio.
- depositi fluvio-lacustri della Chiana del Pleistocene superiore [f] che affiorano, prevalentemente, in destra idrografica del T. Mucchia;
- depositi alluvionali recenti ed attuali [al], presenti in affioramento nelle zone di fondovalle poste a quota inferiore a 250 m incise dal Canale Maestro, dal T. Mucchia, dal T. Tresa e lungo i fossi e i canali secondari.

Si tratta di depositi granulometricamente eterogenei costituiti di limi argillosi [L], limi sabbiosi [LS], limi con sabbia [LCS], sabbie limose [SL], talora sabbie limose e ghiaiose [SLG]; gli elementi di ghiaia, generalmente di natura arenacea, hanno forma tondeggianti e spigoli arrotondati. Il contenuto naturale d'acqua di tali terreni è, generalmente, superiore o poco superiore al limite di plasticità. Tali terreni si presentano in alternanza frequente ed irregolare lungo tutte le verti-

cali esplorate. Il colore varia dal giallo, al giallo-grigiastro al bruno-giallastro.

Localmente sono presenti lenti di ghiaia a spigoli arrotondati di origine alluvionale e di colmata, livelli torbosi e limi palustri.

Complessivamente appare prevalente la frazione limoso-sabbiosa. La composizione granulometrica lungo una stessa verticale, evidenziata anche dalle analisi su campioni indisturbati dello stesso sondaggio, confermano l'estrema alternanza delle variazioni litologiche dei depositi in oggetto, evidenziando, peraltro, che non è possibile individuare una prevalenza areale di uno di essi.

Per quanto concerne le indicazioni sulla falda eventualmente presente nelle zone pianeggianti del fondovalle va fatta una prima considerazione.

Le perforazioni eseguite nelle aree di fondovalle coi sondaggi meccanici non hanno evidenziato la presenza di una vera e propria falda confermando così la situazione idrogeologica di tutta la Val di Chiana che è quella di un acquifero profondo (20÷50 m) con piezometrica posta ad una quota di circa 5,00 metri dal piano campagna.

Al di sopra è presente un pacco alluvionale costituito, come già detto, da alternanze casuali di limi sabbiosi e/o sabbie limose imbibiti d'acqua, saturi, e dotati mediamente di bassi valori della permeabilità.

Le misure piezometriche effettuate nella prima decade di Ottobre ed i cui valori sono riportati nella Tabella I di seguito, testimoniano

come i terreni limo-sabbiosi siano in condizioni di saturazione anche dopo una stagione fortemente siccitosa.

Del resto, gli stessi elementi raccolti con le perforazioni dei sondaggi, hanno evidenziato la presenza d'acqua nei livelli e nelle lenti sabbio-ghiaiose.

Quanto sopra, evidentemente, non vale per tutti quei tratti di condotta che non interessano i fondovalle.

Un discorso a parte va fatto, invece, per quella parte di condotta che porta all'impianto di sollevamento di Tuoro sul lago Trasimeno, dove le quote topografiche non sono dissimili da quelle del lago.

<b>Piezometri</b>	<b>Lettura m. dal p.c.</b>
S 4	4,70
S 8	5,70
S 12	Vuoto
S 32	6,30
S 42	4,10
S 75	3,10
S 74	3,20
S 55	7,50
S 63	6,70
S 62	2,80
S 61	3,60
S 73	3,65
S 01	1,30
S 02	2,30

Tab. I – Misure Piezometriche (Ottobre 2001)

I sondaggi eseguiti lungo questa parte del tracciato, contrassegnati con le sigle S01 ed S02, hanno evidenziato la presenza di un pacco alluvionale più spiccatamente sabbioso passante ad un limo argilloso intorno ai 6 metri.

La lettura ai piezometri installati hanno confermato, qualora ce ne fosse stato bisogno, la presenza di una falda prossima al piano campagna.

### 3.3.2 - L'Unità Cervarola-Falterona [AC]

Le arenarie e le siltiti della Unità Cervarola-Falterona sono stati rinvenuti in affioramento lungo tutto il margine orientale collinare e montuoso dell'area in studio e costituiscono i rilievi di M. Lignano, M. Camurcina e M. Castel d'Ernia.

I terreni pertinenti a tale unità appartengono ad una sequenza torbida caratterizzata da prevalenti arenarie grossolane denominate Arenarie di M. Falterona, passanti verso l'alto con gradualità ad un'altra formazione torbida, denominata Arenarie di M. Cervarola, caratterizzata da strati arenaceo siltitici sottili con abbondante porzione siltoso-marnosa.

La realizzazione di una parte delle opere in progetto quali alcune vasche e tratti delle condotte di adduzione alle stesse interessa direttamente i terreni della Formazione Cervarola.

La roccia, ben stratificata, è costituita di sabbie mediamente cementate, a grana fina e media, di colore grigio e grigio scuro [ACr],

in strati di spessore variabile tra 30 e 50 cm, talora gli strati raggiungono spessori anche superiore al metro; tra i singoli banchi sono interposti sottili livelli argillitici, consistenti, di spessore centimetrici; le arenarie si alternano a siltiti e siltiti marnose [ACs], di colore grigio e grigio scuro, in strati centimetrici e decimetrici, anch'esse con interposti sottili livelli argillitici. L'ammasso roccioso si presenta variamente fratturato, fagliato e giuntato, con discontinuità variamente orientate ed inclinate che presentano patine di ossidazione colore ocra lungo le superfici; la spaziatura fra le discontinuità è generalmente dell'ordine di alcuni decimetri. Spesso le superficie di discontinuità sono ricementate da calcite secondaria.

Le arenarie e le siltiti tendono ad assumere in superficie un colore giallastro ed ocra per alterazione.

Inoltre, tali rocce, esposte agli agenti atmosferici, si alterano rapidamente e tendono a desquamare superficialmente per effetto del gelo [gelività] originando una coltre superficiale sabbioso-ghiaiosa di spessore variabile.

L'ammasso roccioso è caratterizzato da piani di giacitura aventi immersione variabile da zona a zona; le pendenze di tali piani sono generalmente comprese tra i 30° ed i 50°, ma in alcuni casi si presentano praticamente sub-orizzontali.

Nel corso delle indagini che hanno interessato tali terreni non sono mai stati rinvenuti livelli idrici all'interno dell'ammasso roccioso, ma non è da escludere la presenza di locali fenomeni di percolazione al

tetto dei livelli argillitici e nelle zone di faglia segnalate lungo il percorso della galleria.

Le caratteristiche strutturali dell'ammasso [frequenti alternanze di strati e livelli di caratteristiche meccaniche diverse, presenza di superfici di strato inclinate rispetto alla direzione di perforazione, superfici di fratturazione] hanno significativamente influenzato le percentuali di carotaggio nonché il valore calcolato del parametro R.Q.D. [Rock Quality Designation]. Tale parametro è stato valutato prossimo al 30% ma si ritiene che non caratterizzi del tutto correttamente l'ammasso roccioso a struttura complessa

### 3.3.3 - Il detrito di falda [dt]

Tali terreni, costituiti di frammenti e blocchi di natura arenacea e siltitica con sabbia e sabbia limosa di colore bruno; si rinvennero nelle zone pedemontane alla base dei versanti rocciosi. Nel corso dei sondaggi, tali depositi sono stati rinvenuti soltanto in modesti spessori.

## 3.4 - Indagini di laboratorio

Al fine di pervenire al riconoscimento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei principali litotipi interessati alla realizzazione delle opere, è stato sviluppato un ampio programma di prove geotecniche di laboratorio. I risultati ottenuti sono raccolti in dettaglio nell'elaborato, suddiviso nelle Tavole 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, predisposto dal laboratorio METRO s.r.l. di Palermo.



Su n° 101 campioni rappresentativi dei litotipi a grana fina prelevati nel corso dei sondaggi [depositi fluvio-lacustri della Chiana del Pleistocene inf. e sup., depositi alluvionali recenti ed attuali] sono state eseguite indagini di laboratorio finalizzate al riconoscimento delle caratteristiche fisiche e meccaniche; in particolare sono state eseguite:

- prove di identificazione
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
  - determinazione della composizione granulometrica;
  - determinazione dei limiti di consistenza;
  - determinazione del peso specifico dei grani;
  - determinazione del peso dell'unità di volume;
- prove di resistenza meccanica
  - prove di rottura per taglio diretto del tipo consolidato drenato;
  - prove di compressione a dilatazione trasversale impedita [edometriche].

Poi, su n° 4 campioni di arenaria sono state eseguite prove di rottura per compressione uniassiale.

Nel seguito è illustrata sinteticamente l'elaborazione dell'insieme dei risultati delle prove eseguite.

#### 3.4.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali L, LS

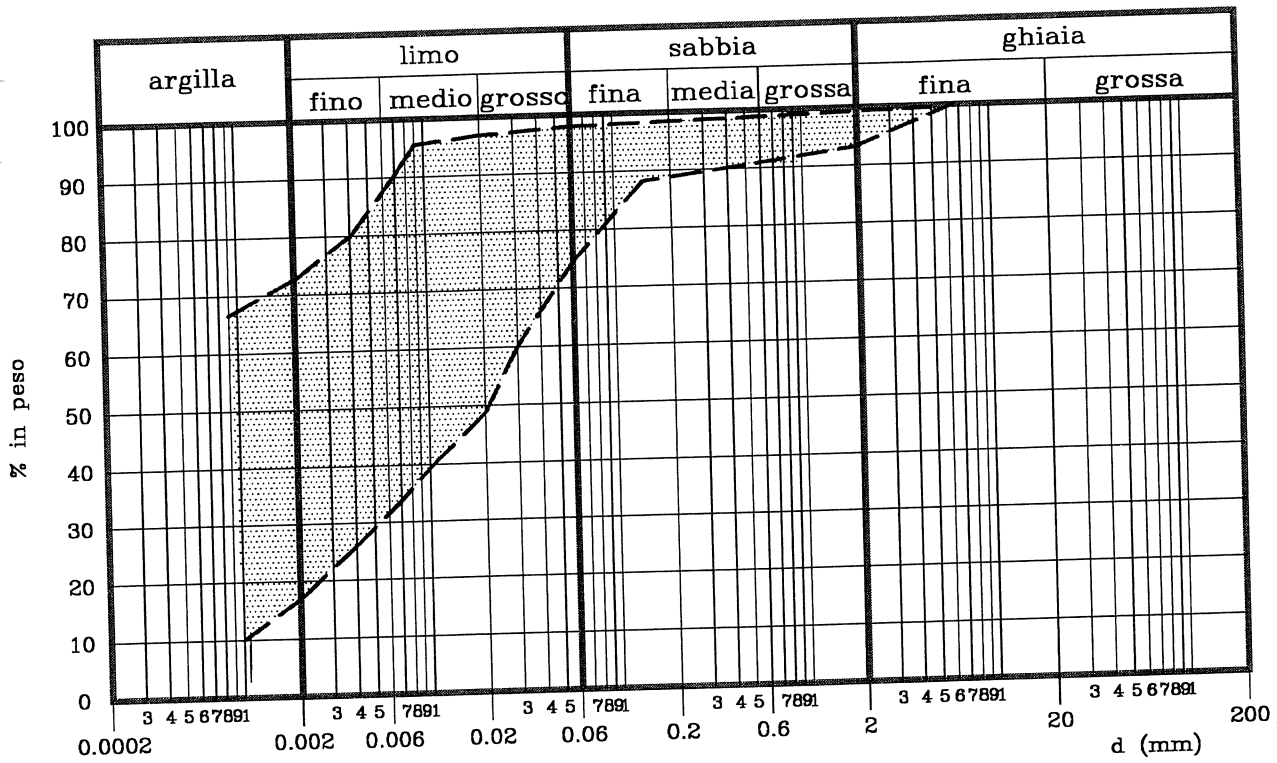
Sotto tale sigle sono stati raggruppati i campioni rappresentativi della parte a grana più fina di tali depositi; essi costituiscono la stragrande maggioranza dei campioni prelevati; dal punto di vista granu-

lometrico sono costituiti di: argilla con limo sabbiosa o debolmente sabbiosa, limo con argilla sabbiosa o debolmente sabbiosa, limo sabbioso argilloso; a volte è presente una modestissima frazione di ghiaia fina; in fig 3.1 (a) è riportato il fuso granulometrico schematico relativo ai campioni in esame; in cui non sono stati inseriti tre campioni (S28 m 2.30÷2.80, S49 m 10.00÷10.50, S65 m 2.50÷2.80 granulometricamente classificabili come argille limose) ritenuto poco rappresentativi del deposito in questione. Il contenuto naturale d'acqua [ $w_n$ ] medio dei campioni è risultato pari al 23%, con un campo di variabilità compreso fra 13% (S54 m 3.00÷3.50) e 37% (S43 m 5.50÷6.00). La plasticità è media o alta, l'attività è praticamente nulla [fig. 3.1 (b)]; l'indice di consistenza è mediamente poco inferiore all'unità. Il peso dell'unità di volume [ $\gamma$ ] varia in un ristretto campo mediamente prossimo a 20 kN/mc;. La porosità [ $n$ ] varia in un campo compreso tra 0.34 e 0.42 con un valore medio pari a 0.39; solo un campione (S43 m 5.50 – 6.00) presenta un valore nettamente più elevato (0.49) dovuto probabilmente a disturbi di campionamento. Il grado di saturazione [ $S$ ] è risultato molto prossimo all'unità. Nella Tab. II sono raccolti i principali parametri fisici ottenuti.

