



PROVINCIA DI BENEVENTO



DIGA DI CAMPOLATTARO SUL FIUME TAMMARO
IN COMUNE DI CAMPOLATTARO (BN)

N.1391 Del Registro della Direzione Dighe del Ministero delle Infrastrutture

— 0 —

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E DI MIGLIORAMENTO
FUNZIONALE DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA E CONTROLLO
(Interventi per l'incremento della sicurezza della diga ai sensi della Delibera CIPE n.54/2016)

PARTE A

(Piezometri e stazioni idrometriche)

4				
3				
2				
1				
0	NOVEMBRE 2020			NUOVO ELABORATO A SEGUITO DEL VOTO DEL CTA N.109/2019
AGG.	D A T A	REDAZIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE

Relazione geologica-geotecnica

N. ELABORATO

2.A.N

PROGETTO ELABORATO DALL'ING. RESPONSABILE DELLA DIGA
ing. Giovanni SPORTELLI



DIGA DI CAMPOLATTARO SUL FIUME TAMMARO IN COMUNE DI CAMPOLATTARO (BN)

N.1391 Del Registro della Direzione Dighe del Ministero delle Infrastrutture

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E DI MIGLIORAMENTO FUNZIONALE DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA E CONTROLLO

(Interventi per l'incremento della sicurezza della diga ai sensi della Delibera CIPE n.54/2016)

Relazione geologica-geotecnica

1. PREMESSA

Il progetto degli interventi in epigrafe è stato trasmesso al Provveditorato Interregionale per le opere pubbliche di Napoli con voto prot. n.5349 del 17.10.2019 e prot. n.5816 del 16.11.2019. Il progetto è stato esaminato dal C.T.A. con parere espresso nel Voto n.109/2019. Con il Voto il C.T.A. ha ritenuto che il progetto "(..) è meritevole di approvazione quale progetto definitivo" con prescrizioni da recepire in sede di redazione del progetto esecutivo, la cui verifica di adempimento è demandata al R.U.P.

Una delle prescrizioni riporta che *"manca una relazione geologica e geotecnica, che può essere composta a cura dello stesso progettista riprendendo i dati sui materiali ricavabili dagli elaborati di progetto ed as-built della diga ed i risultati dei sondaggi già eseguiti nel 2009 all'atto dell'installazione degli strumenti attualmente esistenti; subordinatamente alla suddetta integrazione, potrà essere ammessa l'esecuzione delle perforazioni a distruzione di nucleo come previsto dal progettista, a patto che le modalità operative consentano comunque la distinzione, in corso di esecuzione, delle caratteristiche dei terreni attraversati"*.

Di seguito si riportano le richieste caratteristiche geologiche-geotecniche riprese dagli studi del prof. ing. Vincenzo Cotecchia nella fase esecutiva del progetto della diga. Per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali con cui è stato costruito il corpo diga si è fatto riferimento ai contenuti della Relazione finale dell'assistente governativo, ing. Antonio Magliulo, perché non sono stati rinvenuti elementi utili dei sondaggi effettuati nel 2009 per installare gli strumenti attualmente esistenti.

2. GEOLOGIA

2.1 Lineamenti morfologici e geologici del bacino imbrifero e del bacino di invaso

La zona oggetto dello studio è compresa in parte nel F. 173 Benevento ed in parte nel F. 162 Campobasso l'elemento fisiografico più importante e costituito dal Fiume Tammaro con la sua valle sviluppantesi all'incirca in direzione N-S e situata al margine orientale dei Monti del Sannio.

Morfologicamente la zona è caratterizzata da un fondovalle abbastanza ampio e da versanti vallivi aventi acclività medie piuttosto lievi. In corrispondenza dell'abitato di Campolattaro ed a sud dello stesso, la valle si restringe dando luogo ad una stretta morfologica. Tali configurazioni portarono a ritenere che la zona in questione risultava topograficamente idonea alla creazione di un lago artificiale.

Geologicamente l'area in esame fa parte della cosiddetta "depressione molisano-sannitica", uno dei grandi complessi tettonici nei quali è stata suddivisa l'Italia centro-meridionale, ed è caratterizzata dalla costante presenza di terreni in facies di flysch appartenenti a formazioni diverse.

Quanto si espone più avanti tiene conto anche della letteratura geologica sull'argomento.

I rilievi geologici di superficie, unitamente alle indagini espletate durante lo studio per i progetti di massima ed esecutivo, hanno permesso di riconoscere procedendo dai termini più antichi ai più recenti:

- Complesso delle argille varicolori (Aquitaniense-Oligocene);
- Formazione marnoso-arenacea (Tortoniano);
- Formazione delle arenarie molassiche (Miocene Superiore);
- Depositi alluvionali (Quaternario).

2.2 Complesso delle argille varicolori (Aquitaniense-Oligocene)

Affiora estesamente nell'area studiata, in special modo verso le quote alte dei versanti del Fiume Tammaro e del Torrente Tammarecchia (località Lombardara, Campo della Corte, Masseria Bilotta, ecc.).

Tale complesso comprende una parte lapidea ed una parte argillosa preponderante. La parte argillosa è costituita da argille e argille siltose generalmente di colore rosso, violaceo, verdi e grigiastre; la parte lapidea, interstratificata con quella argillosa è rappresentata quasi esclusivamente da calcari detritici (in genere calciruditi con dimensioni dei clasti fino a 5 cm) e calcareniti biancastre o rosate.

Localmente, negli strati di calcari detritici a granulometria fine, è possibile osservare liste di selce. In nessun luogo è stato possibile accertare con precisione l'effettivo spessore delle argille varicolori; esso non dovrebbe superare di molto il centinaio di metri, mentre lo spessore minimo riscontrato è di qualche metro. A volte questi terreni, sotto forma di "colate", si spingono verso il fiume Tammaro interessandone in alcuni casi il fondovalle (località Mass.a Zeoli, Mass.a Zecchino) o addirittura l'alveo attuale (località Mass.a De Mangano, Mass.a Iadanza, ecc.).

Le analisi micropaleontologiche condotte sui termini litologici più rappresentativi hanno dato per questa formazione una età compresa fra il Cretaceo superiore ed il Miocene.

2.3. Formazione marnoso-arenacea (Tortoniano)

Affiora in diverse località (Mass.a Procino, Mass.a Morelli, Mass.a Romanelli, ecc.) ed in modo particolare in corrispondenza della stretta morfologica di Campolattaro, condizionando, sotto il profilo geologico, l'intera area d'imposta del corpo diga.

Di qui la scelta della sezione che sotto il profilo tecnico più si addice, relativamente al tratto di bacino da sottendere, ai fini della posa di un'opera di sbarramento.

La formazione marnoso-arenacea risulta in genere rappresentata da argille marnose e marne argillose di colore grigio o grigio-azzurrognole; subordinati, ma piuttosto frequenti, sono presenti livelli di arenarie quarzoso-micacee a cemento calcareo anch'esse di colore grigio azzurrognolo. La presenza più o meno abbondante di questo cemento calcareo rende variabili le proprietà meccaniche di queste arenarie; infatti si passa da litotipi arenacei molto friabili ed a consistenza molassica a litotipi arenacei compatti e molto tenaci.

