

GIAMBATTISTA DAL PIAZ

IL PROBLEMA GEOLOGICO
DELLA DIGA E DEL SERBATOIO IDRAULICO
DI PUBLINO IN PROVINCIA DI SONDRIO

IMPIANTO IDROELETTRICO COSTRUITO DALLA SOCIETÀ
ACCIAIERIE E FERRIERE LOMBARDE FALCK DI MILANO

(Con 3 figure nel testo e 6 tavole)



PADOVA
SOCIETÀ COOPERATIVA TIPOGRAFICA
1953

Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova

Volume XVII

P R E M E S S A

Per la notevole altitudine sul livello del mare e per la sua felice ubicazione in prossimità del grandioso sistema di impianti idroelettrici Venina-Armisa, a sud di Sondrio, il circo glaciale di Publino nell'alta valle del Livrio attrasse ben presto l'attenzione dei tecnici della Società ACCIAIERIE E FERRIERE LOMBARDE FALCK, che idearono di trasformare l'originario bacino naturale in un serbatoio idraulico di carattere stagionale.

La conca che comprendeva i due laghetti di Publino formò così oggetto, già molti anni or sono, di approfondite indagini da parte della *Sezione Impianti Idroelettrici* della « FALCK », sotto l'abile guida del suo Direttore, Dott. Ing. Mario SCALABRINI. Incaricato dei necessari rilievi e studi geologici fu il Prof. Giorgio DAL PIAZ, il quale nel 1934 preparò una relazione preliminare sulla possibilità di uno sbarramento immediatamente a valle dei laghi di Publino per creare il previsto serbatoio idraulico, relazione che si concludeva in senso pienamente favorevole.

Nel frattempo però i progetti che la Sezione Impianti Idroelettrici della « FALCK » aveva preso in considerazione per questo serbatoio erano stati sostanzialmente modificati rispetto all'inizio. In tal modo lo studio geologico predetto, compiuto quando il programma di sbarrare il circo di Publino era appena abbozzato, diventava inutilizzabile accennando a soluzioni ormai superate. Inoltre, successivamente a detta relazione, vennero eseguiti pozzi e trincee di assaggio e numerosi sondaggi, che fornirono nuovi e importanti elementi di giudizio. Per questi motivi il Direttore della Sezione Impianti Idroelettrici della « FALCK » ritenne indispensabile un nuovo studio geologico, che, anche in conformità al desiderio del Prof. Giorgio DAL PIAZ, venne affidato al sottoscritto.

Realizzata felicemente in questi ultimi anni la costruzione della diga a serbatoio di Publino, la Società ACCIAIERIE E FERRIERE LOMBARDE FALCK volle cortesemente acconsentire che venisse pubblicato lo studio geologico su questa importante opera idraulica. Alla Presidenza della predetta Società e al Dott. Ing. M. SCALABRINI, che ci fu sempre largo di consigli e informazioni e ci fornì i grafici e le belle fotografie che illustrano la presente memoria, desideriamo porgere anche da queste pagine l'espressione della nostra viva riconoscenza.

GENERALITÀ GEOGRAFICHE E GEOLOGICHE

La valle del torrente Livrio risponde a un lungo e profondo solco erosivo che incide con andamento quasi rettilineo il versante valtellinese della Catena Orobica ⁽¹⁾. Nell'insieme la valle è orientata all'incirca Sud-Nord, ma presso la sua testata spinge un ramo verso Sud Est, che superiormente si allarga a formare un tipico circo glaciale d'alta montagna. In origine il fondo del circo era parzialmente occupato dai due laghetti di Publino, che avevano il loro livello medio attorno a q. 2114 quello interno e a q. 2110 quello esterno (si veda il rilievo riprodotto nella tav. I, ove i due specchi d'acqua sono indicati rispettivamente come Lago superiore e Lago inferiore).