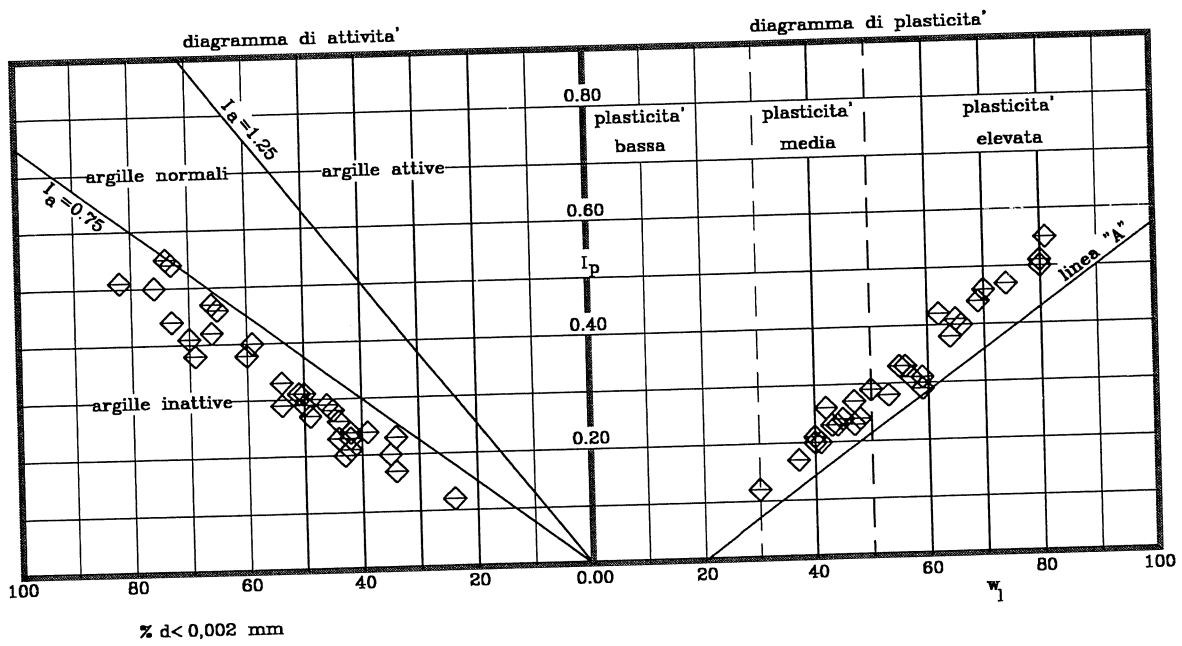
Nel grafico di fig. 3.2 (a) dove sono riportati in uno i risultati delle prove di rottura per taglio diretto del tipo consolidato drenato, adottando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, sono indicati le rette limiti, per il campo dei valori sperimentali, inferiore e superiore e quella operando la regressione lineare dei dati; dal loro esame si evince

Sigla	$\gamma$ [kN/mc]	w	w <sub>l</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	n	S
L/LS	min	0,13	0,30	0,16	0,15	0,56	0,34	0,76
	med	0,23	0,55	0,24	0,33	0,94	0,39	0,95
	max	0,37	0,81	0,30	0,55	1,16	0,49	1,00
LCS/	min	0,17	0,26	0,15	0,09	0,45	0,34	0,46
LSG/	med	0,20	0,27	0,16	0,11	0,70	0,38	0,77
SCL/	max	0,21	0,31	0,17	0,14	1,00	0,42	0,91
SL								

Tab. II - Depositi fluvio-lacustri e alluvionali - Valori dei parametri fisici

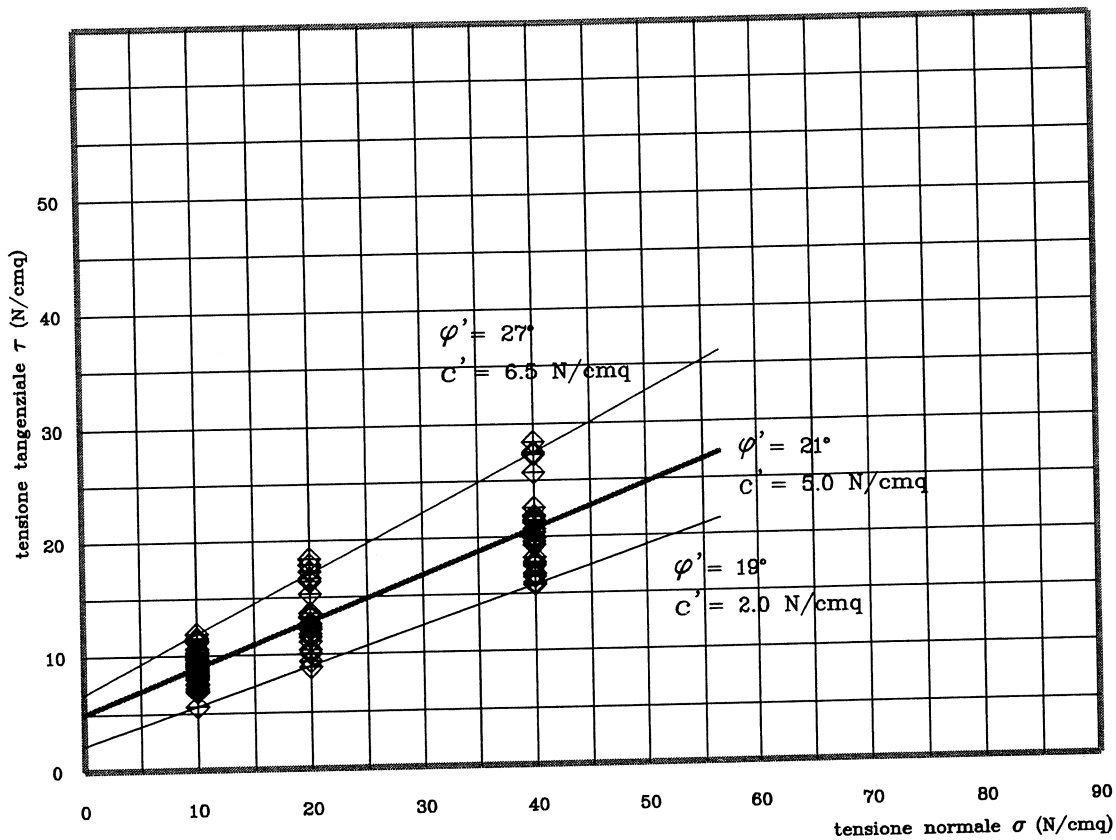


a) Composizione granulometrica

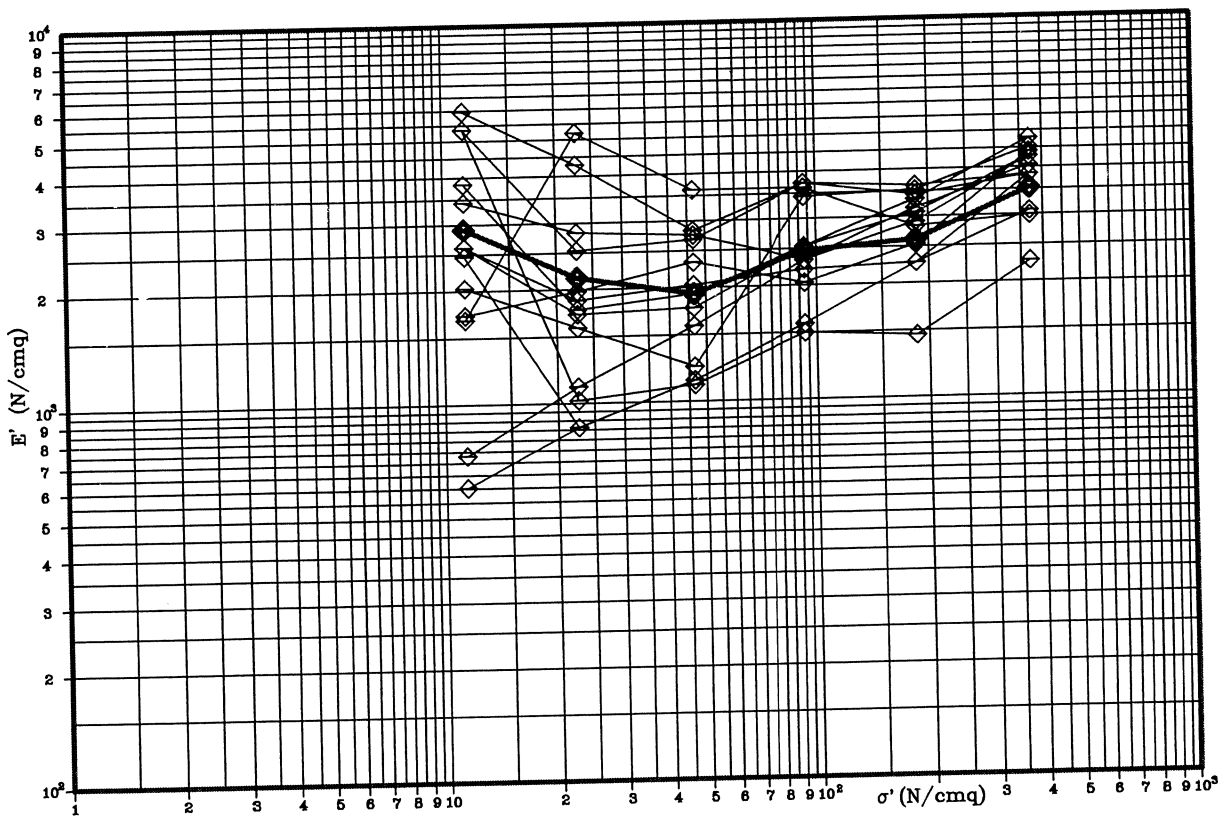


b) Carte di attività e plasticità

Fig. 3.1 - Depositi fluvio lacustri e alluvioni tipo L, LS  
Elaborazioni grafica dei risultati delle prove di laboratorio



a) Prove di rottura per taglio diretto consolidato drenato



b) Prove di compressione edometrica

Fig. 3.2 - Depositi fluvio lacustri e alluvioni tipo L, LS  
 Elaborazioni grafica dei risultati delle prove di laboratorio

che il deposito in esame, in termini di tensioni effettive, i parametri di resistenza al taglio assumono i seguenti valori:

$$c' = 2,0 \div 6,5 \text{ N/cm}^2 \qquad \varphi' = 19 \div 27^\circ$$

e valori per la retta limite interpolata di

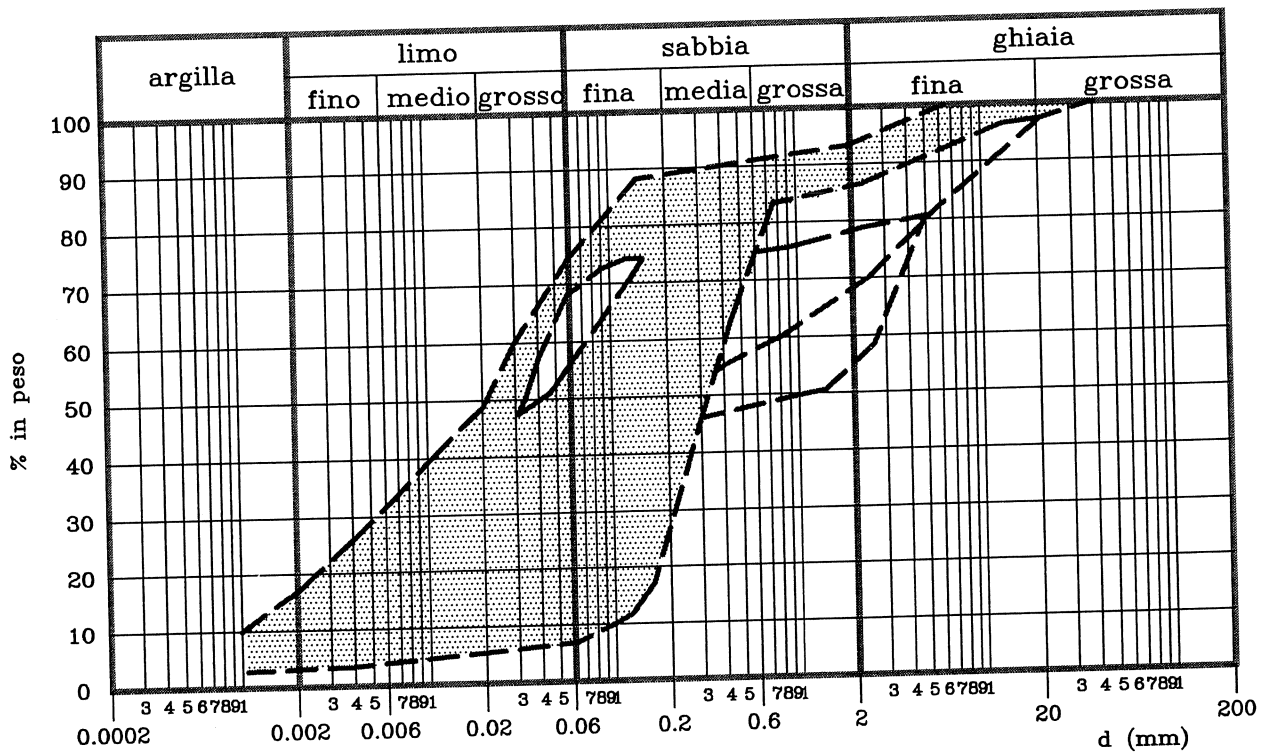
$$c' \cong 5,0 \text{ N/cm}^2 \qquad \varphi' \cong 21^\circ$$

Nella fig. 3.2 (b) sono riportati i valori del modulo edometrico  $[E']$ , in funzione della pressione normale effettiva  $[\sigma']$ , calcolati sulla base dei risultati di dodici prove di compressione a dilatazione trasversale impedita. Nello stesso grafico è riportata la curva ottenuta considerando i valori mediati del modulo edometrico in funzione di  $[\sigma']$ .

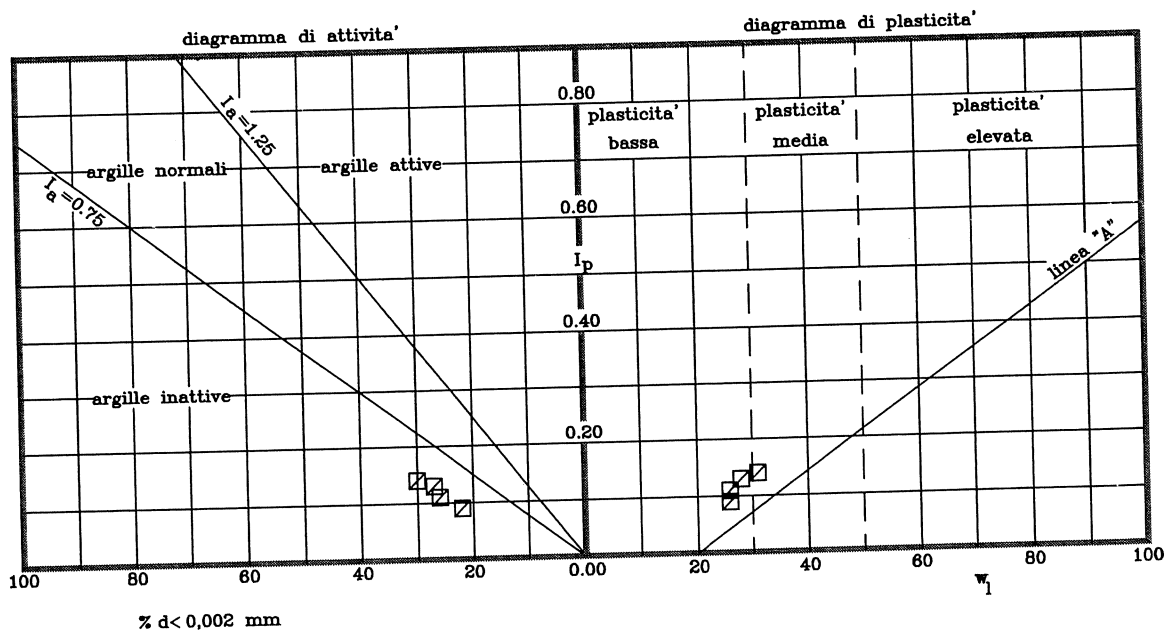
Sulla scorta di tali prove la permeabilità  $k$  dei terreni è compresa in un campo variabile da  $1.1 \cdot 10^{-8}$  a  $1.9 \cdot 10^{-9}$  cm/sec..

### 3.4.2 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali LCS, LSG, SCL, SL

Sotto tali sigle sono stati raggruppati i campioni rappresentativi dei terreni di tali depositi a grana fina con una significativa frazione sabbiosa; dal punto di vista granulometrico sono costituiti di limo con sabbia argilloso, sabbia con limo o limosa e/o argillosa; a volte è presente una modesta frazione ghiaiosa. Solo un campione (S42 m 3.00÷3.50 m) presenta una significativa frazione ghiaiosa. In fig. 3.3 (a) è rappresentato il fuso granulometrico schematico relativo ai campioni in esame con esclusione del campione indicato in precedenza. Il



a) Composizione granulometrica



b) Carte di attivita' e plasticita'

Fig. 3.3 - Depositi fluvio lacustri e alluvioni tipo LSC, LSG, SCL, SL  
Elaborazioni grafica dei risultati delle prove di laboratorio

contenuto naturale d'acqua medio  $[w_n]$  dei campioni risulta pari al 20% circa, con un campo di variabilità compreso fra 17% e 21%. La plasticità è bassa e l'attività è nulla [fig. 3.3 (b)]; l'indice di consistenza per i campioni per i quali è stato possibile determinarlo varia tra 0.45 e 1. Il peso dell'unità di volume  $[\gamma]$  varia in un campo compreso tra 17.8 e 20.5 kN/mc. La porosità  $[n]$  varia tra 0,34 e 0,42 con un valore medio pari a 0.38. Il grado di saturazione  $[S]$  è risultato compreso tra 0.46 e 0.91. Nella innanzi citata Tab. II sono raccolti i principali parametri fisici ottenuti.