Essa si presenta in genere ben stratificata con potenza degli strati variabile da pochi centimetri ad alcuni decimetri.

Spesso le carote dei sondaggi geognostici terebrati hanno messo in evidenza, specie negli strati arenacei, la presenza di una sedimentazione convoluta ed altre strutture fisiche singenetiche, denotanti la natura torbida di tali sedimenti, depositi in ambiente di mare aperto e profondo.

Le analisi micropaleontologiche, eseguite su campioni di marne argillose ed argille marnose prelevati nella parte alta della formazione marnoso-arenacea, hanno rilevato la presenza di numerosi foraminiferi quasi esclusivamente planctonici, fra cui frequentissimi *Orbulina universa*, *Orbulina bilobata* e *Globorotalia globorotaloidea*.

Sulla base delle associazioni microfaunistiche riscontrate, risulta evidente un ambiente di sedimentazione marino e profondo; l'età risulta compresa tra il Tortoniano superiore ed il Messiniano.

2.3.1 Olistostromi

Spesso nella formazione marnoso-arenacea si rinvengono, sia in affioramento che in profondità "olistostromi" ed "olistoliti" messi in posto a seguito di scivolamenti gravitativi e restando poi inglobati nella stessa.

In affioramento sono stati individuati due complessi olistostromali, ambedue in sinistra Tammaro.

Il più esteso dei due affiora con sviluppo massimo di 700 metri circa in direzione E-W nei pressi di Mass.a Caiazzo, spingendosi verso nord fino quasi a Case Mazzone. Esso risulta costituito da pseudo-alternanze di livelli lapidei ed argillosi, inglobati in una matrice argillosa caotica costituita da argille scagliose varicolori. Questo primo complesso olistostromale è stato suddiviso in tre parti, ognuna delle quali costituita da spezzoni di serie flyscioidi (olistoliti).

Un primo pacco è costituito da calcari debolmente marnosi bianco-rosati, marne, marne argillose ed argille marnose di colore rosso-mattone, calcareniti biancastre, marne argillose bianco-rosate, argille marnose verdoline, calcari marnosi biancastri.

La potenza dei singoli livelli varia tra 5 cm ed 1 m. Le analisi micropaleontologiche hanno indicato un'età compresa tra il Cretacico superiore e l'Oligocene.

Un secondo pacco di strati, risulta costituito da fitte alternanze di marne argillose fogliettate (5-10 cm), di colore grigio verdoline, con patine nerastre o di ossidazioni limonitiche sulle superfici di fratture e sui piani di stratificazione e da calcari marnosi (20 ÷ 30 cm) di colore grigio, biancastro o verdolino.

Un terzo pacco è costituito da calcari marnosi biancastri, in bancate anche molto potenti, con intercalazioni di marne argillose.

Le associazioni microfaunistiche riscontrate, in campioni appartenenti agli ultimi due pacchi, indicano un'età compresa tra il Paleocene e l'Eocene inferiore.

Il più piccolo dei due complessi olistostromali rilevati in superficie affiora a sud di Mass.a Iadanza. Esso è costituito da strati di calcari detritici alternati a sottili livelli marnosi e marnoso-argillosi di colore rosso mattone, litologicamente quindi confrontabile al primo "pacco" dell'olistostroma di Mass.a Caiazzo.

Con ogni probabilità, comunque, oltre a quelli affioranti ed a quelli intercettati dai sondaggi (come si vedrà in seguito), nella zona (particolarmente dove la formazione marnoso-arenacea è affiorante) sono presenti altri complessi olistostromali difficilmente individuabili, perché confusi e sepolti sotto una coltre di argille varicolori scagliose.

2.4 Formazione delle arenarie molassiche (Miocene superiore)

Affiora estesamente al centro della zona in esame, su ambedue i versanti del Fiume Tammaro, Più precisamente sul versante in sinistra (Mass.a Prozzo, Mass.a Di Brino, Case Longo, ecc.) dette arenarie affiorano dal fondovalle, dove vengono a contatto con le alluvioni del Tammaro, fino allo spartiacque fra il bacino imbrifero del Tammaro e quello del Tammarecchia.

La situazione si presenta analoga in sponda destra, dove le arenarie molassiche da quota 350 circa si spingono in alcune zone fino a quota 500. Affioramenti meno estesi di quelli ora citati si ritrovano un poco dovunque nella zona studiata.

Si tratta di arenarie massicce o mal stratificate a composizione quarzoso-micacea feldspatica, giallastre o anche grigiastre ed a cemento calcareo-argilloso o calcareo. In genere sono caratterizzate da una consistenza molassica; solo quando il cemento è prevalentemente calcareo, esse mostrano una notevole tenacità. Comunque, anche laddove presentano consistenza molassica, mostrano un notevole stato di addensamento. Spesso è possibile osservare la presenza di argille verdastre sotto forma di lenti o noduli, od anche la presenza di lenti conglomeratiche più o meno potenti. A luoghi queste arenarie passano a veri e propri conglomerati poligenici, come si osserva in prossimità di Case Morcolfi (sinistra Tammaro).

Verso il basso questa formazione passa stratigraficamente alla sottostante formazione marnoso-arenacea, Tali rapporti stratigrafici sono chiaramente visibili nel compluvio a nord di località Palata, in sinistra Tammaro a sud della stretta di Campolattaro.

Alle analisi micropaleontologiche eseguite, i campioni di arenarie sono risultati completamente sterili e privi di microfaune significative, per cui si è reso necessario eseguire altra analisi sulle intercalazioni argillose a luoghi contenute nella suddetta formazione.

Per questi ultimi campioni le analisi fanno risalire l'età di questa formazione al Miocene superiore.

2.5 Depositi alluvionali (Quaternario)

Sono costituiti da ghiaie eterometriche, con diametro massimo pari a 20÷30 cm, di natura calcarea, calcareo-marnosa, marnosa ed arenacea, immerse in una matrice sabbioso-limosa; da sabbie quarzoso-micacee, più o meno limose, localmente con lenti di limo.

L'estensione areale di tali depositi è piuttosto irregolare; gli affioramenti più cospicui si ritrovano in corrispondenza della parte centrale dell'asta fluviale (Piano Perrone, Mass.a Fusco) e nella parte settentrionale (Taverna Vecchia, Mass.a De Palma, ecc.).

Indi i detti depositi si riducono ad una fascia larga mediamente 300 - 400 m, occupando infine a sud della stretta di Campolattaro una fascia poco più larga dell'attuale alveo del Tammaro.

Le numerose indagini espletate in fondovalle per la ricerca del materiale da costruzione grossolano hanno messo in evidenza una forte eterogeneità da zona a zona dei suddetti depositi, mostrandosi gli stessi ora schiettamente ghiaiosi, ora invece con sabbie e limi preponderanti. Inoltre in alcune zone i depositi alluvionali sono inquinati ed alternati a materiale franoso.

Queste ultime situazioni si riscontrano in destra Tammaro, in una fascia lunga 2 km circa ed avente larghezza massima di 500 m in corrispondenza di Mass.a Fusco; in sinistra Tammaro, a nord del Ponte Pescosardo, in località Mass.a De Palma.