La conca glaciale di cui trattasi è scavata totalmente in rocce in posto, rappresentate per la massima parte dai cosiddetti « gneiss chiari », ai quali si sovrappongono sui fianchi del bacino parascisti vari (gneiss scistosi e micascisti), facilmente riconoscibili anche da lontano per la loro tinta bruno-rugginosa. Questi scisti cristallini sono tutti di età antichissima, sicuramente prepermiana e forse addirittura archeozoica. Sulla cresta meridionale del circo, dominata dal Pizzo Zerna (q. 2567) e dal Monte Masoni (q. 2631), si sviluppano terreni del Permiano inferiore, fra cui caratteristici conglomerati basali a facies di « verrucano », nonché arenariette minute e scisti ardesiaci grigi, nerastri o verdicci riferibili agli « strati di Collio ». I detriti di queste rocce si possono osservare con facilità sul fondo del bacino, frammischiati a trovanti di scisti cristallini, di quarziti, di porfiriti verdi filoniane ecc. ⁽²⁾.

E' di regola, nella morfologia dei circhi glaciali (al quale tipo appartiene come si è accennato anche la conca di Publino), che sulla fronte esterna si trovino degli sbarramenti rocciosi più o meno rilevati, che, chiudendo a guisa di soglia il bacino sul lato di valle, danno luogo alla formazione di uno o più laghetti.

L'origine dei circhi glaciali si spiega abbastanza facilmente ammettendo col DE MARTONNE ⁽³⁾ ch'essi derivino dalla trasformazione di una forma incavata precedente, che in generale era un bacino collettore torrentizio. L'erosione glaciale doveva svolgersi con intensità maggiore verso il punto di convergenza dei pendii, scavando così la conca a fondo ondulato. Essa era invece meno intensa presso l'inizio dell'antico canale di scarico del torrente, sia perchè il ghiacciaio terminava proprio là come av-

⁽¹⁾ Si consulti la tavoletta topografica alla scala 1:25.000 *Corno Stella - Sud Est* del Foglio 18 della Carta d'Italia.

⁽²⁾ La conca di Publino è illustrata dal punto di vista geologico in varie pubblicazioni italiane e straniere, alle quali rimandiamo il lettore desideroso di maggiori notizie sull'argomento, evitando così a noi di entrare in particolari descrittivi che qui sarebbero fuori luogo.

Fra i diversi lavori che trattano della località in esame ci limiteremo a ricordare i seguenti:

C. PORRO, *Alpi Bergamasche, Carta geologica* alla scala 1:100.000 rilevata negli anni 1895-1901, con *Sezioni geologiche e Note illustrative*, Milano 1903.

J. J. DOZY, *Die Geologie der Catena Orobica zwischen Corno Stella und Pizzo del Diavolo di Tenda*, « *Leidsche Geol. Mededeel.* », v. VI, 1935, pp. 133-220, con carta geologica alla scala 1:33.333 e profili alla scala 1:50.000.

L. U. DE SITTER e C. M. DE SITTER-KOOMANS, *The Geology of the Bergamasch Alps, Lombardia, Italia*, « *Leidsche Geol. Mededeel.* », v. XIV B, 1949, pp. 1-257, con carta geologica e profili alla scala 1:50.000 e con numerose tavole.

⁽³⁾ E. DE MARTONNE, *Traité de Géographie physique*, vol. II, *Le relief du sol*, 4ª edizione, Librairie Armand Colin, Parigi 1929, pp. 900-902.

viene per molti ghiacciai di circo attuali; sia perchè, scendendo verso la valle sottostante, perdeva in questo punto una parte della sua forza erosiva a causa dei crepacci e della diminuzione di spessore dovuta alla rottura di pendio e alla strozzatura del profilo vallivo. In tal modo si formavano le soglie rocciose levigate e arrotondate a dorso di montone come quella che sbarra la conca di Publino.

Nel nostro caso è probabile che l'escavazione del bacino sia stata completata quando l'antico ghiacciaio, durante gli ultimi stadi di ritiro, occupava con la sua fronte la piattaforma rocciosa dell'attuale circo; le due piccole depressioni, corrispondenti agli originari laghetti di Publino, sono verosimilmente in rapporto con due successive soste della lingua glaciale. Oggidì è scomparsa ogni traccia di ghiacciaio e, solo negli anni di maggiori precipitazioni nevose, permane durante l'estate qualche piccolo nevaio addossato alle pareti del circo.



FIG. 1. - Veduta del circo glaciale di Publino e delle tre selle attualmente sbarrate. Nella fotografia è visibile il Lago inferiore in parte svasato e l'estremità terminale del Lago superiore. Le linee bianche indicano il ciglio della diga principale e delle due dighette laterali. (Fotografia del Dott. Ing. L. CARATI).