Dall'esame dei risultati delle prove di rottura per taglio diretto del tipo consolidato drenato eseguite si evince che al terreno in esame, in termini di tensioni effettive, possono essere attribuiti i seguenti parametri [fig. 3.4 (a)] mediati:

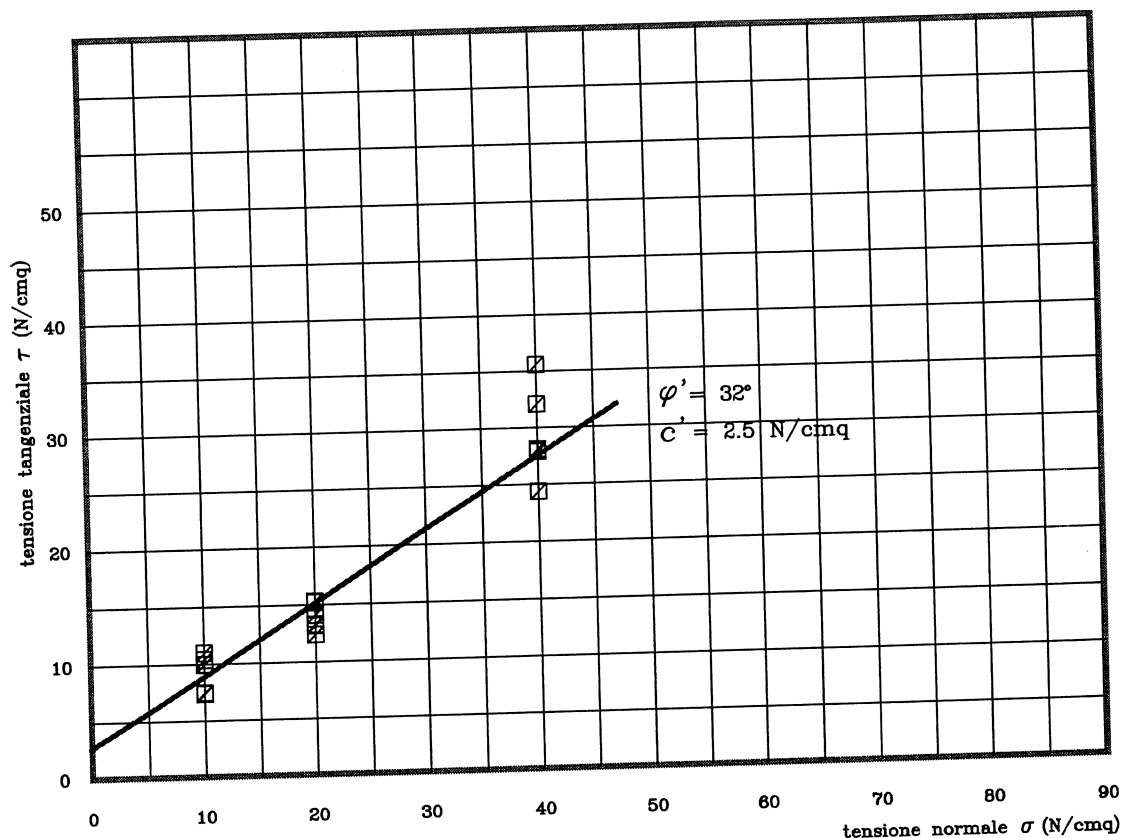
$$c' \cong 2,5 \text{ N/cm}^2 \quad \varphi' \cong 32^\circ$$

Nella fig. 3.4 (b) sono riportati i valori del modulo edometrico  $[E']$ , in funzione della pressione normale effettiva  $[\sigma']$ , calcolati sulla base dei risultati di tre prove di compressione a dilatazione trasversale impedita. Nello stesso grafico è riportata la curva prendendo in esame i valori mediati del modulo edometrico in funzione di  $[\sigma']$ .

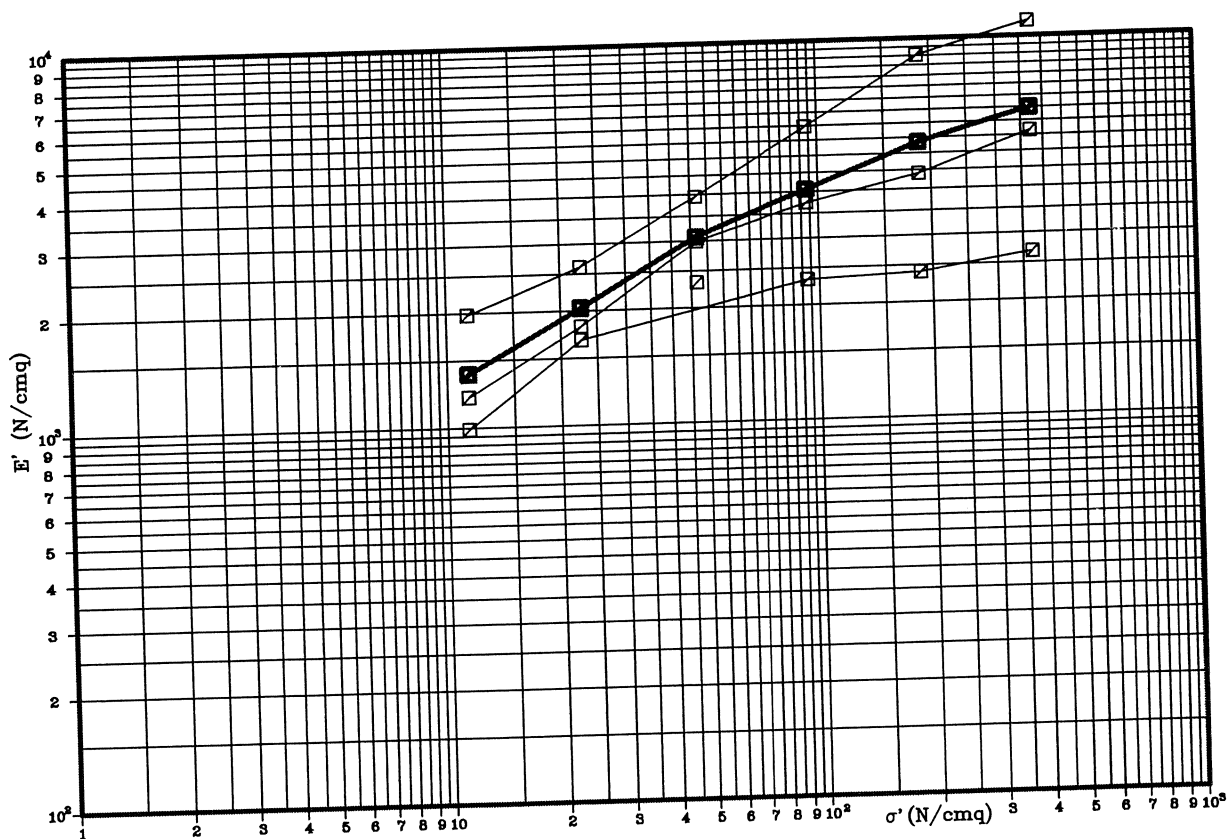
### 3.4.3 - L'Unità Cervarola-Falterona

Come è stato illustrato nel cap. 3.3.2, i terreni dell'Unità Cervarola-Falterona presentano struttura complessa essendo costituiti di





a) Prove di rottura per taglio diretto consolidato drenato



b) Prove di compressione edometrica

Fig. 3.4 - Depositi fluvio lacustri e alluvioni tipo LCS, LSG, SCL, SL  
 Elaborazioni grafica dei risultati delle prove di laboratorio

alternanze di livelli e banchi di arenarie e siltiti con sottili livelli di argilliti. Tale circostanza non ha consentito il prelievo di campioni dei sottili livelli argillitici. Le prove di laboratorio sono state condotte solo su elementi di roccia arenacea [Acr] presi dalle carote estratte nel corso delle perforazioni.

Nella Tab. III sono raccolti i risultati delle prove di rottura per compressione uniassiale ed i valori del peso dell'unità di volume calcolati. Come può rilevarsi il peso dell'unità di volume è prossimo a 26.0 kN/mc; fa eccezione il campione S1 m 10.8÷11.0 per il quale è risultato un valore leggermente inferiore (23.5 kN/mc). I valori ottenuti ricadono nei pressi del limite inferiore dell'usuale campo di variabilità di tali tipi di rocce che possono quindi classificarsi fra le rocce lapidee tenere.

Sigla		$\gamma$ [kN/mc]	Rc [N/mm <sup>2</sup> ]
Acs	S1 m 6.30÷6.50	26,1	36,3
Acs	S1 m 10.50 (a)	26,0	60.8
Acs	S1 m 10.50 (b)	25.9	62.0
Acs	S1 m 10.50÷11.00	23,5	43.8

Tab. III - Unità Cervarola-Falterona  
Risultati delle prove di rottura per compressione uniassiale

## **4 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

### **4.1 - I depositi fluvio-lacustri e alluvionali**

Ai fini della verifica delle soluzioni progettuali adottate assumono rilievo i parametri di resistenza a taglio in condizioni drenate, i parametri di deformabilità e quelli relativi alla permeabilità.

I parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e di deformabilità hanno rilevanza nell'ambito delle verifiche di stabilità delle pareti degli scavi di particolare profondità. Si osserva che le dimensioni degli scavi delle trincee per la posa delle condotte di grande diametro, hanno indotto a fare riferimento ai parametri in condizioni drenate, in considerazione della durata, certamente notevole, delle fasi esecutive di scavo, posa in opera dei tronchi di tubazione e ritombamento finale.

Analogamente, i medesimi i parametri assumono rilevanza nei confronti delle verifiche di stabilità delle opere di fondazione delle strutture di quelle vasche che interessano tali depositi.

Come illustrato nel paragrafo 3.3.1 i depositi fluvio-lacustri e alluvionali risultano costituiti da alternanze, frequenti e irregolari, di terreni granulometricamente eterogenei; si hanno, in particolare, argille con limo, limo con argilla sabbiosi o debolmente sabbiosi, limi sabbiosi, limi con sabbia, sabbie limose, a volte ghiaiose, lenti di ghiaia; nell'insieme appare prevalere la frazione limo sabbiosa, praticamente satura, particolarmente nei periodi ad alta piovosità, anche a modesta

profondità dal piano campagna. Ai fini della verifica delle soluzioni progettuali adottate è, quindi, apparso significativo caratterizzare unitariamente l'intero deposito mediandone le caratteristiche di interesse.

Sulla base dell'insieme dei risultati delle prove di identificazione, esposti nel capitolo precedente, si è ritenuto di assegnare un valore del peso dell'unità di volume  $[\gamma]$  pari a 20 kN/mc e un peso immerso dell'unità di volume  $[\gamma']$  pari a 10 kN/mc.

Per quanto attiene i parametri di resistenza a taglio in condizione drenate, sulla base della interpretazione dei punti sperimentali delle prove di rottura per taglio diretto, si è ritenuto di caratterizzare tali depositi assumendo, a vantaggio di sicurezza, un valore di coesione più basso di quello ottenuto con l'interpolazione lineare adottando i seguenti parametri:

$$c' = 3.0 \text{ N/cm}^2 \qquad \phi' = 21^\circ.$$

Per il modulo elastico  $[E]$  dei depositi fluvio-lacustri e alluvionali, nel campo tensionale di interesse, si può assumere un valore pari a 400 N/cm<sup>2</sup>, corrispondenti, cautelativamente, ai valori più bassi ottenuti dalle risultanze delle prove edometriche.

Il coefficiente di permeabilità può porsi pari a  $1 \cdot 10^{-7}$  cm/sec per i depositi a grana fina, ed un valore pari a  $1 \cdot 10^{-2}$  cm/sec, in presenza di livelli ghiaioso-sabbiosi.

#### **4.2 - L'Unità Cervarola-Falterona**

La caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere è stata elaborata sulla base sia dei risultati delle indagini in sito e in laboratorio che dei risultati ottenuti durante lo studio geotecnico per la progettazione esecutiva del II° lotto curato dallo scrivente; essa è finalizzata alla verifica delle condizioni di stabilità delle scarpate per la realizzazione delle vasche e delle relative opere.

In fig. 4.1 sono riportati i risultati delle prove di rottura per taglio diretto, fatte nel precedente studio, su elementi di roccia della formazione in esame; tali prove sono state eseguite lungo superfici di discontinuità preesistenti, lungo superfici artificialmente predisposte a bassa scabrezza e su elementi di roccia integra mentre in tab. IV sono riportati i risultati relativi alle prove di rottura per compressione.

L'Unità Cervarola-Falterona, costituita di livelli arenacei e siltitici, in strati di spessore dell'ordine del decimetro fino al metro, alternati a sottili livelli argillitici a consistenza marnosa, presenta, generalmente, un significativo grado di fratturazione dovuto agli stress tettonici subiti. La frequenza e l'orientamento delle superfici di discontinuità, tettoniche e sedimentarie, appare variabile da zona a zona. Nei tratti meno interessati da fenomeni di stress tettonico la roccia presenta, prevalentemente, una stratificazione variamente inclinata dovuta alla presenza delle alternanze di termini litologici diversi, innanzi illustrata, con superfici di discontinuità, di natura tettonica, abbastanza distanziate che suddividono l'ammasso in blocchi delle dimensioni di qualche

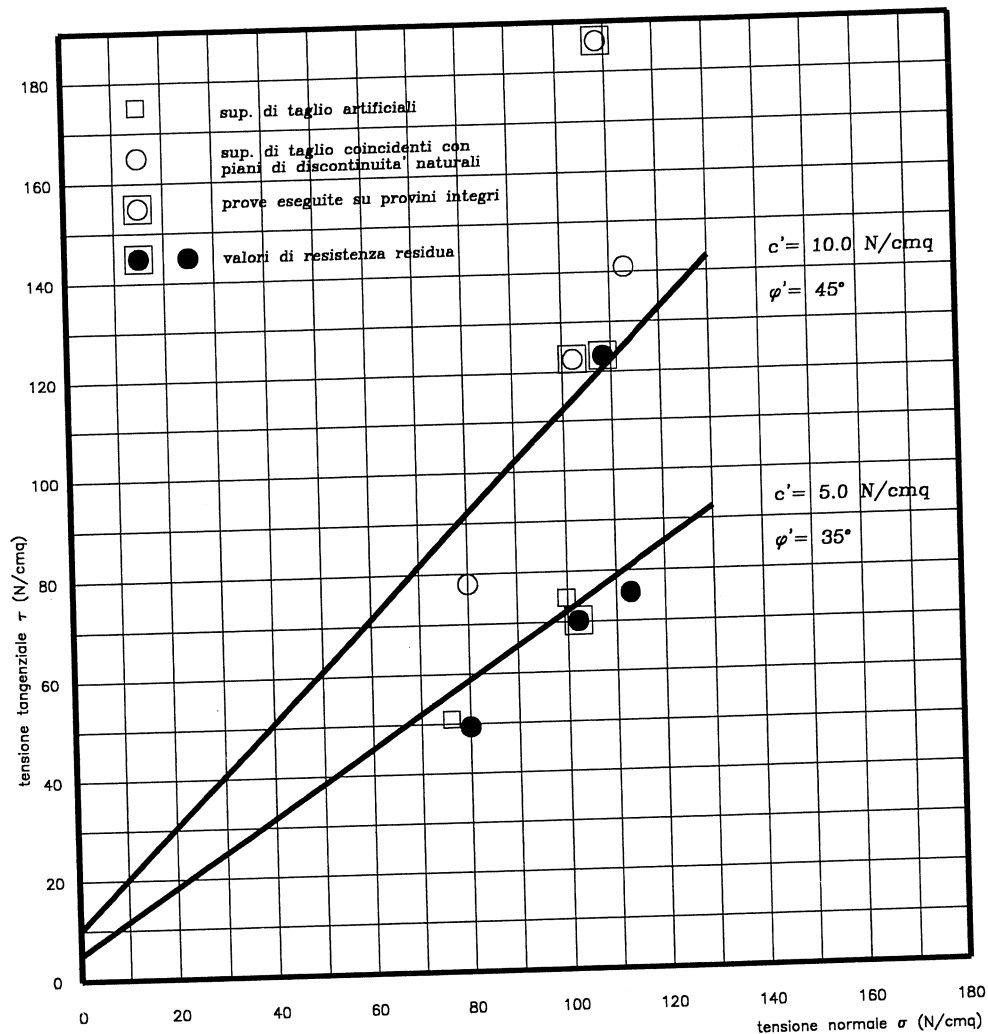


Fig. 4.1 – Unità arenacea Cervarola – Falterona  
 Risultati delle prove di rottura per taglio diretto  
 (tratto dalla studio geotecnico Il lotto)

Sigla		$\gamma$ [kN/mc]	Rc [N/mm <sup>2</sup> ]
	min	25,2	27,0
Acs	med	26,3	40,1
	max	26,9	50,5
	min	26,3	48,0
Acr	med	26,6	83,2
	max	26,9	133,5

Tab. IV - Unità Cervarola-Falterona  
Risultati delle prove di rottura per compressione uniassiale

metro.