Dalle indagini espletate lungo il tratto di asta fluviale compreso nella zona in esame si è riscontrato, per la coltre alluvionale, uno spessore compreso fra 2 e 9 metri.

2.6 Tettonica

La zona oggetto di studio fa parte della depressione molisano-sannitica, uno dei cinque grandi complessi tettonici in cui è stata suddivisa l'Italia centro-meridionale, in tale depressione, formatasi nel Cretaceo secondo alcuni autori (Ippolito, Lucini, Scarsella), nel Miocene-Pliocene secondo altri (Beneo), si sarebbero accumulati, anche tramite fenomeni di risedimentazione, i sedimenti flyscioidi (formazione miarnoso-arenacea e formazione delle arenarie molassiche). Infine, dopo la formazione e la messa in posto dei sedimenti del Miocene superiore e, verosimilmente, dopo gli eventi tettonici che portarono gli stessi all'emersione, si verificò sui terreni miocenici il sovrascorrimento tettonico della formazione delle argille varicolori.

Tale assetto strutturale è stato ampiamente confermato e riscontrato dai numerosi sondaggi terebrati, unitamente al rilevamento di superficie. Più in particolare nella zona interessata dal presente studio gli eventi tettonici sono stati vari e molto complicati.

Da quanto scaturito sia dalle indagini espletate per il progetto di massima che da quelle svolte per il progetto esecutivo, essi si possono suddividere in eventi tettonici sin-sedimentari ed eventi tettonici post-sedimentari. Ai primi si fanno risalire i fenomeni connessi alla messa in posto dei complessi olistostromali; ai secondi sono attribuibili il fenomeno di sovra scorrimento della formazione delle argille varicolori scagliose sulle formazioni mioceniche ed i fenomeni plicativi riscontrabili nella formazione marnoso-arenacea.

In particolare la formazione marnoso-arenacea dovrebbe essere a contatto tettonico con il complesso delle argille varicolori tramite una faglia inversa, decorrente in direzione nord-sud e passante ad ovest dell'abitato di Campolattaro.

In nessun modo comunque questa situazione, interessante solo al fine di comprendere l'assetto strutturale delle formazioni affioranti nell'area in esame, inficia la fattibilità dell'invaso. Infatti la zona interessata dalla faglia inversa risulta non soltanto molto distante dalla zona di sbarramento, ma anche fortemente rinserrata.

Attualmente, sempre nell'ambito ristretto della zona in esame la coltre sovrascorsa affiorante alle quote più alte si presenta smembrata da processi erosivi, che hanno messo a nudo le sottostanti formazioni mioceniche affioranti nelle depressioni topografiche. Al contatto sono evidenti i fenomeni di laminazione e di stiramento della formazione marnoso-arenacea, prodotte dal sovrascorrimento.

In nessun caso inoltre è stato possibile accertare nelle formazioni mioceniche grossi fagliamenti, Sono state invece individuate strutture plicative. Di esse la più importante è quella secondo la quale la valle del Tammaro, a monte della zona di sbarramento, si è impostata nella cerniera ribassata di un anticlinale a debole curvatura, con asse diretto all'incirca NNW-SSE, Quest'ultimo presenta ondulazioni procedendo verso NNW.

3. GEOLOGIA DELLA ZONA DI SBARRAMENTO

Come risulta anche dalla relazione geologica e geotecnica che accompagnava il progetto di massima (1967), la zona più idonea per l'esecuzione dello sbarramento di ritenuta di cui all'oggetto è situato 800 m circa a monte del Ponte Ligustino.

I risultati della seconda indagine hanno confermato la rispondenza della zona già prescelta a detto fine.

Sotto il profilo morfologico i versanti della zona di sbarramento in esame risalgono dal fondovalle fino alla quota di massimo invaso ed oltre con acclività medie poco accentuate.

I lineamenti morfologici dell'area in esame risultano addolciti dalla presenza di una coltre detritica che ricopre quasi ovunque e con vario ma non forte spessore la formazione di base. La sua presenza diffusa su tutta l'area in esame ha reso però molto difficoltoso il rilevamento di superficie della stessa.

Lo studio geognostico condotto mediante il rilevamento geologico di superficie, unitamente ai numerosi sondaggi meccanici eseguiti, ha permesso la ricostruzione dell'assetto stratigrafico della zona di sbarramento.

Più precisamente dal basso verso l'alto si riconoscono:

- una formazione marnoso-argilloso-arenacea di base di età miocenica, contenente olistostromi ed olistocli di rocce premioceniche. Questa successione passa verso l'alto, per eteropia verticale e forse anche laterale, a:
- arenarie molassiche, rappresentate localmente da affioramenti piuttosto modesti;
- argille varicolori o complesso indifferenziabile, sovrascorso per tettonica (o per frane propriamente dette) sulle formazioni dianzi citate;
- depositi alluvionali attuali e recenti di fondovalle e depositi terrazzati.

infine, come già detto, sulla quasi totalità della zona in parola è presente una coltre detritica

3.1 Formazione marnoso-arenacea

Costituisce la formazione di base della zona in esame.

Infatti tutti i sondaggi, alcuni dei quali eseguiti in fondovalle e spinti fino ad 80 m, non hanno rinvenuto altra formazione basale. Questa formazione superiormente fa passaggio stratigrafico alle arenarie molassi che.

La formazione marnoso-arenacea è costituita prevalentemente da marne argillose ed argille marnose, a luoghi sabbiose, di colore grigio-nerastre o grigio-azzurrognole, od anche giallastre quando alterate; da arenarie a composizione quarzoso-micacea a cemento calcareo o calcareo-marnoso, talora fortemente tal'altra debolmente cementate; infine, da rare intercalazioni di calcari marnosi grigio-biancastri.

Sulla sponda destra, in prossimità del Ponte Ligustino, nelle argille marnose tettonizzate sono stati rinvenuti cristalli di gesso di origine secondaria ed in molte altre zone incrostazioni e noduli calcarei di origine evaporitica

Tenendo di vista le finalità tecniche di questo studio, la formazione marnoso-arenacea può essere divisa in una componente prevalentemente marnoso-argillosa ed un'altra prettamente arenacea.

La componente marnoso-argillosa è costituita da marne argillose ed argille marnose, talora con sottili livelli arenacei potenti fino ad una quindicina di centimetri. Questi ultimi in genere costituiscono la base degli strati e passano verso l'alto, per "gradazione granulometrica", alla sovrastante parte marnoso-argillosa.

Un'altra struttura sedimentaria spesso osservata è data dalla fogliettatura convoluta (convolute lamination). Si tratta quindi di depositi a carattere torbiditico formatosi in ambiente di mare aperto e profondo.

La componente arenacea è costituita da arenarie grigie a costituzione molassica, molto simili alle arenarie molassiche propriamente dette, che chiudono la serie dei depositi miocenici. Tali arenarie grigie hanno ugualmente composizione

quarzoso-micacea, con inclusioni di lembetti e di placchette di argille grigie o grigio verdognole, in genere debolmente cementate, a cemento calcareo-marnoso, massicce o al più con accenni di stratificazione.