La soglia rocciosa, discretamente elevata, che chiude verso valle l'intera conca di Publino, è incisa da tre selle di erosione: due laterali più alte e quindi asciutte ed una mediana, alquanto più profonda, attraverso la quale si scaricava l'emissario naturale dei due laghetti prima che venissero eseguiti i lavori per la costruzione della diga (v. fig. 1 e tavole I e II). L'origine di questi tre solchi è in gran parte riferibile all'attività erosiva dei vari torrenti sottoglaciali, che si esercitava allorchè l'antico ghiacciaio di Publino traboccava dalla soglia del circo per discendere nella sottostante valle del Livrio. L'azione della massa glaciale concorrevva nell'ampliare le tre incisioni e nel modellarle a forma di selle più o meno larghe, conferendo alle loro superfici rocciose il caratteristico aspetto arrotondato e levigato che presentano anche attualmente.

DATI TECNICI SULLA DIGA E SUL SERBATOIO DI PUBLINO

La particolare morfologia della soglia rocciosa che limita verso valle il circo di Publino, caratterizzata da una ripetuta successione di dossi e di insellature, ha imposto una soluzione ben determinata e si potrebbe dire obbligata al problema dello sbarramento. L'opera di ritenuta è costituita infatti da tre corpi distinti e precisamente da una diga principale del tipo arco-gravità in calcestruzzo di cemento, che chiude la depressione centrale, e da due dighette secondarie che sbarrano le selle laterali (v. tav. I, II e VI).

Per agevolare la lettura del lavoro crediamo utile riportare i principali dati tecnici relativi all'impianto in discussione, cortesemente fornitici dal Dott. Ing. M. SCALABRINI:

A) Diga principale

altezza massima sul piano di fondazione	m.	42
lunghezza al coronamento	m.	205,60
cubatura di calcestruzzo	mc.	33250

B) Dighetta nord-orientale

altezza massima sul piano di fondazione	m.	10,50
lunghezza al coronamento	m.	86,50
cubatura di calcestruzzo	mc.	2460

C) Dighetta sud-occidentale

altezza massima sul piano di fondazione	m.	8,00
lunghezza al coronamento	m.	43,70
cubatura di calcestruzzo	mc.	440
cubatura di pietrame	mc.	550

Gli scavi per le fondazioni dello sbarramento ammontarono complessivamente a circa 50.000 metri cubi, dei quali 36.000 in terra e 14.000 in roccia.

Mentre il ciglio diga si trova a quota 2135, il livello di massimo invaso giunge a quota 2134,40. La capacità complessiva ed utile del serbatoio è di mc. 5.000.000.

DESCRIZIONE GEOLOGICO-PETROGRAFICA DELLA LOCALITA' DI SBARRAMENTO E D'INVASO

Dei materiali in posto che prendono parte alla costituzione del circo, solo gli scisti cristallini e particolarmente gli gneiss chiari sono interessati dal serbatoio di Publino, poichè le formazioni permiane giacciono in una posizione troppo elevata per poter essere raggiunte dalle acque della ritenuta. Anche i paragneiss scistosi e i micascisti associati si trovano generalmente a una quota superiore a quella del livello di massimo invaso, eccettuata una sottile lama di questi terreni che discende dal versante destro del circo

per incunearsi entro gli gneiss chiari presso l'estremità settentrionale dell'antico Lago inferiore. Il limite nord fra il lembo di parascisti e la contigua massa di gneiss chiari è contrassegnato da una superficie di *contatto tettonico*, che si continua verso occidente passando a circa un centinaio di metri a valle della Baita dei Laghi (q. 2088). Come preciseremo meglio più avanti, gli scavi per l'imposta della diga principale hanno messo in evidenza che lo stesso lembo di paragneiss riaffiora sul fianco destro della sezione di sbarramento, ov'era in precedenza mascherato da una coltre di materiale morenico e detritico.