Sulla base dei dati disponibili è stata effettuata la classificazione dei terreni interessati con riferimento ai principali criteri riportati nella specifica letteratura tecnica, prendendo separatamente in considerazione i livelli di roccia intensamente tettonizzati e quelli di roccia più massiva in cui sono presenti, prevalentemente, giunti di stratificazione con fratture, dovute al tettonismo, più distanziate.

In particolare sono stati presi in esame i criteri proposti da Bieniawski [noto come **RMR System**], da Rabcewicz-Pacher e da Terzaghi.

Il metodo proposto da Bieniawski si basa sui seguenti sei parametri:

- a] resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- b] coefficiente R.Q.D. [Rock Quality Designation];
- c] spaziatura delle discontinuità;
- d] condizione delle discontinuità;
- e] situazione idraulica al contorno;
- f] orientazione delle discontinuità.

A ciascun parametro viene assegnato un valore crescente con la qualità della roccia, la somma dei singoli valori costituisce il coefficiente **RMR**.

Per i tratti di roccia intensamente tettonizzati assumendo una resistenza a compressione dell'ordine di 60 N/mm<sup>2</sup>, un coefficiente



R.Q.D. minore del 25%, una spaziatura delle discontinuità, variamente orientate, dell'ordine del decimetro, la presenza di superfici di discontinuità scabre, si ottiene un valore un valore del coefficiente **RMR** pari a 11, cui corrisponde una roccia di qualità molto scadente [classe V].

Per i tratti di roccia più massiva, procedendo analogamente, ed ipotizzando un coefficiente R.Q.D. prossimo al 30%, una spaziatura delle discontinuità, variamente orientate, dell'ordine del metro, la presenza di superfici di discontinuità scabre, si ottiene un valore un valore del coefficiente **RMR** pari a 42, cui corrisponde una roccia di qualità discreta [classe III-IV]. Sulla base di tale classificazione si possono attribuire i seguenti parametri convenzionali:

classe III-IV	$c' = 15 \text{ N/cm}^2$	$\varphi' = 30^\circ - 45^\circ$
classe V	$c' = 5 \text{ N/cm}^2$	$\varphi' = 30^\circ - 35^\circ$

Il metodo proposto da Rabcewicz-Pacher si basa su una sintesi delle esperienze maturate dagli autori nell'applicazione del nuovo metodo austriaco. Sulla base di tale criterio i due tipi di roccia presi in esame possono essere assimilati, rispettivamente alle classi IV [Roccia alterata, fagliata] e II [Roccia stratificata e leggermente fratturata].

Infine, si è presa in considerazione la classificazione proposta da Terzaghi. Tale metodo si basa sulla descrizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso. Nel caso in esame, i tratti di roccia intensamente fessurata possono essere assimilati ad una "roccia intensamente

suddivisa in blocchi disgiunti con le discontinuità comunque orientate, strette o aperte, vuote o riempite di materiale proveniente dalla alterazione della roccia stessa" [classe V]; infine i tratti di roccia più massiva possono essere assimilati alla classe IV, che comprende rocce dure stratificate moderatamente fratturate caratterizzate però dalla presenza di sottili livelli di argilliti compatte [shale].

Sulla base della classe di appartenenza della roccia lo stesso Terzaghi fornisce un campo di valori dell'angolo di attrito interno [ $\phi'$ ]; si ha in particolare:

classe IV	$\phi' = 30^\circ - 45^\circ$
classe V	$\phi' = 30^\circ - 35^\circ$

Da quanto innanzi illustrato, si evince che i criteri di classificazione adottati conducono a risultati sostanzialmente concordanti in merito alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso inteso, nel suo complesso, come un terreno omogeneo. I parametri di resistenza a taglio medi indicati dai vari metodi per la roccia più massiva, penalizzati rispetto a quelli di un analogo ammasso roccioso integro per tenere conto della presenza delle discontinuità e delle loro caratteristiche, possono essere, cautelativamente, posti pari a:

$$c' = 5.0 \text{ N/cm}^2 \qquad \phi' = 35^\circ$$

Tali valori (v. fig. 4.1 già citata) appaiono in accordo con quelli stimati sulla base dei risultati delle prove di rottura per taglio diretto

eseguite lungo le superfici di discontinuità, in condizioni prossime a quelle residue, e sono significativamente inferiori a quelli relativi alla resistenza di picco [ $c' = 10.0 \text{ N/cm}^2$ ,  $\varphi' = 45^\circ$ ]. L'orientazione di tali superfici, nell'ammasso roccioso in situ, è risultata abbastanza variabile e ancor più variabile è risultato, anche per una medesima opera, il rapporto fra i fronti di scavo e gli angoli di immersione ed azimuth che caratterizzano le discontinuità stesse. Tale considerazione ha indotto a ritenere poco significativo, ai fini dei calcoli di verifica in merito ai quali si riferirà nel cap. 6, schematizzare l'ammasso come un mezzo discontinuo, caratterizzato dalla presenza di piani di stratificazione la cui orientazione rispetto al fronte di scavo variava notevolmente. Alla luce di quanto innanzi esposto, ai fini dei calcoli di verifica nei quali i meccanismi di rottura riguardano l'ammasso roccioso nel suo complesso, si è ritenuto opportuno schematizzare l'ammasso stesso come un mezzo omogeneo caratterizzato dai seguenti valori dei parametri di resistenza a taglio:

$$c' = 5.0 \text{ N/cm}^2$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

Per il modulo elastico si può assumere un valore pari a 300.000 N/cm<sup>2</sup> per la roccia integra e pari a 100.000 N/cm<sup>2</sup>, per le zone di faglia.

Nei casi che i fenomeni di rottura possano svilupparsi lungo superfici ad andamento piano coincidenti con i livelli di argilliti, si è fatto

riferimento a parametri relativi a queste ultime, cautelativamente stimati in assenza di determinazione diretta. In questo caso si è posto:

$$c' = 3.0 \text{ N/cm}^2 \qquad \varphi' = 22^\circ$$

Il peso dell'unità di volume  $[\gamma]$  è stato posto in tutti i casi pari a 25 kN/mc.

#### **4.3 - I materiali da costruzione**

I materiali da costruzione che si prevede di impiegare servono per eseguire il rinterro delle condotte, per la realizzazione del rinterro a tergo delle vasche e per la formazione dei rilevati di mascheramento delle stesse.

Si prevede, in generale, di adoperare il materiale proveniente dagli scavi principalmente per la considerazione esposta in altra parte della relazione in merito all'assenza di cave di prestito nel circondario, tenuto anche conto dell'effettiva possibilità di riutilizzo di tale materiale, anche se con particolari accorgimenti, in dipendenza del loro impiego.

Per le condotte si cercherà di utilizzare la parte più sabbiosa dei materiali provenienti dagli scavi nella zona di avvolgimento dei tubi.

Per le caratteristiche meccaniche del materiale di rinterro si può assumere, alla luce anche delle esperienze acquisite per la progettazione esecutiva del 2° lotto, i seguenti parametri:

peso dell'unità di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/mc}$
coesione	$c' = 0 \text{ N/cm}^2$

angolo di attrito

$$\varphi' = 24^\circ$$

modulo di elasticità

$$E = 400 \text{ N/cm}^2$$

Per il rinterro da operare per quei tratti di condotta che interessano i terreni arenacei, potrà essere utilizzato il materiale proveniente dagli scavi con la sola accortezza di evitare ove presente la pezzatura più grossolana.

Per quanto concerne il rinterro da operare a tergo delle vasche bisognerà distinguere i casi in cui la realizzazione delle stesse avverrà nei terreni arenacei o nei terreni limo-sabbiosi:

- a) nel primo caso potrà essere utilizzato tranquillamente il materiale proveniente dagli scavi, opportunamente costipato con la sola accortezza di evitare di adoperare, ove presente, la frazione più grossolana;
- b) nel secondo caso, invece, attesa la natura limo-sabbiosa del materiale proveniente dagli scavi e tenuto conto delle scadenti caratteristiche meccaniche e di permeabilità, occorrerà migliorarne tali caratteristiche interponendo nel corpo del rinterro strati di materiale arido.

Per quanto attiene, infine, i rilevati di mascheramento da adottare per alcune vasche, potranno essere utilizzati senza particolari accorgimenti i materiali arenacei per quelle opere che ricadono nell'unità

carmelo carruba ingegnere

Cervarola-Falterona, mentre negli altri casi, potranno essere utilizzati i materiali limo-sabbiosi, adottando la tecnica della “terra rinforzata”.

## **5 - PROBLEMATICHE GEOTECNICHE E SOLUZIONI PROGETTUALI**

Nel presente capitolo si illustrano le problematiche geotecniche connesse con la realizzazione delle singole opere, l'approccio geotecnico utilizzato, le metodologie operative [verifiche e calcoli] seguite e le scelte progettuali derivanti in modo da avere una visione complessiva, rimandando all'allegato Tav. 3.5 il dettaglio sui risultati dei calcoli svolti.

### **5.1 - Le condotte**

L'adduttore principale è costituito inizialmente da una doppia tubazione del Ø 2400 mm che corre, a partire dalla fine del 2° lotto, in prossimità del fosso Vingone nei pressi dell'abitato di Montecchio, sino alla diramazione per la vasca 10+11.

In progetto la realizzazione dell'adduttore è prevista in tempi diversi. Con lo stralcio funzionale esecutivo si procederà alla realizzazione di una delle due condotte, poi, successivamente alla posa in opera della seconda condotta.

Da qui l'adduttore si biforca dirigendosi da una parte, ad Ovest, con diametri via via decrescenti dal DN 2200 al DN 1000; dall'altra verso Est con diametri passanti dal DN 2200 al DN 800.

Lungo il tracciato degli adduttori principali, sono previste una serie di diramazioni secondarie di vario diametro per addurre l'acqua alle

vasche di compenso, ubicate lungo i versanti in sinistra della Val di Chiana.

In generale le problematiche geotecniche legate alla posa in opera di una tubazione sono, essenzialmente, due:

- a - la stabilità dello scavo;
- b - il tipo di materiale di rinterro.

Esse assumono particolare rilievo nella posa in opera di tubazioni di grosso diametro quali quella dell'adduttore principale e quelli dei rami di alimentazione primaria dove si realizzano le maggiori sezioni di scavo.

Una volta stabilita la possibile geometria della sezione tipo, sulla base degli ingombri della tubazione e degli spazi tecnologicamente compatibili con l'impiego di idonei mezzi costipanti, la verifica geotecnica viene condotta per la ricerca della configurazione stabile delle scarpate di scavo tenendo conto, soprattutto, delle condizioni al contorno che possono influire significativamente sulla stabilità dello scavo, quali la presenza o meno della falda e quella a bordo scavo di mezzi operativi per la posa delle tubazioni.

Per quanto riguarda il primo punto (a), come già detto in altra sede della relazione e come in dettaglio illustrato nella relazione geologica, la schematizzazione della situazione idrogeologica, che contraddistingue tutta la Val di Chiana e quindi la maggior parte del tracciato



delle condotte, è quella di un acquifero profondo [20÷50 metri] con piezometrica posta ad una quota media dal p.c. pari a circa 5,00 metri.

Al di sopra è presente un pacco di alluvioni fini, limi sabbiosi e/o sabbie limose in alternanze casuali saturi e dotati mediamente di bassi valori della permeabilità [ $K \leq 10^{-7}$  cm/sec].

Bisognerà, comunque, prevedere che a scavo avvenuto si possa instaurare un fenomeno di filtrazione regolato dalla profondità dello scavo che si comporta come un grosso drenaggio.

Le misure effettuate ai piezometri installati vanno intese in tal senso anche se la presenza localizzata di lenti sabbio/ghiaiose, tra loro non correlabili in seno all'ammasso alluvionale, contribuisce ad esaltare tale possibilità.

In ogni caso, va tuttavia osservato, che le misure eseguite sono certamente influenzate da un lungo periodo di siccità precedente e che è quindi da attendersi un livello di falda più alto a seguito di una stagione invernale "normale".

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, sono stati condotti calcoli di verifica per l'esame della stabilità delle trincee di scavo in funzione delle condizioni al contorno (falda a p.c. e sovraccarico a ciglio scavo).

In base ai risultati dei calcoli, sono state scelte tre sezioni tipo di scavo. Una nel caso in cui i terreni interessati sono quelli dell'Unità Cervarola Falterona per la quale è stata adottata una pendenza della scarpata pari a 3/2 per altezza di scavo sino ad un massimo di 5 metri.

Le altre due sezioni tipo riguardano, invece, i terreni limo-sabbiosi interessati dalla stragrande maggioranza del tracciato delle condotte.

La discriminante tra queste due sezioni è stata l'altezza di scavo per cui per altezza di scavo  $h_s \leq 3$  m si è adottata una scarpata delle pareti di scavo 3/2 mentre per altezze di scavo  $3 \text{ m} < h_s \leq 5$  m la pendenza è stata pari a 1/1.