Dai sondaggi geognostici terebrati, dalle sezioni geologiche interpretative e dalla carta del tetto della formazione di base, risulta evidente che questa formazione di base è presente con continuità su tutta l'area in esame, infatti essa dal fondovalle, dove risulta coperta dalle alluvioni del fiume Tammaro, risale su ambedue i versanti, anche se coperta da una coltre detritica, spingendosi molto al di sopra della quota di massimo invaso.

3.1.1 Olistostromi

Oltre a quelli già individuati in affioramento e descritti nel capitolo riguardante la geologia generale della zona interessata dal bacino d'invaso, nella zona di sbarramento sono stati individuati, tramite i sondaggi geognostici, altri olistostromi inglobati nella formazione marnoso-arenacea.

Tali olistostromi sono concentrati in sponda sinistra.

Altri due complessi olistostromali sono stati rinvenuti in sponda destra.

Il complesso olistostromale più grande, è stato rilevato in sponda sinistra.

L'olistostroma è costituito da argille varicolori scagliose con prevalente colore verdastro, da argille marnose grigio-nerastre o grigio-bluastre inglobanti pezzame di calcari, calcareniti e da calcari marnosi di tipo "alberese"

In sponda sinistra è stato altresì rilevato un piccolo olistostroma costituito da un impasto caotico di argille varicolori scagliose con pezzame lapideo di natura arenacea, marnosa, calcarea e calcarenitica.

Altri tre complessi olistostromali, peraltro di modeste dimensioni, sono stati riscontrati in sponda destra. Il più grande dei due mostrava una coltre detritica potente 15 m circa; indi cinque metri di argille varicolori scagliose con intercalazioni di argille marnose grigio-bluastre e di detriti arenacei; infine la formazione marnoso-arenacea.

La tettonizzazione spinta della formazione marnoso-arenacea è spiegabile con la presenza del bordo di sovrascorrimento rilevato poco sul versante destro. Ciò chiaramente in nessun modo condiziona i terreni di fondazione della diga.

3.2 Arenarie molassiche

Nella zona di sbarramento esse affiorano sotto forma di grosse placche, risparmiate dall'erosione e poggianti sulla formazione marnoso-arenacea. Queste arenarie sono attribuibili al Miocene superiore e sono costituite da arenarie grossolane, a composizione quarzoso-micacea, di colore giallastro o rossicce quando alterate. A luoghi è possibile rinvenire intercalazioni di lenti conglomeratiche e fiocchi di argille grigie. In genere sono debolmente cementate con cemento calcareo-marnoso e solo a luoghi fortemente cementate; in ogni caso presentano sempre un notevole stato di addensamento.

3.3. Argille varicolori

Nella zona di sbarramento affiora soltanto sul versante destro ed a quote molto più alte rispetto alla quota di coronamento.

Tale complesso è costituito da argille ed argille siltose di colore rosso violaceo, verdi e grigiastre, con intercalazioni di calcari e calcareniti bianchi.

3.4 Depositi alluvionali

A Sono costituiti da conglomerati, ad elementi poligenici (arenacei, calcarei e selciosi), immersi in una matrice sabbioso-limosa; da lenti sabbiose e limose più or meno grosse. Ai margini pedemontani in tali depositi sono state rinvenute delle interdigitazioni di detriti di falda e di frana, giunti dai versanti sovra incumbenti.

Lo spessore del materasso alluvionale in corrispondenza della zona d'imposta diga non supera in genere i 10 m, mantenendosi su valori medi pari a $5 \div 6$ m circa.

3.5 Coltre detritica

Questa copertura, prodottasi in parte per il disfacimento dei terreni sottostanti, in parte a seguito di movimenti franosi antichi e recenti, è presente su tutta l'area in esame con spessore variabile da punto a punto, Essa è costituita fondamentalmente da due litotipi. Il primo litotipo è rappresentato dai prodotti di disfacimento della formazione marnoso-arenacea. Si tratta in genere di pezzame di natura arenacea o marnosa immerso in una matrice marnoso-argillosa o argillosa. Questo litotipo è presente con continuità su tutto il versante destro,

Il secondo litotipo è molto più eterogeneo, in quanto costituito da materiale proveniente dalla formazione marnoso-arenacea, da eventuali olistostromi in essa inglobati e da materiale appartenente al complesso delle argille varicolori, Sicché tale litotipo si presenta come un impasto caotico con abbondante matrice argillosa, inglobante pezzame lapideo di varia natura.

Questo secondo litotipo è presente esclusivamente sul versante sinistro.

Localmente la coltre detritica comprende depositi argilloso-limosi di colore giallo ricchi di sostanze vegetali, con inglobati elementi lapidei di natura calcarea ed arenacei. Verosimilmente si tratta di depositi colluviali formati in avvallamenti naturali del terreno o in conche di paleofrane ed attualmente inglobati nella coltre detritica.

La potenza della coltre detritica è variabile da punto a punto. In genere però essa raggiunge mediamente i $12 \div 13$ m e solo eccezionalmente i 20 metri.

4. GEOTECNICA - INDAGINI GEOGNOSTICHE

La campagna geognostica venne svolta in base a un preliminare rilievo geologico di superficie dell'intero bacino d'invaso sotteso dalla prevista diga e nella ricostruzione di alcune sezioni geologiche interpretative. Vennero inoltre eseguiti rilievi di dettaglio del suddetto bacino e delle opere idrauliche accessorie, dell'opera di presa sul T. Tammarecchia e della adduzione delle acque tra l'opera suddetta e l'invaso sul Fiume Tammaro.

Vennero riportati nella planimetria della zona dello sbarramento, i lineamenti geologici di dettaglio e l'insieme delle indagini eseguite nella suddetta zona; il suddetto rilievo geologico, unitamente ai sondaggi geognostici hanno consentito di ricavare varie sezioni geologiche interpretative.

Veniva ricostruita, infine, una carta geologica della zona di sbarramento, una volta che fosse stata asportata la coltre detritica.

4.1. Sondaggi geognostici

Allo scopo di integrare i risultati della campagna di indagini svolte in occasione del progetto di massima, vennero eseguiti nella zona di sbarramento n. 22 sondaggi geognostici ed un pozzo profondo, aventi lo scopo di confermare la successione stratigrafica, la configurazione geotecnica dei terreni condizionanti l'invaso in generale e la zona di imposta diga in particolare.

Nelle formazioni interessate dalle opere accessorie vennero eseguiti 15 sondaggi: questi ultimi, come i precedenti, vennero eseguiti con sonda a rotazione a carotaggio continuo, con circolazione diretta di fango bentonitico.

Il carotaggio venne eseguito usando carotieri doppi del tipo Wire-Line. Nel corso delle perforazioni vennero prelevati n.42 campioni indisturbati: tale prelievo venne eseguito con campionature a tripla parete, a scarpa avanzata, con il tubo interno in PVC, della lunghezza di 60 cm ed un diametro $\phi_i = 102$ mm.