A prescindere dall'intercalazione di parascisti, cui abbiamo sopra accennato, le opere di ritenuta e il relativo serbatoio insistono esclusivamente sugli *gneiss chiari*, detti così da STELLA per la loro tinta bianco-lattea fino a verdiccia chiara che permette di distinguerli con grande facilità da tutte le altre rocce della zona (¹). In particolare si tratta di *ortogneiss muscovitici*, a tessitura un po' ghiandolare-lenticolare, che vanno considerati come prodotti metamorfici di originarie rocce intrusive a composizione granitica-engadinitica. Gli gneiss, oltrecchè molto laminati, sono pure talora contorti e arricciati. Essi fanno frequentemente passaggio a facies aplitiche quarzose e anche a vere e proprie quarziti, che rappresentano gli estremi prodotti di differenziazione in senso acido dell'antica massa eruttiva.

L'analisi petrografica, effettuata con la cortese collaborazione del Prof. Angelo BIANCHI su quattro campioni di gneiss chiari provenienti dal campo detritico a sinistra della soglia sbarrata, ha dimostrato che la composizione essenziale della roccia è data da feldispati (plagioclasti sodici prevalenti e microclino potassico subordinato), quarzo e mica muscovitica. In piccole quantità compaiono come accessori zoisite, apatite, clorite, ossidi di ferro e calcite. La grana cristallina è molto eterogenea, da fine a media. La struttura microscopica rivela come carattere fondamentale una intensa, generale deformazione meccanica, che si manifesta con la fratturazione del quarzo e dei feldispati e con la pieghettatura dei fasci lamellari di muscovite. In tal modo l'ortogneiss assume i caratteri di una cataclasite e in alcune parti addirittura di una milonite laminata. Però questa deformazione post-cristallina è essenzialmente risanata da una successiva cristallizzazione a grana finissima di quarzo, sericite e talora anche sostanza feldispatica, che ha tenacemente ricementato le fratture in modo da dare nuova compattezza e saldezza all'aggregato mineralogico della roccia.

L'analisi petrografica conferma dunque pienamente la favorevole impressione sulle proprietà tecniche degli gneiss chiari che si ricava dallo studio geologico sul terreno. Tale apprezzamento trova d'altronde una riprova sperimentale negli ottimi risultati che vennero forniti dai provini di calcestruzzo confezionati con inerti di questa roccia (v. pag. 15).

(¹) Queste rocce, che possiedono una larga diffusione nella Catena Orobica, furono riconosciute per la prima volta da A. STELLA e vennero descritte in vari lavori. Si consulti in proposito:

A. STELLA, *Contributo alla geologia delle formazioni pretriasiche nel versante meridionale delle Alpi Centrali*, « Boll. R. Comit. Geol. d'Italia », v. XXV, Roma 1894, pp. 83-114.

C. PORRO, *op. cit.*

S. W. TROMP, *La Géologie du Valle del Bitto et la tectonique des Alpes Lombardes*, « Leidsche Geolog. Mededeelingen », v. IV, 1932, p. 123.

J. J. DOZY, *op. cit.*

L. U. DE SITTER e C. M. DE SITTER-KOONMANS, *op. cit.*

L'accennata lama di parascisti, che affiora lungo la sponda settentrionale del Lago inferiore e sul fianco destro della sezione-diga, è costituita da un *paragneiss scistoso micaceo* a clorite, di colore grigio piuttosto chiaro, con tessitura ora nodulare ed ora invece irregolarmente laminata. I piani di scistosità della roccia presentano spesso una caratteristica lucentezza argenteo-sericea, dovuta all'addensarsi delle lamelle di mica muscovitica; talvolta essi mostrano pure numerose chiazze verdastre di clorite.

Al microscopio il paragneiss rivela una struttura scistoso-ondulata e risulta costituito essenzialmente da quarzo e miche sia di tipo muscovitico sia di tipo biotitico. A questi componenti essenziali si associano in quantità minori un feldispato sodico di composizione albitica e una clorite lievemente verdognola. L'ultimo minerale è con ogni evidenza di origine secondaria, derivando dalla trasformazione già notevolmente progredita della biotite in seguito ad un processo di alterazione idrotermale che ha determinato inoltre la separazione del titanio sotto forma di numerosi, minutissimi aciculi di rutilo, fittamente intrecciati, e del ferro sotto forma di nidi microgranulari di magnetite. Come minerali accessori si notano cristalli di granato, magnetite e apatite, nonché plaghe irregolari di calcite.