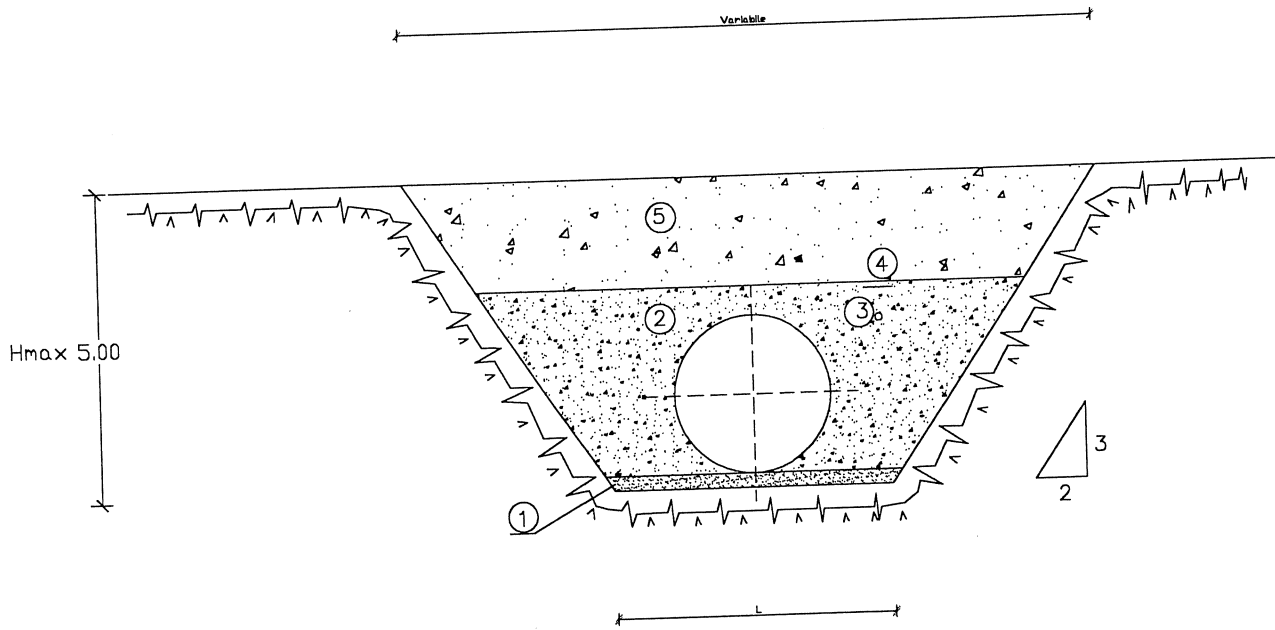
Nelle figg. 5.1, 5.2, 5.3 si riportano le sezioni tipo adottate nei vari casi, rimandando all'apposito elaborato della Tav. 3.5 per i calcoli geotecnici di verifica svolti.

Per quanto concerne la scelta del materiale da impiegare [(punto (b)] per il rinterro delle condotte, si è valutato idoneo l'utilizzo del materiale proveniente dallo scavo alla luce delle seguenti considerazioni.

La situazione idrogeologica illustrata in precedenza con particolare riguardo alla condizione di saturazione propria dei terreni interessati dallo scavo, ha comportato una riflessione sugli effetti che l'impiego, anche parziale, di materiale drenante avrebbe potuto comportare nei riguardi del mezzo circostante.

Certamente si sarebbe verificata la condizione ipotizzata a seguito dello scavo e cioè l'instaurarsi di un moto di filtrazione, assimilando così, il complesso tubazione/materiale, da rinterro ad un grosso dreno.

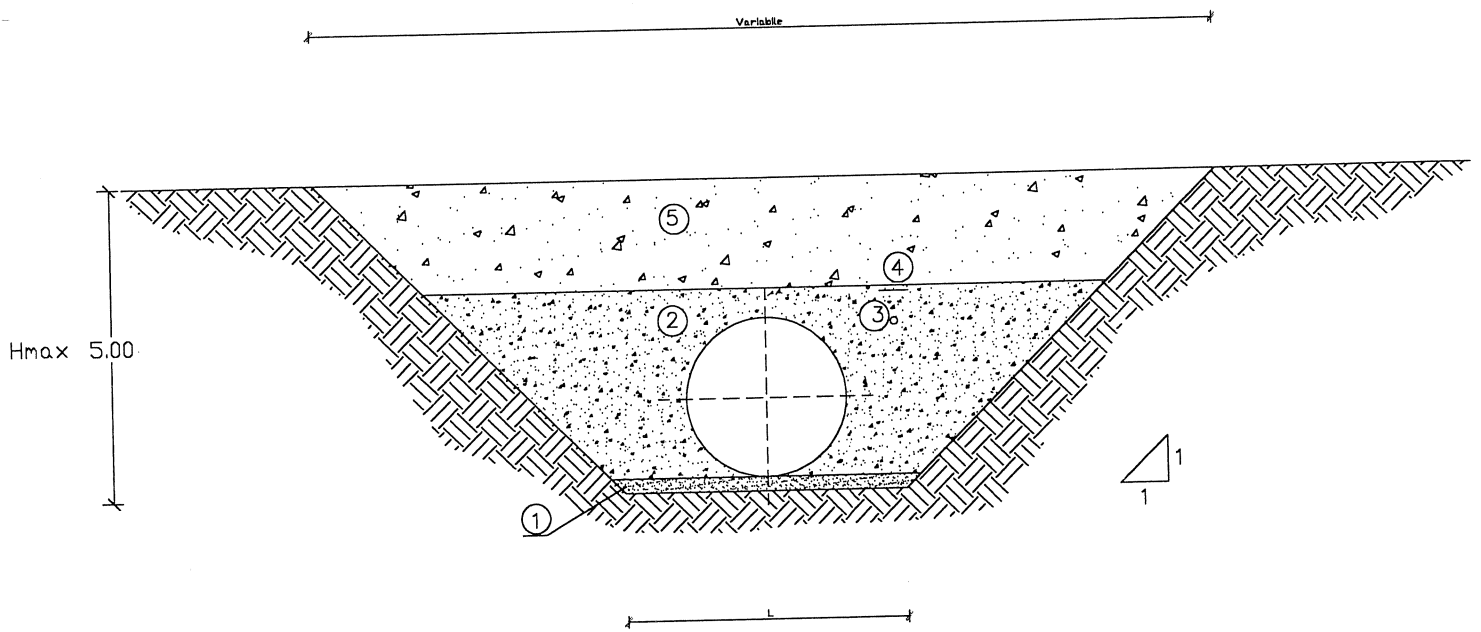
La filosofia che in ultimo ha guidato le scelte operate, atteso che



### LEGENDA

- 1 - Letto di posa con materiale sciolto proveniente dagli scavi a matrice prevalentemente sabbiosa
- 2 - Rinterro con materiale selezionato proveniente dagli scavi a granulometria prevalentemente sabbiosa costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità' di volume  $\gamma_s \geq 1.85 \text{ t/m}^3$
- 3 - Cavo corazzato per trasmissione dati da 20 coppie
- 4 - Rete identificativa di sottoservizi  $l=0.40 \text{ m}$
- 5 - Rinterro con materiale proveniente dagli scavi costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità' di volume  $\gamma_s \geq 1.85 \text{ t/m}^3$

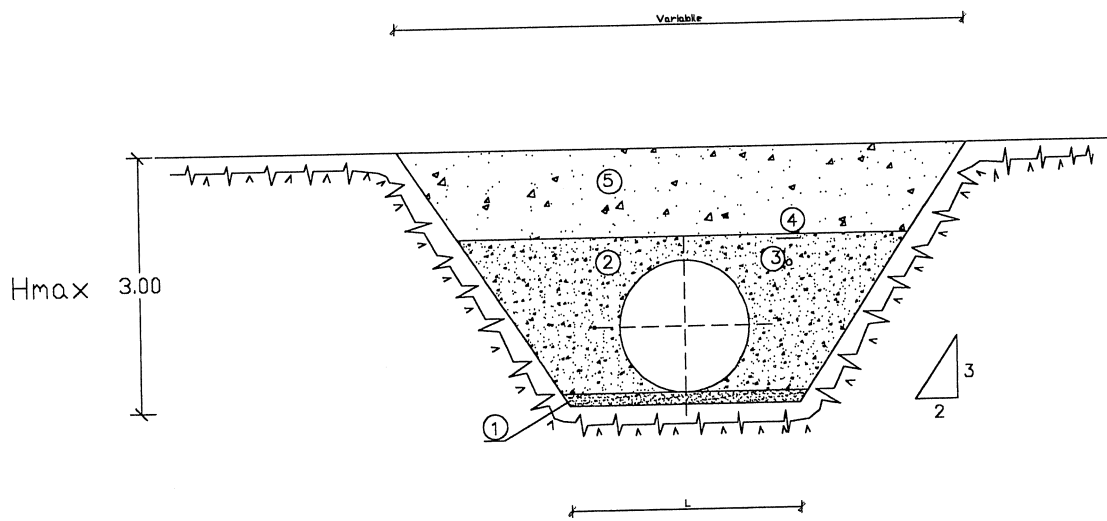
Fig. 5.1 Sezione tipo di posa nelle arenarie



### LEGENDA

- 1 - Letto di posa con materiale sciolto proveniente dagli scavi a matrice prevalentemente sabbiosa
- 2 - Rinterro con materiale proveniente dagli scavi a matrice prevalentemente sabbiosa costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità di volume  $\gamma_d \geq 1.65 \text{ t/m}^3$
- 3 - Cavo corazzato per trasmissione dati da 20 coppie
- 4 - Rete identificativa di sottoservizi  $l=0.40 \text{ m}$
- 5 - Rinterro con materiale proveniente dagli scavi costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità di volume  $\gamma_d \geq 1.65 \text{ t/m}^3$

Fig. 5.2 Sezione tipo di posa nei depositi fluvio - lacustri e alluvionali



### LEGENDA

- 1 - Letto di posa con materiale sciolto proveniente dagli scavi a matrice prevalentemente sabbiosa
- 2 - Rinterro con materiale selezionato proveniente dagli scavi a granulometria prevalentemente sabbiosa costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità' di volume  $\gamma \geq 1.85 \text{ t/m}^3$
- 3 - Cavo corazzato per trasmissione dati da 20 coppie
- 4 - Rete identificativa di sottoservizi  $l=0.40 \text{ m}$
- 5 - Rinterro con materiale proveniente dagli scavi costipato fino a raggiungere un peso secco dell'unità' di volume  $\gamma \geq 1.85 \text{ t/m}^3$

Fig. 5.3 Sezione tipo di posa nei depositi fluvio - lacustri e alluvionali

sotto l'aspetto granulometrico il materiale proveniente dagli scavi è da ritenere idoneo, è stata quella di ricostruire lo status-quo.

Per quanto riguarda il materiale da utilizzare per il rinterro dello scavo nei casi in cui, questo, interessi terreni arenaceo-siltosi, il che si verifica solo per le diramazioni secondarie che raggiungono le vasche di compenso ubicate lungo il versante sinistro della Val di Chiana a monte della SS.71 e per il tratto che si sviluppa a monte della strada ferrata Terontola-Foligno prima di raggiungere la stazione di sollevamento Tuoro sul Trasimeno, è certamente utilizzabile il materiale proveniente dagli scavi.

Occorrerà tuttavia, tenuto conto che il materiale scavato potrà contenere un'elevata percentuale di frazione grossolana, prevedere una vagliatura ed un'eventuale frantumazione in modo da imporre delle soglie di accettazione:

- $d_{\max} \leq 20 \text{ mm}$ ;
- $\% d = 0,06 \text{ mm} \leq 20\%$ .

Il materiale andrà adeguatamente costipato sino a raggiungere un valore della densità almeno pari a  $\gamma_d = 1,85 \text{ t/mc}$ .

Particolare attenzione va posta, poi, alle problematiche connesse con la posa in opera della seconda tubazione dell'adduttore principale, in fase successiva alla realizzazione della prima.

In questa circostanza, l'apertura degli scavi fino al raggiungi-

mento del piano di posa deve essere fatta in modo da:

- poter posizionare la condotta, per ragioni costruttive di impianto, il più vicino possibile alla esistente;
- non arrecare eccessivo disturbo ai terreni di rinterro della tubazione esistente con rischio di apportare danni alla stessa;
- eseguire le operazioni di scavo in sicurezza.

A tal fine la soluzione adottata è quella di realizzare preliminarmente all'apertura degli scavi, una paratia con palancole metalliche infisse nel terreno, posta in vicinanza alla condotta esistente in modo tale che il profilo di scavo, dal lato di quest'ultima, sia confinato dalle palancole.

Per ridurre l'altezza dello scavo è prevista la realizzazione di un prescavo di un metro lungo tutta la fascia occupata dalle due condotte.

Dalla parte opposta lo scavo verrà eseguito, come già indicato in precedenza, con profiltura della scarpata con pendenza 1/1.

Nell'eseguire il rinterro dovrà essere posta particolare cura al costipamento del terreno compreso tra le palancole e la condotta. Dovrà, pertanto, essere posta a non meno di 1,50 m dalla palancola, per consentire l'impiego di idonei mezzi meccanici di costipamento. Si procederà, poi, alla rimozione delle palancole con la massima cautela ripristinando la continuità nel terreno.

dotta che porta all'impianto di sollevamento esistente in fregio al lago Trasimeno.

Le quote topografiche di questo tratto risultano essere praticamente dello stesso ordine di grandezza di quelle del lago e risulta quindi alquanto intuitivo che per questo tratto di condotta le problematiche geotecniche, inerenti all'esecuzione dello scavo per il raggiungimento del piano di posa sono legate alla natura dei terreni e alla presenza della falda.

Le apposite indagini in sito eseguite hanno, infatti, posto in luce la presenza per i primi 6 m di depositi lacustri sabbio-limosi, a prevalenza sabbiosa, soffici, in presenza di una falda già a quella data prossima al piano di campagna.

La soluzione proposta è anche in questo caso quella di operare gli scavi in presenza di palancole metalliche.

Una siffatta metodologia, nella fattispecie, consente di operare con scavi a pareti verticali, velocizzando le singole operazioni lavorative tenuto anche conto della facilità d'infissione delle palancole metalliche, attesa la natura dei terreni interessati, adottando il metodo della vibrazione.

## **5.2 - Le vasche**

Le vasche di compenso previste lungo il tracciato degli adduttori sono complessivamente in numero di 18.

Sulla scorta del rilevamento geologico effettuato, supportato e



confortato dall'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in ogni sito delle vasche, può farsi una prima netta differenziazione.

Le vasche ubicate a monte della SS:71 interessano i terreni dell'Unità geologica Cervarola-Falterona, già descritta in precedenza, così come la vasca 35+36 ubicata nella parte più meridionale del tracciato in vicinanza dell'abitato di Panicale. Le restanti vasche interessano i depositi fluvio-lacustri e alluvionali ed i depositi alluvionali recenti attuali costituiti prevalentemente da limi sabbiosi o con sabbia.

Le problematiche geotecniche connesse con la realizzazione delle opere sono essenzialmente tre e riguardano:

- a - la stabilità degli scavi;
- b - la stabilità dei rilevati;
- c - la verifica al carico limite della fondazione dei pannelli prefabbricati.

Per quanto concerne le vasche ricadenti nella formazione arenaceo-siltosa è stata presa in considerazione la stabilità degli scavi in due diverse configurazioni corrispondenti a due diverse fasi di lavorazione:

- 1 - esecuzione dello scavo sino alla quota prevista per il piano di sedime della vasca (Fase provvisoria);
- 2 - esecuzione della vasca e ritombamento a tergo dei muri (Fase definitiva).

Le verifiche di stabilità sono state condotte ipotizzando piani di scivolamento paralleli ai piani di stratificazione secondo la giacitura e la pendenza indicata nelle sezioni geologiche.

Per il caso 1, che rappresenta una configurazione temporanea, non si è tenuto conto delle azioni sismiche di cui invece si è tenuto conto nello schema 2 che rappresenta la configurazione definitiva.

Le verifiche condotte hanno confermato la possibilità per tutte le vasche di gradonare il pendio a monte sagomando le scarpate con pendenza a  $45^\circ$ .