Per la ricerca di materiale grossolano fu necessaria l'esecuzione di n.20 sondaggi a percussione, di cui uno ubicato in alveo sul T. Tammarecchia a scopo stratigrafico, e n.19 in fondovalle Tammaro. Tali sondaggi, eseguiti per conoscere lo spessore del manto alluvionale, interessarono il tratto del fiume compreso tra la zona di impronta diga e la località Ponte Stretto.

La perforazione venne eseguita impiegando una sonda del tipo a percussione: il diametro della tubazione di rivestimento adottato fu di $\phi_e = 421$ mm.

Infine, in località Campo della Corte vennero effettuati n.2 sondaggi a rotazione per la ricerca di materiale lapideo.

4.2 Scavi geognostici

Allo scopo di completare la ricerca del materiale da costruzione e valutarne l'effettiva disponibilità, particolarmente del fino, in modo tale da definire il tipo di manufatto da erigere come opera di sbarramento, vennero eseguiti, con mezzi meccanici, n. 8 pozzetti con sezione superficiale di m 2 x 2 e profondi 6 m. Tali pozzetti, ubicati in maniera tale da integrare lo studio già iniziato con i sondaggi a percussione, consentirono di avere una visione diretta del materiale alluvionale in posto ed un esame granulometrico in situ del materiale stesso, secondo quanto si dirà più avanti.

Per la ricerca di materiale fino, vennero altresì eseguite, con mezzi meccanici, n.3 trincee alla profondità di 6 m e con sezione superficiale di 1 x 4 m ubicate sulla sponda destra del Tammaro e n.2 pozzetti con scavo profondo m 4 circa adiacenti ai pozzetti. In ognuno di detti scavi venne prelevato un campione rimaneggiato per ogni metro di profondità,

Infine, in zone situate al di fuori del bacino di invaso, vennero aperte n. 6 cave, per il prelievo di campioni di materiale calcareo.

4.3 Determinazione in sito del peso-volume e del contenuto naturale d'acqua mediante l'impiego di sonde nucleari

In n. 5 fori da sonda, appositamente ubicati lungo l'asse della diga, a quote prestabilite dalla D. L., vennero eseguite dai tecnici del Laboratorio di Idrogeologia dell'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Università di Bari, le determinazioni in oggetto.

Le misure del peso-volume vennero eseguite in base alla retrodiffusione di raggi gamma, dovuta ad urti elastici contro gli elettroni del terreno secondo l'effetto Compton, usando le sonde Nuclear Chicago mod. P20 e Nuclear Enterprises mod. 5591, la prima provvista di una sorgente di Cesio-137 e la seconda di una sorgente Cobalto-60.

L'impiego dei due tipi di sonde dipese dalla necessità di accertare se fossero avvenuti sgrottamenti del foro durante la perforazione e di determinarne la entità.

Questa informazione venne ottenuta in base alla diversa penetrazione che i raggi gamma del Cesio-137 e del Cobalto-60 hanno nel terreno, dovuta alla differente energia e con l'aiuto di curve di taratura appositamente predisposte.

Il contenuto naturale d'acqua venne valutato attraverso il rallentamento dei neutroni, prodotto principalmente dall'idrogeno in base a reazioni di tipo elastico neutrone-protoni, con la sonda Nuclear Enterprises mod. 5592, avente sorgente di Americio-241 Berillio. I valori vennero corretti, dove risultò accertato uno sgrottamento del foro, in base all'entità determinata con le sonde a raggi gamma.

E' da notare comunque che per le difficoltà evidenti offerte dal tipo di terreno (grossolano o solo a tratti lapideo) ad essere attraversato, non sempre l'impresa esecutrice riuscì ad evitare l'impiego di acqua di circolazione nella sonda, provocando giocoforza in tal modo l'alterazione di alcune misure. In particolare tali difficoltà obiettive inficiarono le prove stesse: a tal proposito la D.L. , ordinò la ripetizione del foro e delle misure.

4.4 Prove pressiometriche

In tutta l'area interessata dall'impronta diga furono eseguiti n. 16 fori da sonda, nei quali vennero fatte complessivamente n. 51 prove pressiometriche a varie profondità, oscillanti tra 19 e 39 m dal piano campagna.

Il principio generale del metodo "pressimetrico" consiste nello studio delle deformazioni in funzione della pressione applicata alla parete di una cavità cilindrica.

Le suddette prove vennero eseguite con il "Soil Caliper", strumento invero la cui validità fu già oggetto di notevole incertezza. Tenuto conto dell'estrema eterogeneità dei terreni attraversati, in particolar modo degli strati superficiali, si provvide all'installazione dello strumento perforando dapprima a rotazione con diametro ϕ 120; mm, fino ad una quota di un metro sopra il tratto in prova ed effettuando il tubaggio del foro con tubi ϕ =100 mm, in modo da creare una colonna di rivestimento che impedisse il franamento delle pareti e quindi il recupero del "Caliper".

A questo punto attraverso il rivestimento si perforava il tratto in prova, con diametro il più vicino possibile al diametro del pressimetro.

Questa operazione venne eseguita mediante un carotiere doppio a pareti sottili di ϕ BO mm, in modo tale da avere una visione diretta dei terreni su cui si eseguiva la prova. Quindi, sfilate le aste di perforazione e mantenendo sempre la colonna di rivestimento, venne calato lo strumento, dando così inizio alla prova nel tratto perforato.

I risultati delle prove pressiometriche hanno messo in chiara evidenza le notevoli difficoltà incontrate dai tecnici dell'impresa durante la esecuzione delle prove stesse, causa anche l'eterogeneità dei terreni attraversati, cui fecero riscontro, alcune volte, valori invero non del tutto attendibili del modulo di compressibilità.

E' da ricordare a questo proposito che la D.L. invitò l'impresa ad adoperare il pressimetro Menard, che, in numerose altre esperienze acquisite aveva fornito risultati di maggiore attendibilità.

4.5 Prove di carico su piastra

Vennero eseguite nel pozzo profondo ubicato in sponda sinistra, n.3 prove di carico su piastra.

Si premette, comunque, che lo scavo di detto pozzo venne effettuato non tanto specificatamente allo scopo di eseguire le prove in parola, bensì per avere la possibilità pratica di fare osservazioni dirette dal punto di vista sia geologico che geotecnico.

Scopo delle prove di carico fu quello di ricavare informazioni orientative sulla capacità portante dei terreni più scadenti della zona, ricavandone possibilmente il carico limite di rottura, nelle condizioni ritenute più sfavorevoli.

Le suddette prove vennero eseguite a tre profondità dal piano campagna, e precisamente -12,60 m, -15,50 m e -20,10 m; l'attrezzatura usata fu la seguente :

- Piastra \varnothing 600 mm, dello spessore di 70 mm
- Tubo \varnothing 280 mm
- Trave di contrasto NP 400
- Pompa idraulica.

Il contrasto e la zavorra di carico vennero ottenuti dall'appoggio creato sul rivestimento del pozzo.

4.6 Prove di assorbimento d'acqua

Allo scopo di confermare i risultati della campagna di indagini relativa al progetto di massima in 5 fori ubicati lungo l'asse dello sbarramento vennero eseguite n. 54 prove di assorbimento d'acqua in pressione.