Per quanto attiene la stabilità nei confronti del carico limite delle fondazioni delle pareti delle vasche, sulla base della caratterizzazione geotecnica dei terreni, si rimanda all'apposito elaborato di calcolo strutturale.

Per quanto concerne i rilevati da utilizzare per il mascheramento dei pannelli prefabbricati delle vasche nel caso in cui questi fuoriescano in maniera significativa dal piano di campagna e dei rinterri da operare a tergo dei suddetti pannelli quando questi sono incassati al di sotto del piano campagna, le problematiche geotecniche discendono quasi esclusivamente dalla necessità di dovere utilizzare i materiali provenienti dagli scavi.

Infatti, cave di prestito sono pressoché assenti in tutto il circondario e sarebbe quindi oltremodo oneroso l'utilizzo di materiale arido.

Come già detto precedentemente il materiale proveniente dagli scavi in genere è prevalentemente un limo sabbioso e/o sabbia limosa ben lavorabile ma dotato di scadenti caratteristiche meccaniche in termini di pressioni effettive:

- una coesione significativa valutabile in un valore minimo di 3 N/cm<sup>2</sup>;
- un basso angolo d'attrito con valori minimali pari a circa 21°.

Per quanto attiene al rinterro da operare a tergo dei muri prefabbricati non potrà essere tenuto in conto l'apporto della coesione e quindi utilizzando "sic et simpliciter" i materiali limo-sabbiosi verrebbero a destarsi sulle strutture dei pannelli ed in fondazione spinte di entità tali da dovere prendere accorgimenti strutturali creando non poche difficoltà nelle tecnologie lavorative.

Ci si è quindi indirizzati nella ricerca di un miglioramento del terreno di rinterro in modo tale da contenere l'entità delle spinte nei limiti di quei valori assorbibili dalla struttura e dalla fondazione con la geometria di progetto.

La soluzione geotecnica proposta è stata quella di interporre nel corpo del rinterro, a quote non casuali, strati di materiale drenante avvolti in geotessuto col duplice scopo di consentire un'adeguata filtrazione verticale e quindi di accelerare il processo di consolidazione e, nel contempo, di migliorare le caratteristiche meccaniche del materiale nel suo complesso.

Per i rilevati di mascheramento invece si è preferito utilizzare la tecnica della "terra rinforzata" interponendo nel corpo del rilevato elementi resistenti al taglio costituiti da geogriglia in fibre di poliestere

ad elevato modulo ed alta tenacità.

Risulta così possibile utilizzare una scarpata acclive riducendo, nel contempo, gli ingombri.

Un cenno merita la soluzione progettuale adottata per consentire alla condotta di superare idraulicamente il rilievo nei pressi dell'abitato di Gioiella.

L'attraversamento verrà realizzato in galleria mediante la tecnica T.O.T. (Trivellazione Orizzontale Teleguidata) utilizzando una tubazione camicia in acciaio DN1000. Tale tecnica, consiste nell'esecuzione di un foro pilota di piccolo diametro tramite una sonda teleguidata in superficie da un laser collegato ad un computer.

La trivellazione avviene per asportazione di terreno per effetto di un getto di fango di perforazione che fuoriesce dalla testa di una torpedine con una pressione di 15-20 bar.

Terminate le operazioni del foro guida, lo stesso verrà alesato ed allargato con opportuni alesatori che, procedendo a ritroso, si porteranno appresso la tubazione camicia al cui interno verrà in seguito collocata la condotta vera e propria.

Questa metodologia, di recente uso per quanto riguarda i grossi diametri, consente così di evitare la realizzazione di una vera e propria galleria idraulica per far passare al suo interno la condotta in pressione.

### **5.3 - Gli attraversamenti**

Un cenno a parte merita la osservazione che lungo il tracciato delle condotte occorrerà eseguire attraversamenti di strade, ferrovie, canali ecc., non tanto per le problematiche geotecniche connesse quanto per l'alto numero di essi.

Infatti, dovranno essere attraversate strade statali e più di una volta anche il raccordo autostradale Bettolle-Perugia con diametri variabili dal DN 600 al DN 2000.

Anche canali e fossi di una certa rilevanza quali il Canale Maestro della Chiana, il T. Esse, il T. Mucchia, il T. Tresa vengono attraversati dalle condotte anche con grossi diametri.

La soluzione prescelta è stata quella di adottare per la quasi totalità degli attraversamenti, la tecnica dello spingitubo, che consiste nella posa di un tubo di protezione, infisso a spinta nel terreno mediante martinetti idraulici, all'interno del quale viene, successivamente, inserita la condotta.

Dal punto di vista operativo le fasi per l'esecuzione degli attraversamenti comprendono:

- l'infissione del tubo di protezione a spinta, previo scavo del terreno sul fronte d'avanzamento, in elementi di lunghezza di 3,00 m circa, predisposti per la saldatura;
- la messa in opera della condotta all'interno del tubo di protezione, opportunamente bloccata e distanziata dallo stesso tramite collari.

Le verifiche geotecniche sono state condotte per il calcolo delle

spinte necessarie per l'infissione del tubo camicia.

Solo per l'attraversamento del Canale Maestro della Chiana è previsto l'utilizzo della tecnica della trivellazione orizzontale teleguidata, già descritta in altra parte della presente relazione.

#### **5.4 - Gli impianti di sollevamento**

Un ultimo cenno va fatto in merito alla realizzazione degli impianti di sollevamento.

Questi sono previsti in numero di tre contrassegnati dalla denominazione "Panicale", "Laviano" e "Gioiella" in dipendenza della loro posizione topografica.

Gli impianti prevedono la realizzazione di una vasca interessata dalle dimensioni in pianta di circa 15 m x 9 m fatta eccezione per l'impianto "Gioiella" per il quale la dimensione della vasca è pari a circa 27 m x 9 m.

Attesa l'entità prevista dello scavo, comune a tutti e tre gli impianti e pari a circa 7 m, e tenuto conto della loro posizione topografica, per contenere gli ingombri degli scavi è stata preferita la soluzione di operare in presenza di un'opera di contenimento da realizzare preliminarmente agli scavi.

Tale opera sarà costituita da una paratia di pali del Ø 400 mm armati con una putrella metallica, chiamata tecnicamente "berlinese", a

contornare il perimetro della vasca interrata.

I pali, una volta realizzati, verranno collegati da un robusto cordolo in c.a. in modo da renderli collaboranti.

Per ridurre le spinte e quindi le sollecitazioni sui pali, si prevede di eseguire dapprima un prescavo generale di circa  $1,50 \div 2,00$  metri, per poi realizzare la “berlinese”.

## **6 - CRITERI E RISULTATI DEI CALCOLI**

### **6.1 - Premesse**

Nel presente capitolo vengono illustrati i criteri ed i risultati dei calcoli geotecnici di verifica delle soluzioni progettuali adottate.

Tali calcoli riguardano:

- 1) la verifica della stabilità delle scarpate provvisorie per la posa in opera delle condotte;
- 2) la verifica della stabilità delle scarpate provvisorie e definitive per la realizzazione delle vasche;
- 3) il dimensionamento dei rilevati di mascheramento delle vasche;
- 4) la determinazione della sponda a tergo dei muri delle vasche;
- 5) esecuzione degli scavi sostenuti da palancole metalliche;
- 6) la determinazione della spinta per l'attraversamento con la tecnica dello spingitubo;
- 7) esecuzione degli scavi per gli impianti di sollevamento.

Le verifiche di stabilità di cui ai punti 1 e 2 sono stati svolti mediante il codice di calcolo GEO-TEC B V. 5.0.2. I calcoli di cui ai punti 5 e 7 col codice di calcolo GEO-TEC D V. 2.5.0, mentre quelli relativi al punto 3 con un apposito programma di calcolo automatico. In appendice alla presente relazione è illustrato in dettaglio il criterio di calcolo del codice utilizzato per la verifica di stabilità. Nell'allegato



Tav. 3.5 sono riportati, in grafici e tabelle, i dati di input ed i risultati ottenuti, separatamente per ciascun schema di calcolo preso in esame. I grafici e le tabelle costituiscono una parte dell'output dei programmi di calcolo utilizzati; ad essi, dove necessario, sono state apportate alcune integrazioni riguardanti le unità di misura e legende di chiarimento delle grandezze tabellate.

## **6.2 - Le condotte**

Per la posa in opere delle condotte sono stati eseguiti calcoli di verifiche di stabilità delle pareti di scavo.

Sono state condotte verifiche per le altezze massime di scavo, rispettivamente pari a 3 m e 5 m nei terreni nei depositi fluvio-lacustri e alluvionali e 5 m nell'unità Cervarola-Falterona. Nella prima circostanza, in ragione dell'altezza sono stati considerati profili di scavo 3/2 e 1/1, rispettivamente per la minima e massima altezza. I calcoli sono stati svolti considerando, a vantaggio di sicurezza, la falda coincidente con il piano campagna e per ipotizzare la presenza dei macchine operatrici è stato adottato un sovraccarico accidentale pari a 20 kN/mq. Nel secondo caso, quando si è in presenza degli scavi in terreni arenacei, sono stati volti calcoli, considerando un profilo di scavo 3/2 e valutando il coefficiente di sicurezza, a vantaggio di sicurezza, ipotizzando superfici di rotturapiane secondo piani di stratificazione della formazione inclinati a 35°; anche in questo caso è stato considerato un sovraccarico accidentale pari a 20 kN/mq.

Dall'esame dei risultati dei calcoli svolti si evince che il coefficiente di sicurezza risulta superiore al minimo [ $F_s = 1.3$ ] previsto dalla normativa vigente

Nell'allegato Tav. 3.5 sono riportati, in grafici e tabelle, i dati di input ed i risultati ottenuti, separatamente per ciascuna configurazione presa in esame.

### **6.3 - Le vasche**

Per le vasche sono state eseguite verifiche di stabilità dei fronti di scavo necessari per l'inserimento dei manufatti considerando le sezioni ritenute significative.

Per le vasche n° **10 + 11, 13, 14 + 15, 35 + 36** che interessano i terreni della Unità Cervarola-Falterona, alla luce della ricostruzione rappresentata lungo le sezioni geologiche prese in esame, sono state eseguite verifiche di stabilità dello scavo a monte, tenendo conto della stratificazione dei terreni quando si presenta a "franapoggio".

In questi casi per l'esame delle condizioni di stabilità delle scarpate sono state esplorate superfici di potenziale scorrimento secondo i piani di stratificazione.

Per completezza d'indagine sono state anche analizzate superfici con angolo d'inclinazione diverso da quello di stratificazione indicato nelle sezioni geologiche considerando, generalmente, un campo di variabilità di  $5^\circ \div 8^\circ$ .

Nei casi in cui, invece, la stratificazione della Unità si presenta

sub-orizzontale o a reggipoggio, per cui la stratificazione non condiziona il tipo di cinematismo di rottura, sono state analizzate superfici di scivolamento a direttrice circolare.

Nei calcoli in relazione al tipo di cinematismo di rottura preso in esame si è fatto riferimento ai parametri di resistenza a taglio indicati nel cap. 4.2 e cioè:

- nel caso di rottura secondo i piani di stratificazione che interessano le argilliti

$$c' = 3 \text{ N/cm}^2 \qquad \varphi' = 22^\circ$$

- nel caso di rottura dell'intero ammasso

$$c' = 5 \text{ N/cm}^2 \qquad \varphi' = 35^\circ.$$

Per le vasche in esame i calcoli sono stati svolti prendendo in considerazione sempre due diversi schemi corrispondenti a due diverse condizioni esecutive:

- a) la prima tiene conto della fase di scavo per il raggiungimento del piano di sedime delle vasche;
- b) la seconda tiene conto della configurazione definitiva, ad opera realizzata con il rinterro a tergo delle pareti delle vasche.

In questo secondo schema si è tenuto conto dell'effetto sismico per zona sismica di seconda categoria non considerato, invece, nel primo in considerazione della temporaneità della condizione.

Per quanto riguarda le vasche ricadenti nei depositi fluvio-lacustri e alluvionali si è proceduto alla verifica della stabilità dei fronti di scavo considerando superfici di rottura a direttrice circolare con riferi-

mento alla fase provvisoria di scavo in assenza di sisma.

Dall'esame dei risultati dei calcoli svolti si evince che il coefficiente di sicurezza risulta, generalmente, superiore al minimo [ $F_s = 1.3$ ] previsto dalla normativa vigente [D.M. 11/03/88 punto G.3.2]

Va osservato, infine, che per quanto riguarda la vasca 14+15, la condizione geologica di stratificazione posta a possibili cinematismi di rottura secondo superfici inclinate a  $35^\circ$  circa.

La verifica della profilatura della scavo connessa a tutte le vasche in arenaria determina valori del coefficiente di sicurezza  $F_s$  prossimi all'unità che non si ritengono cautelativi anche se in fase provvisoria.

Pertanto, è stata condotta una verifica di stabilità ipotizzando la presenza di un gradone intermedio.

In una siffatta ipotesi il valore del coefficiente di sicurezza passa ad 1,2, mentre risulta superiore ad 1,3 in fase definitiva.

Nell'allegato Tav. 3.5 sono riportati, in grafici e tabelle, i dati di input ed i risultati ottenuti, separatamente per ciascuna sezione e per ciascuna configurazione presa in esame. Per la ubicazione delle sezioni adottate per i calcoli si rinvia alle tavole grafiche di progetto.

Nel seguito a titolo esemplificativo nelle figure 6.1 e 6.2 si riportano le sezioni di calcolo utilizzate, relative alla Vasca n° 13 sez. C-C.

Nella fig. 6.1 sono riportati i risultati dei calcoli relativi alla configurazione provvisoria; nel grafico è stata schematicamente indicata la stratificazione del terreno ed è stata evidenziata la superficie di potenziale scivolamento caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di

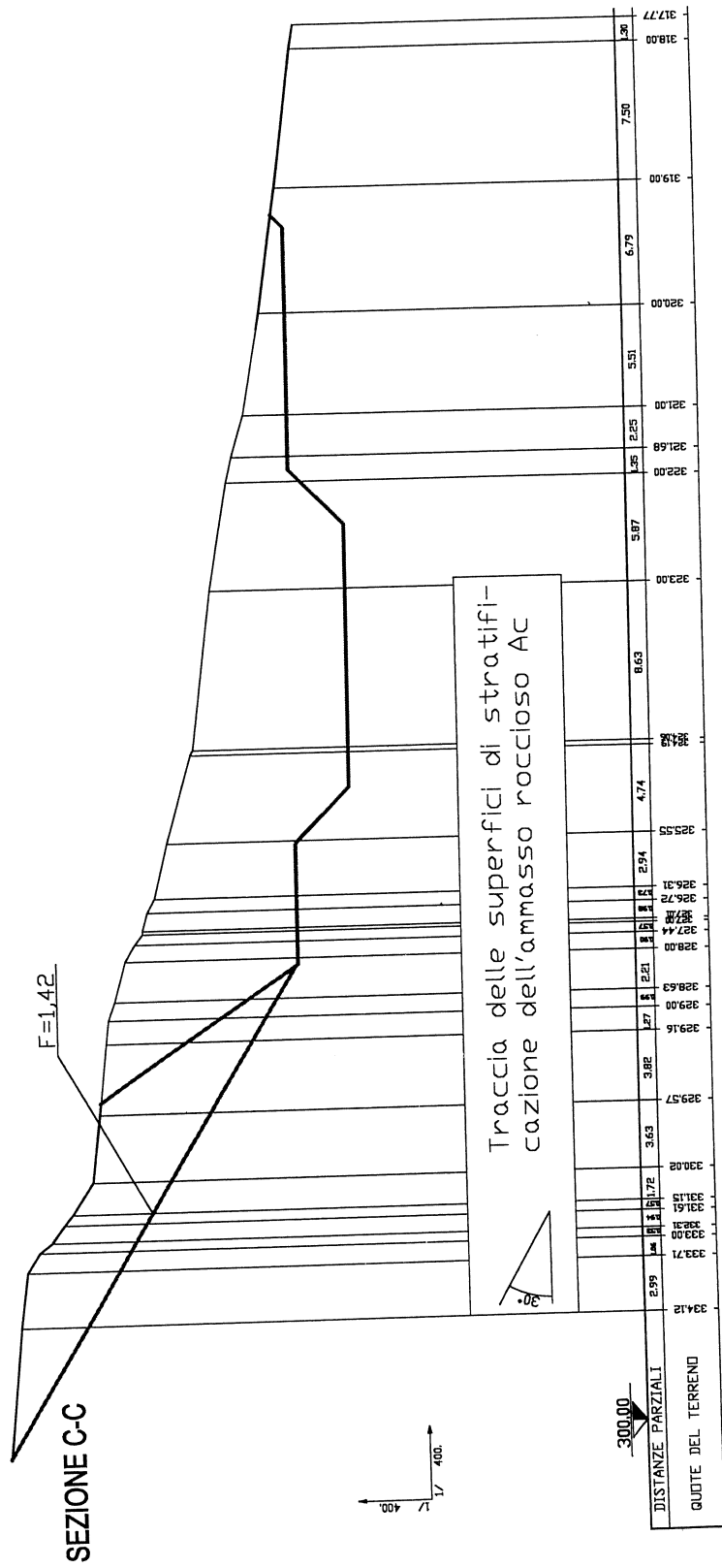


Fig. 6.1 - Vasca 13 sez. C-C Verifiche di stabilità nella fase provvisoria

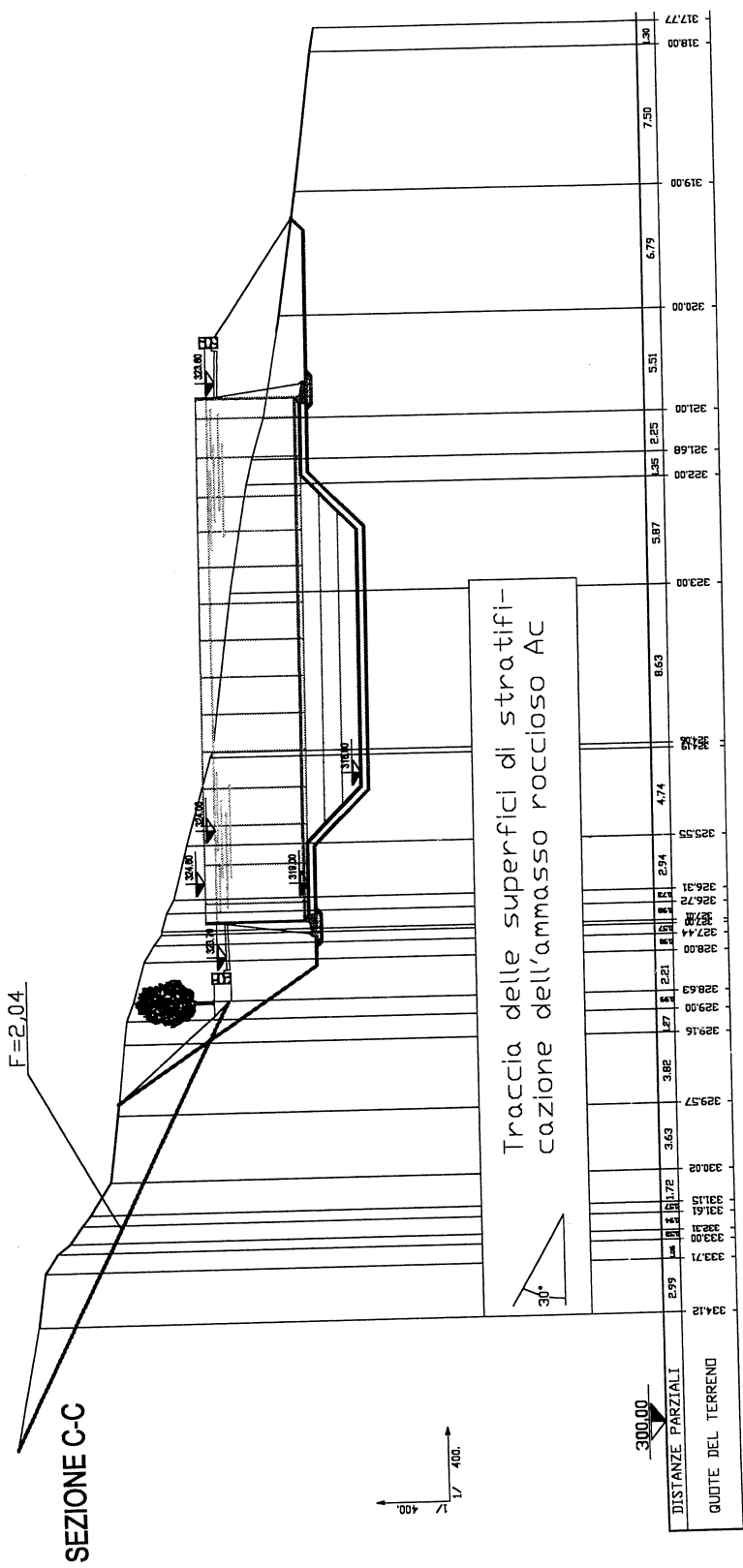


Fig. 6.2 - Vasca 13 sez. C-C Verifiche di stabilità nella fase definitiva

sicurezza, il relativo valore è stato messo in evidenza.

Nella fig. 6.2, con i medesimi criteri, sono riportati i risultati dei calcoli relativi alla configurazione finale, in condizioni sismiche.

Per le restanti vasche che interessano la formazione dei depositi alluvionali limo-sabbiosi, le verifiche sono state condotte solo nella condizione provvisoria in fase di scavo considerando ipotetiche superfici di scivolamento a direttrice circolare.

Sempre a titolo esemplificativo nella fig. 6.3 si riporta la sez. A-A relativa alla vasca n° 25 in cui è evidenziata la superficie critica ed il relativo valore del coefficiente di sicurezza.

#### **6.4 - I rilevati di mascheramento delle vasche**

I calcoli geotecnici dell'opera consistono, definito il tipo di rinforzo, il numero, la spaziatura e la lunghezza, nel verificare la stabilità locale e globale dell'opera.

La verifica di tipo globale, relativamente alla struttura, riguarda l'opera nella sua interezza mentre quella di tipo locale riguarda il comportamento del singolo rinforzo.

Per entrambe le verifiche è necessario valutare che i singoli rinforzi non arrivino né alla rottura né allo sfilamento.

Per la valutazione della stabilità interna è stato adottato il metodo dei due cunei, meglio conosciuto come metodo degli scorrimenti prismatici. Tale metodo presuppone che la linea di separazione tra la

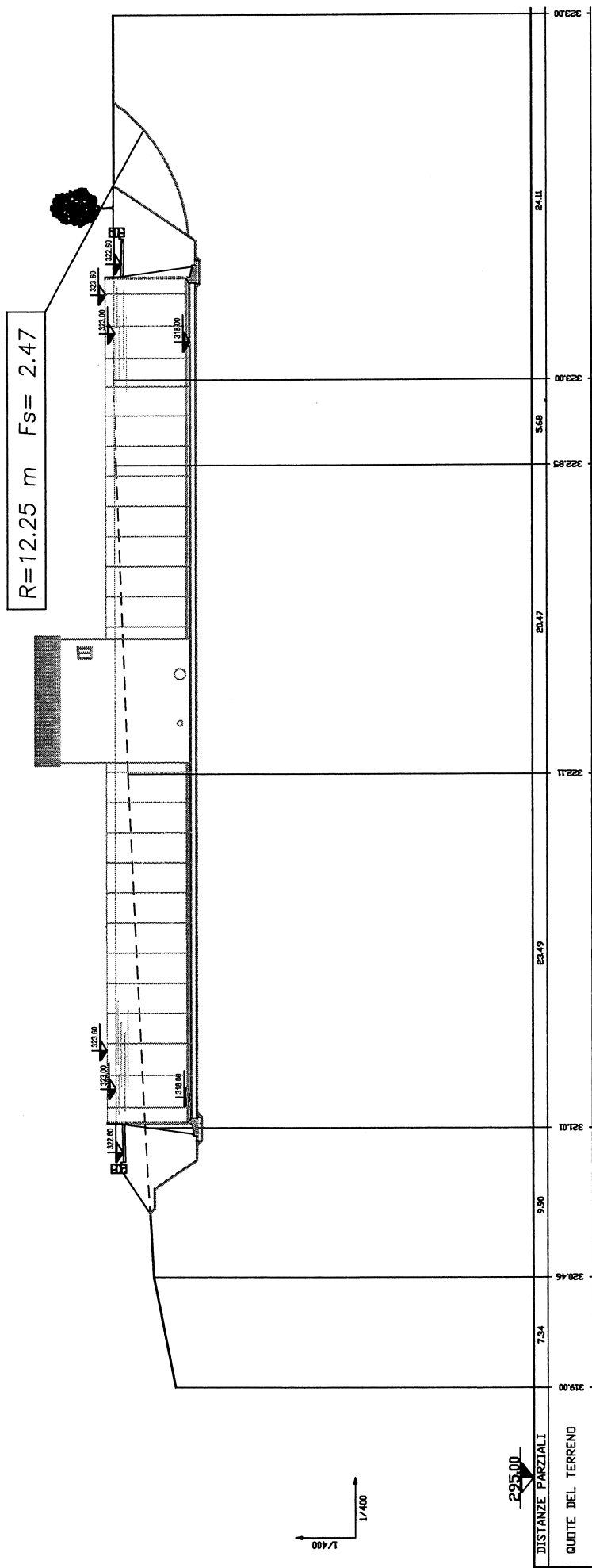


Fig. 6.3 Vasca 25 sez. A--A verifica di stabilità dello scavo in fase provvisoria



parte attiva, instabile e la parte passiva stabile dell'ammasso terroso costituente il rilevato sia una spezzata. I teli di rinforzo che hanno il compito di vincolare le due parti del rilevato, saranno sollecitati maggiormente sulla spezzata critica che deve essere ricercata per tentativi.

Il trasferimento delle forze di trazione dovute ai rinforzi avviene esclusivamente per attrito tra il telo e il terreno e dipende, pertanto, dalle modalità d'interazione superficiale tra la geogriglia e il terreno che costituisce il rilevato.

Per i calcoli di verifica si è adottato un programma di calcolo automatico che fissati gli elementi geometrici del rilevato e dei geosintetici, le loro caratteristiche meccaniche di resistenza, i coefficienti per la valutazione della tensione ammissibile dei teli (cui fare riferimento per la stabilità dell'opera, funzione del periodo d'esercizio, del danneggiamento meccanico in fase di realizzazione, dell'effetto ambientale – azioni chimiche e biologiche sui materiali), permette di calcolare il coefficiente di sicurezza critico per l'opera.

Per quanto riguarda i calcoli si è schematizzata la presenza di un sovraccarico di tipo stradale uniformemente distribuito, per simulare la presenza di macchine operatrici a bordo vasche.

Infine, poiché l'opera è da realizzare in zona sismica, tenuto conto delle sollecitazioni aggiuntive legate al sisma, l'esperienza richiede che con simili opere debba essere accettata una soluzione per la quale il coefficiente di sicurezza non risulti inferiore a 1,5 in ragione della sistemazione plano-altimetrica delle vasche.

I calcoli svolti hanno riguardato due configurazioni tipo per la pendenza della scarpata dei rilevati, rispettivamente, con pendenze 3/2 e 2/1.

Nell'elaborato Tav. 3.5 sono riportati, raccolti in tabulati, i dati d'ingresso ed i risultati dei calcoli svolti dai quali si evince che la stabilità delle opere è garantita.

#### **6.5 - Il rinterro a tergo delle vasche**

Il rinterro da operare a tergo dei pannelli prefabbricati delle vasche da realizzare nei terreni alluvionali verrà eseguito col materiale proveniente dagli scavi con l'interposizione di strati drenanti orizzontali dello spessore di 50 cm realizzati con materiale arido avvolto in una stuoia di TNT.

I calcoli geotecnici, esposti in dettaglio nell'elaborato Tav. 3.5, hanno riguardato la determinazione della spinta e del movimento ribaltante rispetto alla base di appoggio del muro.

#### **6.6 - Scavi con palancole**

I calcoli hanno riguardato il dimensionamento delle palancole sia per la realizzazione dello scavo in affiancamento alla prima condotta dell'adduttore principale che quelli per lo scavo per la posa in opera della condotta diretta all'impianto di sollevamento esistente lungo il lago Trasimeno.

In entrambi i casi lo schema di calcolo adottato è quello di paratia a mensola. Le due opere sono previste realizzate con palancole metalliche di tipo Lassen.

Il dimensionamento geotecnico delle opere consiste nel determinare la profondità d'infissione affinché sia garantita la stabilità del complesso opera di sostegno-terreno.

Nel caso dello scavo per il completamento dell'adduttore è stata considerata un'altezza libera della paratia pari a 4 m (vedi fig. 6.4) tenuto conto della realizzazione del prescavo, mentre per l'altra paratia è stata considerata un'altezza pari ad una profondità di scavo di 2,50 m.

Per la valutazione della spinta a tergo della prima palancola, a vantaggio di sicurezza, si è immaginato che il cuneo di spinta sia per intero dovuto al terreno di rinterro al quale si è assegnato un valore dell'angolo d'attrito  $\phi' = 24^\circ$ , mentre, per la seconda paratia in ragione della successione locale dei terreni (sondaggi S01, S02) si è considerato che nei primi sei metri la presenza di terreni con una maggiore frazione sabbiosa, adottando, comunque, parametri cautelativi trascurando il contributo della coesione ed un angolo d'attrito pari a  $\phi' = 26^\circ$ .