Le prove vennero eseguite mediante l'uso di Paker ad espansione intestati su tratti cementati del foro. I risultati ottenuti non risultarono soddisfacenti per il colpo di lima laterale che avveniva tra la parete del foro ed il tappo cementizio.

Venne pertanto adottato il metodo del "cuscinetto filtrante in ghiaia", che si articola in pratica nelle seguenti fasi:

- 1) Perforazione di tutto il sondaggio e lavaggio del perforo con acqua limpida.
- 2) Individuazione dei livelli più caratteristici da parzializzare.
- 3) Creazione di un tappo cementizio a letto del tratto più profondo da provare.
- 4) Messa in opera di un tubo in PVC del $\varnothing i = 2"$ sfenestrato per il tratto interessato dalla prova.
- 5) Riempimento del foro con pietrisco fino a 20-30 cm dal letto del tratto da provare.
- 6) Creazione di un tampone immettendo nel foro della sabbia ed, in alcuni casi., della bentonite secca fino alla quota prevista come tetto del livello.
- 7) Creazione di un tappo cementizio superiore, seguendo le modalità del n.3

4.7 Studio della falda mediante impiego di piezometri

Per completare il quadro idrogeologico delle formazioni interessate dall'opera di sbarramento, in fori da sondaggio già eseguiti ed in fori appositamente ubicati a questo scopo vennero calati n.10 tubi piezometrici, al fine di determinare le variazioni stagionali della falda.

Tali tubi, del diametro esterno di 51 mm, erano della lunghezza di circa 13 m e, solo in alcuni casi, di 30 m; essi venivano sfenestrati da quota -2 m dal p. c. fino alla massima profondità.

Inoltre, allo scopo di valutare la permeabilità delle alluvioni del fiume Tammaro, venne eseguita la misura della velocità di filtrazione in un piezometro tramite l'uso di traccianti.

4.8 Analisi granulometriche svolte in sito

Allo scopo di effettuare una prima selezione dei campioni di materiale grossolano prelevati dai pozzetti scavati lungo l'alveo del Fiume Tammaro, vennero eseguite in sito (per la gran quantità di materiale da vagliare), per ogni pozzetto 2 o 3 analisi granulometriche, ricavate da altrettanti strati alluvionali diversi tra loro.

Non sempre fu possibile separare i diversi strati, tanto che in alcuni casi si dovette eseguire una sola prova, data l'esiguità dello spessore alluvionale presente, mentre in un pozzetto l'assenza di materiale grossolano non consentì l'esecuzione delle analisi in parola.

Ogni granulometria interessò un volume iniziale di 0,5 m³ di materiale, come veniva estratto. Quindi venne eseguita la separazione delle classi granulometriche mediante i setacci con apertura delle maglie, rispettivamente di 200 mm, 100 mm e 50 mm, come stato stabilito dalla D.L.

Ciascuna delle 4 frazioni isolate vennero pesate ed il passante all'ultimo setaccio venne accumulato in sacchi per l'inoltro in laboratorio, per il proseguimento dell'analisi stessa; sui ciottoli con $\varnothing > 200$ mm si eseguirono le misure dei tre diametri massimi ortogonali fra loro.

4.9 Prove geotecniche di laboratorio

Sui numerosi campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati durante i sondaggi, lo scavo dei pozzetti, delle trincee e l'apertura delle cave, si provvide a far eseguire presso laboratori specializzati* prove ed analisi geotecniche atte a definire le caratteristiche geotecniche dei materiali.

Più precisamente sui campioni indisturbati, prelevati dai terreni condizionanti l'opera di sbarramento, vennero determinate le seguenti caratteristiche:

- granulometria
- peso specifico
- peso-volume
- contenuto d'acqua
- limiti di Atterberg
- contenuto di carbonati
- compressibilità edometrica
- caratteristiche di resistenza a taglio.

* Laboratorio Geotecnica dell'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Università di Bari.
Laboratorio Geotecnico dell'Istituto di Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti dell'Università di Bari.

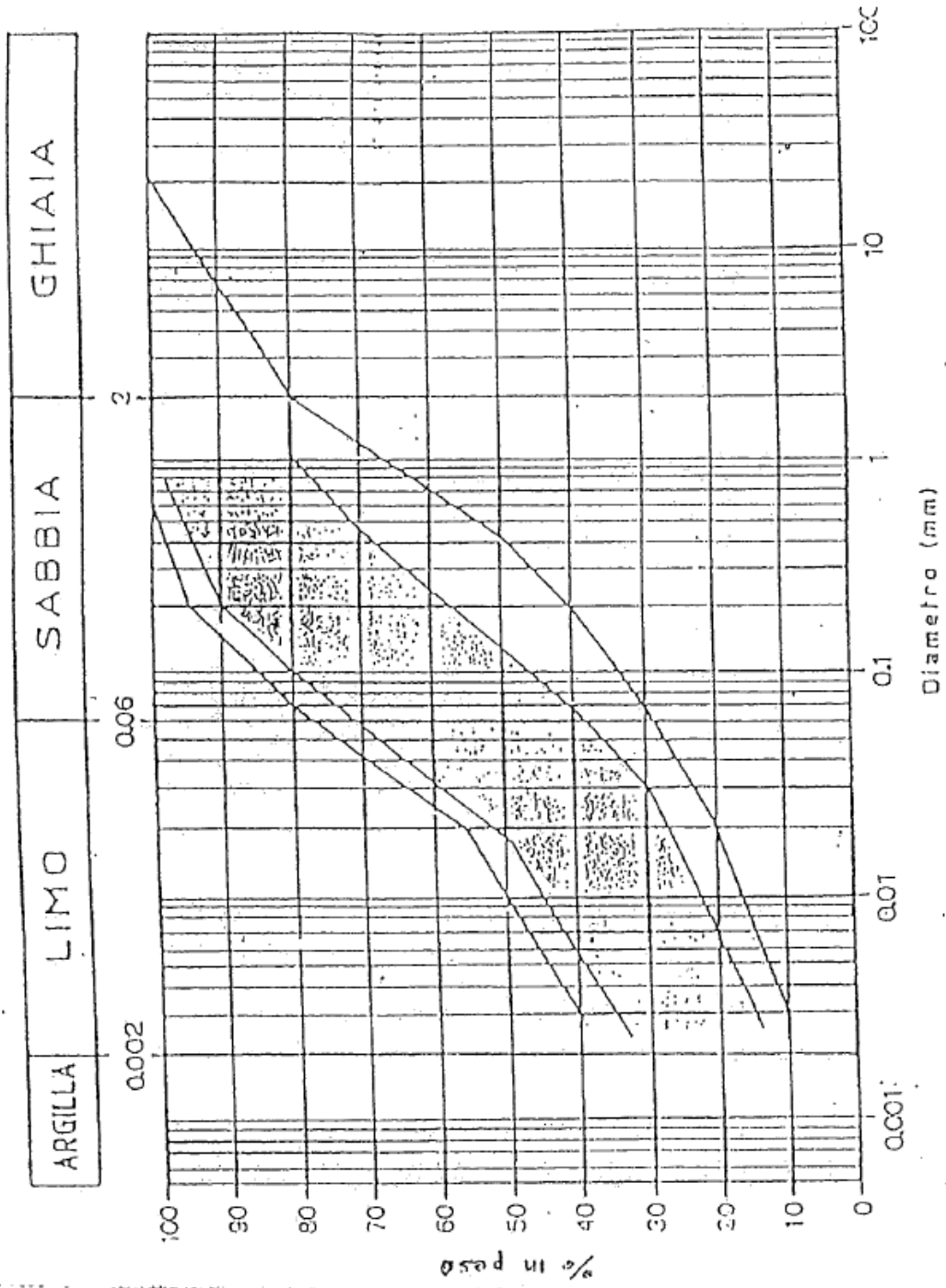
5. MATERIALI DEL CORPO DIGA.