I calcoli, inoltre, sono stati effettuati ipotizzando la falda a piano campagna; e la presenza di un sovraccarico accidentale pari a 10 kN/mq solo per la seconda paratia in quanto per la prima si è ipotizzato che le operazioni di posa delle condotte avvengano con macchine

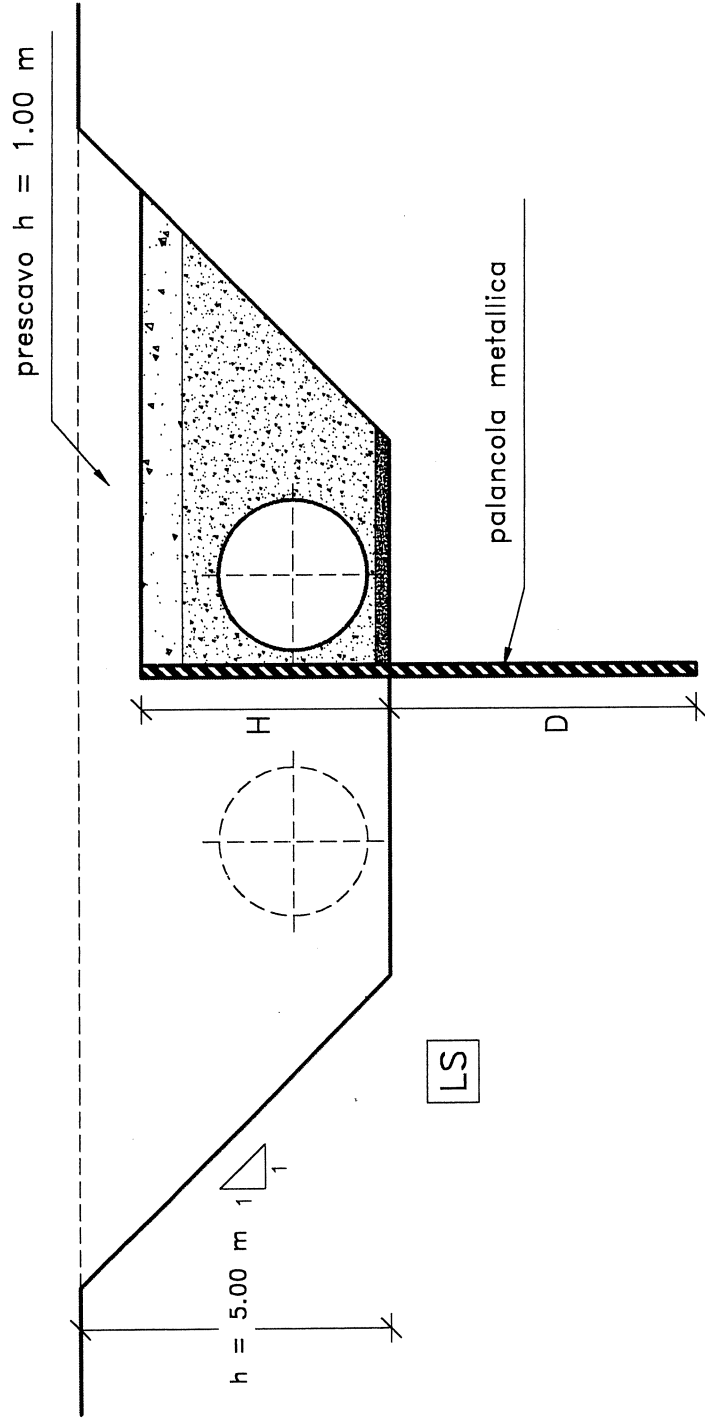


Fig. 6.4 Schema di calcolo per palancole metalliche per la posa in opera della seconda condotta DN2400 dell'adduttore principale

operatrici posizionate dalla parte opposta.

Per il calcolo delle profondità d'infissione delle paratie si è utilizzato un programma di calcolo automatico agli elementi finiti, che permette di schematizzare il terreno per la parte infissa come terreno elastico alla Winkler, determinando la profondità d'infissione in modo da assicurare un adeguato incastro.

In tabella V sono riassunti i risultati dei calcoli ottenuti.

paratia per condotta	$H_{scavo}$ (m)	$L_{inf}$ (m)	$L_{tot}$ (m)	$M_{max}$ (kNm)	spost. in testa (m)
Adduttore	4,00	5,00	9,00	40,0	0,044
Imp. Soll.	2,50	6,00	8,50	23,8	0,021

Tab. V - dati paratie di sostegno

Nell'allegato Tav. 3.5 sono riportati, in grafici e tabelle, i dati di input ed i risultati ottenuti per la configurazione presa in esame.

## 6.7 - L'attraversamento in spingitubo

Il calcolo elaborato riguarda la determinazione della spinta necessaria per l'infissione del tubo camicia, in base alla quale eseguire la verifica strutturale dello stesso ed il dimensionamento del contrasto reggispinga. In funzione della natura dei terreni da attraversare e del ricoprimento presente sulla tubazione sono state eseguite valutazioni, a metro lineare, della resistenza d'attrito offerta dal terreno in condizioni di equilibrio limite. Tenuto conto della metodologia esecutiva, che

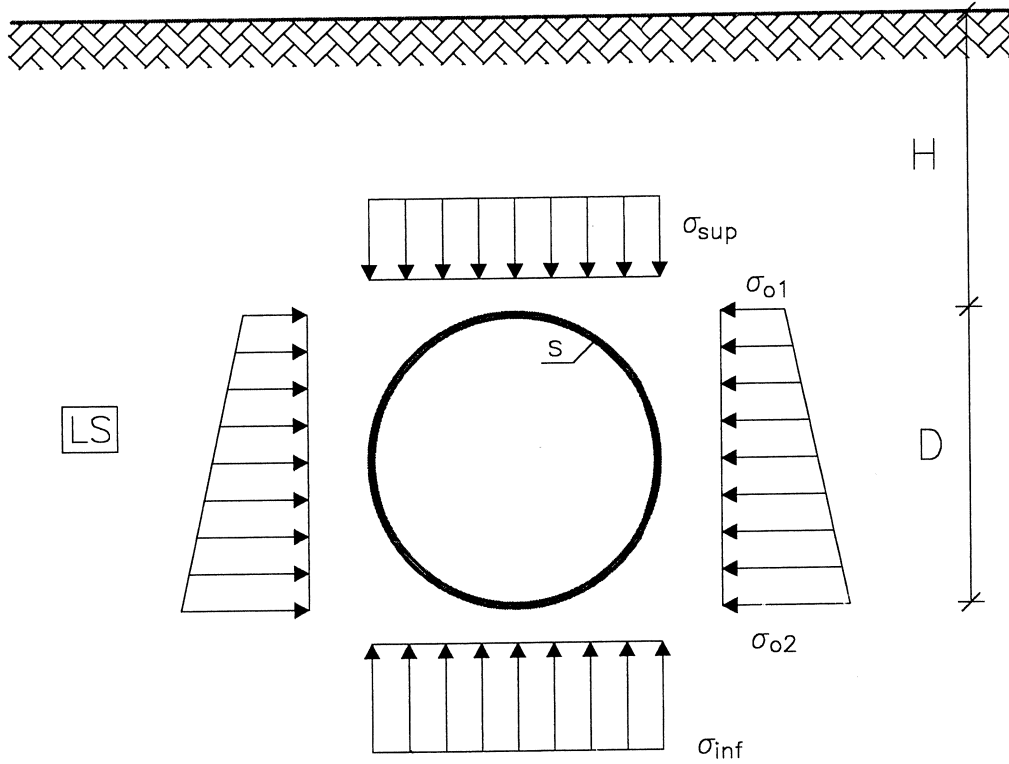


Fig. 6.5 – Schema calcolo spingitubo

prevede lo scavo sul fronte d'avanzamento prima dell'infissione, nei calcoli non è stata presa in considerazione, alcuna interazione tra tubo e il fronte di scavo.

La resistenza d'attrito è stata determinata con la relazione

$$F_A = \sum S_t \cdot \text{tg} \delta$$

dove:

$\sum S_t$  è la somma delle spinte agenti lungo la superficie di scorrimento, dovute al peso del terreno di ricoprimento, alle spinte laterali, alla reazione di base;

$\text{tg} \delta$  è il coefficiente d'attrito terreno-tubo, funzione dell'angolo d'attrito del terreno ( $\delta = 2/3 \varphi'$ ).

I calcoli sono stati svolti con riferimento ai parametri geotecnici con cui sono stati caratterizzati i terreni dei depositi fluvio-lacustri e alluvionali, trascurando a vantaggio di sicurezza, il contributo della coesione. In fig. 6.5 è riportato lo schema di calcolo in cui si è ipotizzata un'altezza di ricoprimento pari a 2 m.

Nella Tab. VI è riportato il valore della resistenza d'attrito calcolato; nella stessa tabella si è considerato un incremento del 10% della resistenza d'attrito determinato per garantire l'avanzamento del tubo.

Nell'elaborato Tav. 3.5 sono riportati in tabella i risultati dei calcoli svolti.

Resistenza d'attrito $F_A$ kN/m	Spinta $1,1 \cdot F_A$ kN/m
60,45	66,49

Tab. VI – Spinta d'infissione

## **6.8 - Gli scavi per gli impianti di sollevamento**

Come già detto nel capitolo precedente, lo scavo per la realizzazione delle vasche, viene eseguito in presenza di una paratia “berlinese” costituita da pali del diametro  $\varnothing$  400 mm armati con un profilato metallico.

E' prevista dapprima l'esecuzione di un prescavo generale e, successivamente, la realizzazione della berlinese.

Il calcolo geotecnico è stato condotto per la ricerca della profondità d'infissione della paratia e la determinazione delle sollecitazioni sui pali.

I pali sono disposti planimetricamente con un interasse pari a 0,50 m ed, una volta eseguito lo scavo, verranno rivestiti con una parete in c.a. che costituirà anche la parete della vasca stessa.

Dai calcoli svolti, i cui risultati sono riportati nell'elaborato Tav. 3.5 sotto forma di grafici e tabelle, si evince che la profondità d'infissione è pari a 7 metri per cui la lunghezza totale della paratia rimane fissata in 12 m.



carmelo carruba ingegnere

APPENDICE - Principi di calcolo

## **PRINCIPI DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE NATURALI E DEI RILEVATI**

Per le verifiche di stabilità delle scarpate si è adottato il metodo di Janbu; tale metodo come è noto rientra fra quelli classificati come metodi dell'equilibrio limite globale.

Il metodo di basa sulle seguenti assunzioni:

- l'analisi di stabilità è effettuata considerando l'equilibrio della massa di terreno individuata da una superficie di potenziale o reale scivolamento e il piano di campagna, sottoposta alle forze al contorno;
- la resistenza al taglio necessaria all'equilibrio agente lungo la superficie di scivolamento è calcolata attraverso le equazioni della statica; il coefficiente  $F$  è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza per portare il pendio alle condizioni di rottura ed è assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento;
- si assume valida la legge di resistenza di Mohr-Coulomb;
- per tenere conto che il pendio può non essere omogeneo il metodo prevede il ricorso alla suddivisione della massa interessata dallo scivolamento in un numero conveniente di conci. Ciò comporta, con riferimento alla figura (a) appresso riportata, che se si hanno  $n$  conci il problema presenta le seguenti incognite:
  - $n$  valori delle forze normali  $N'_i$  agenti alla base di ciascun concio;
  - $n-1$  forza  $E'_i$  e altrettante forze tangenziali  $X'_i$  agenti sulle facce dei

conci;

$n$  valori delle distanze  $a_i$  che individuano il punto di applicazione delle  $N'_i$ ;

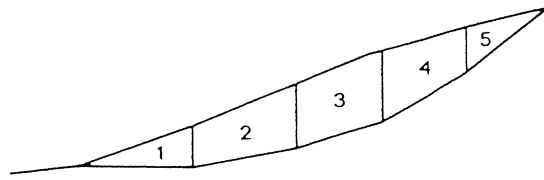
$n-1$  valori delle distanze  $b_i$  che individuano il punto di applicazione delle  $E'_i$ ;

Complessivamente, tenuto conto dell'incognita costituita dal coefficiente di sicurezza  $F$  si hanno  $[5n-2]$  incognite; per rendere staticamente determinato il problema; poiché in realtà si dispone di  $3n$  equazioni vengono introdotte ulteriori condizioni che riguardano la direzione e il punto di applicazione delle forze agenti alla base e all'interfaccia dei conci in particolare si suppone nota la linea di azione delle forze  $E'_i$  che si scambiano i vari conci e delle forze  $N'_i$  alla base del concio, ipotizzate agenti nel punto in cui la retta d'azione della risultante dei carichi verticali intercetta la base del carico.

Con riferimento allo schema di calcolo di figura (b) combinando le condizioni di equilibrio per ogni concio con la condizione di equilibrio globale di tutti i conci danno luogo alla relazione:

$$F = \frac{\sum_A^B \tau_j \cdot \Delta x \cdot (1 + \tan^2 \alpha)}{E_A - E_B + \sum_A^B \left\{ \Delta Q + \left( \gamma \cdot z + q + \frac{\Delta P}{\Delta x} + \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \cdot \Delta x \cdot \tan \alpha \right\}}$$

con



$\Delta x_i$

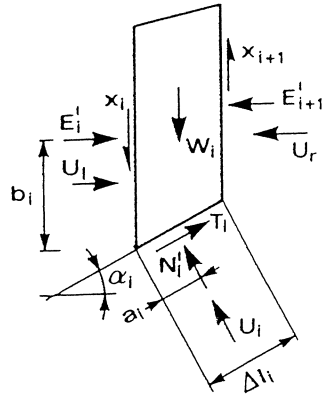


fig. (a)

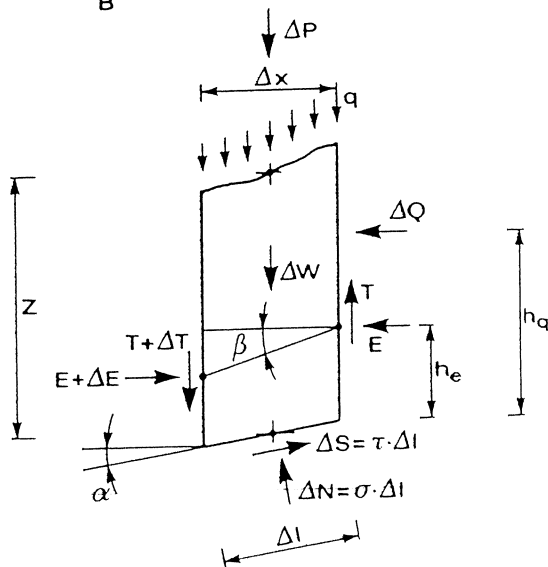
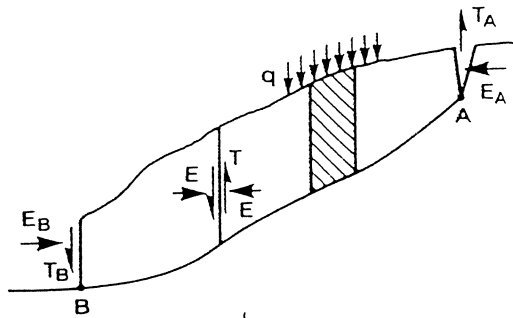


fig. (b)

Verifica di stabilità metodo di Jambu (1973)

$$\tau_f = \frac{c' + \left( \gamma \cdot z + q + \frac{\Delta P}{\Delta x} + \frac{\Delta T}{\Delta x} - u \right) \cdot \tan \phi'}{1 + \frac{1}{F} \cdot \tan \phi' \cdot \tan \alpha}$$

Le due espressioni permettono di calcolare per ogni superficie ipotizzata il valore del coefficiente di sicurezza F, procedendo per successive iterazioni, dal momento che essa compare sia al primo che al secondo membro della equazione sopra riportata.

Per l'esecuzione dei calcoli è stato utilizzato un programma di calcolo automatico messo appunto dalla società INTERSTUDIO s.r.l. di Pistoia denominato GEO-TEC BV.5.0.2.

Il programma consente, definito l'andamento degli strati dei terreni e i relativi parametri geotecnici, scelta la traccia della superficie di potenziale scivolamento da analizzare di forma circolare o poligonale, stabilite le condizioni al contorno [carichi sul p.c., presenza della falda], una agevole determinazione del coefficiente di sicurezza.

Inoltre, nei calcoli è possibile mettere in conto le azioni sismiche valutate come azioni orizzontali pseudo-statiche, aliquota del peso dei conci in funzione del coefficiente sismico di zona, applicate, a vantaggio di sicurezza, alla base degli stessi.

I calcoli sono stati svolti per tentativo considerando superfici di scivolamento ritenute cinematicamente possibili, ricercando fra queste quelle con coefficiente di sicurezza più sfavorevole per la scarpata.