Le caratteristiche dei materiali del corpo diga che verranno attraversati dalle perforazioni a distruzione previste per l'installazione dei nuovi piezometri sono riportate nella Relazione finale del 12.02.1999 dell'assistente governativo, ing. Antonio Magliulo. In detta Relazione sono riportati i fusi granulometrici dei materiali adoperati per la costruzione delle varie parti della diga.

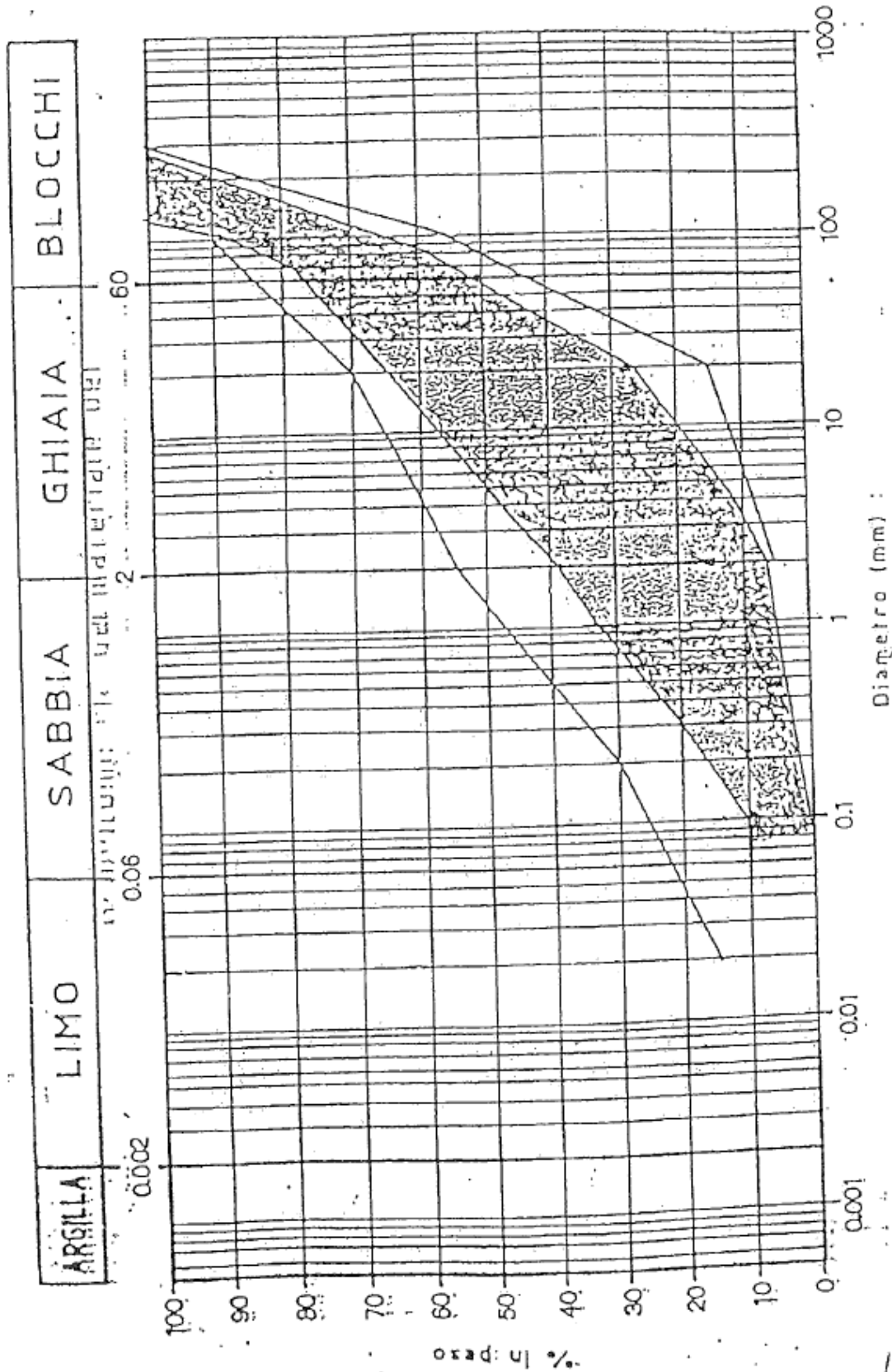
- Il nucleo centrale di tenuta è costituito da materiali limosi-sabbiosi, fig.1 allegata, compresi tra 0,003 m e 1mm. Il passante medio al 50% è di circa 0,06 mm (limite granulometrico superiore del limo)
- I semicorpi di monte e di valle (fianchi) sono stati realizzati con materiali ghiaiosi-sabbiosi, fig.2, con pietrame fino a un diametro massimo di 200 mm.
La percentuale media di ghiaia risulta di circa il 45%, quella della sabbia del 20% e il restante 35% costituito da pietrame tra 60 e 200 mm.
- La granulometria del materiale di transizione, fig.3, posto tra i semicorpi ed il nucleo è costituito da sabbia e ghiaia con percentuale di circa il 50% per ognuno. La sabbia ha granulometria compresa tra 2 mm e circa 30 mm.
- La granulometria del materiale dei tappeti filtranti, fig.4, è praticamente identica a quella del materiale di transizione prima descritto.

Ing. Giovanni Sportelli

FIG. 4



Granulometria del materiale del nucleo



Granulometria del materiale dei fianchi. (FIG. 2)

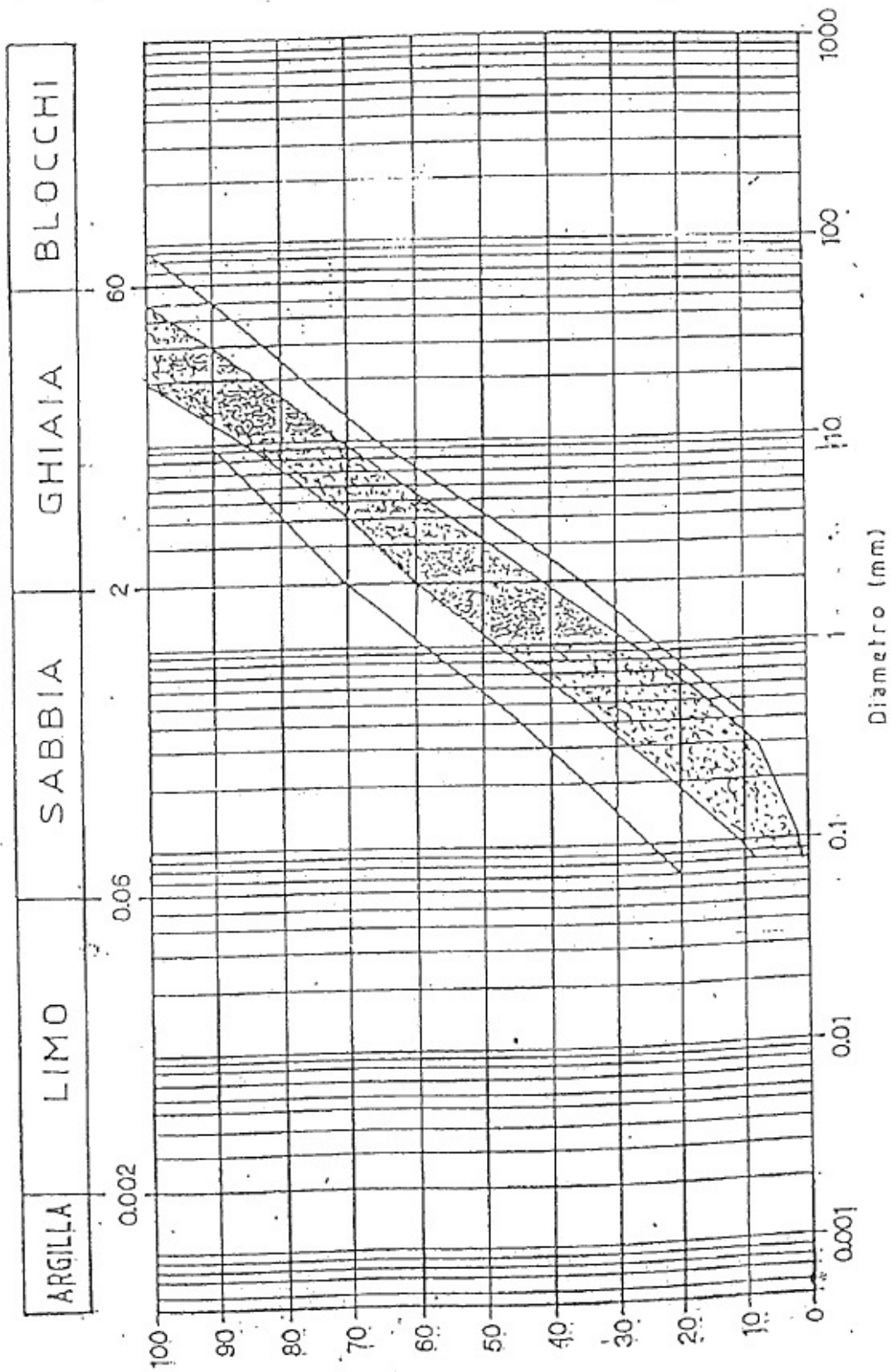


Fig.3 - Granulometria del materiale della zona di transizione.

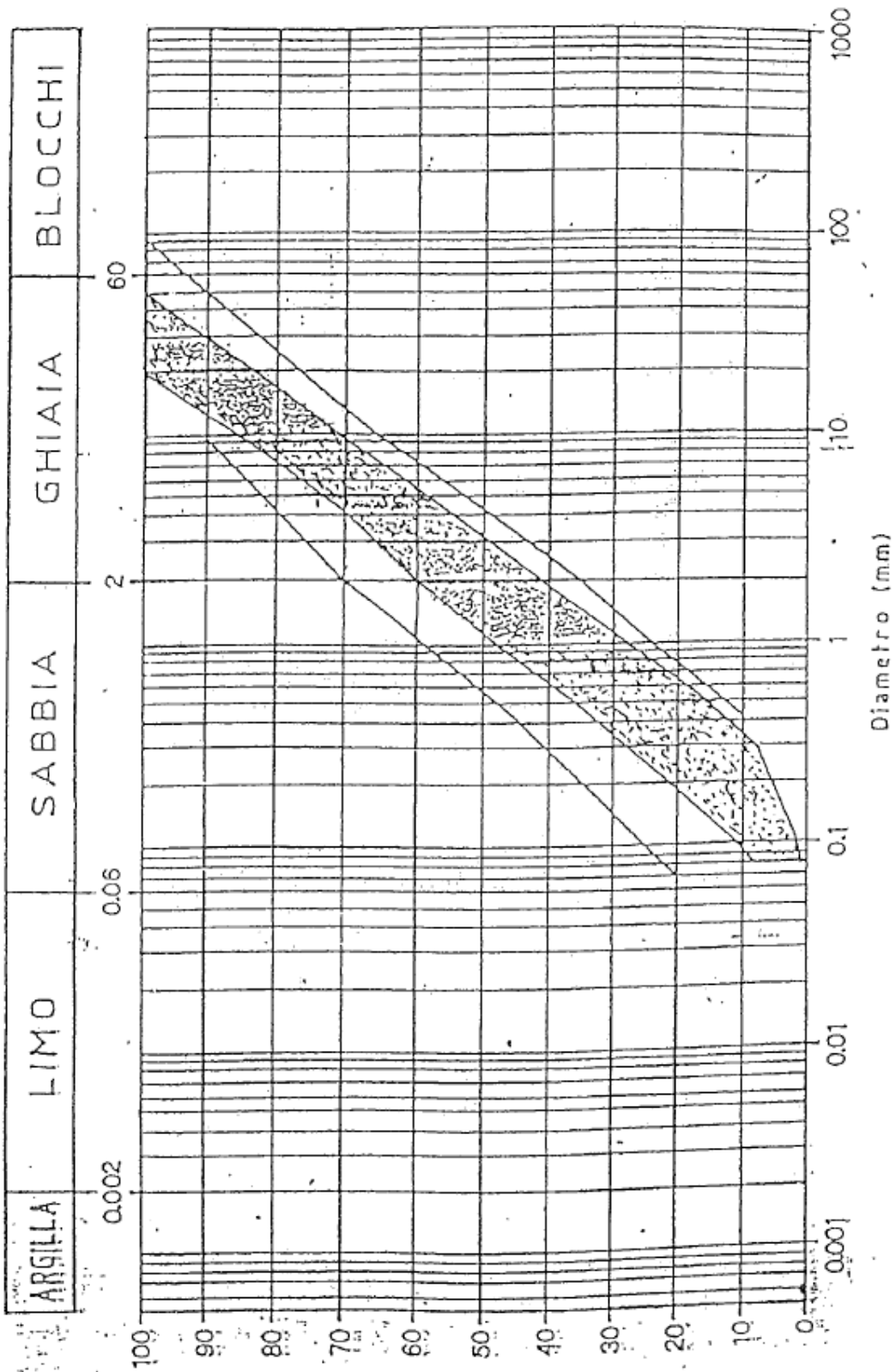


FIG. 4 GRANULOMETRIA DEL MATERIALE PER
TAPPETI FILTRANTI.