Per quanto riguarda la struttura, si può aggiungere che il quarzo manifesta una forte cataclasi quale effetto dell'intensa azione dinamica subita dalla roccia e rivelata anche dalla contorsione di molte lamelle micacee. Tuttavia la saldezza dell'aggregato cristallino non appare compromessa, per il fatto che tutta la roccia è come permeata da una più minuta e diffusa granulazione di quarzo che ha ricementato gli individui maggiori dopo il fenomeno di clastesi. Anche le plaghe e vene microgranulari di calcite hanno contribuito a questa azione di risanamento cristallino. Mancano prodotti di alterazione recente per attacco degli atmosferici, come risulta fra l'altro dalla perfetta conservazione dei granuli feldispatici. Ciò fa sì che i paragneiss scistosi, al pari degli gneiss chiari precedentemente descritti, offrano ottimi requisiti di compattezza e resistenza.

Il complesso roccioso, nel quale è contenuto il serbatoio di Publino, presenta *condizioni di giacitura* alquanto diverse da punto a punto. Numerose misure, eseguite lungo la ferrovia decauville che seguiva il fianco destro della soglia del circo sul suo versante di valle, hanno mostrato come in questo tratto la direzione degli gneiss chiari oscilla fra Nord 10° Ovest e Nord Ovest. La pendenza dei banchi gneissici si aggira intorno ai 35-40°, con immersione verso il quadrante nord-orientale. I paragneiss scistosi, che affiorano sul fianco destro della sezione d'imposta della diga principale, offrono i seguenti valori: presso il coronamento dell'opera, direzione Est-Ovest con pendenza di 55-60° verso il settentrione; più in basso e presso il contatto inferiore con gli gneiss chiari, direzione da Ovest Nord Ovest a Nord Ovest con pendenza variabile fra 20 e 45° verso Nord Nord Est e rispettivamente Nord Est. Infine l'Ing.re M. CARGNEL delle ACCIAIERIE E FERRIERE LOMBARDE FALCK ha rilevato alcuni elementi di giacitura degli gneiss chiari sulla sponda sinistra della sezione d'imposta, che crediamo utile riportare: in basso a q. 2095, direzione Ovest Nord Ovest e pendenza di 26° verso Nord Nord Est; a metà imposta presso q. 2120, direzione Est-Ovest con inclinazione di 30° a Nord; in alto a q. 2137, direzione Est Nord Est con pendenza di 32° verso Nord Nord Ovest.

Nell'insieme, la direzione prevalente dei banchi rocciosi è quasi parallela oppure più o meno obliqua rispetto all'asta valliva del Publino, mentre la pendenza immerge verso il fianco destro e talora anche verso valle. Tali condizioni di giacitura non corrispondono, ovviamente, al caso più favorevole che si potrebbe immaginare in via teorica; ciò nonostante però, data la grande compattezza e l'intimo legame che presentano gli scisti cristallini in generale e quelli della regione esaminata in particolare, non mutano le sostanziali buone proprietà tecniche dei materiali in cui è scavata la conca, la quale, dal punto di vista litologico, risponde pienamente allo scopo. Ciò va inteso sia a proposito della tenuta del bacino e sia riguardo la stabilità della roccia di appoggio della diga.

Passiamo ora a descrivere con qualche dettaglio le condizioni geologiche delle tre *insellature* della soglia del circo, con particolare riguardo alla depressione centrale che è occupata dall'opera di gran lunga più importante dello sbarramento.

La *sella destra* o di *Nord Est* era occupata da una piccola depressione pantanosa, attorno alla quale affioravano dossi rocciosi di gneiss chiari, arrotondati e levigati dall'azione glaciale. In corrispondenza all'incile della sella, la roccia in posto era mascherata da materiali detritici, ma la sua presenza a poca profondità venne riconosciuta con appositi scavi esplorativi. Su questo lato quindi un semplice muro di sostegno, costruito attraverso la parte più depressa della selletta, basta per assicurare la buona tenuta del serbatoio (v. fig. I e tavole I e II).

La *sella centrale* è separata dalla selletta destra mediante un robusto cocuzzolo di roccia in posto, sana e resistente, che mostra con grande evidenza gli effetti del modellamento glaciale. Verso occidente, la roccia in sede del cocuzzolo scompare ben presto sotto una coltre di materiale sciolto a grossi blocchi, che originariamente rivestiva tutto il fianco destro della sella centrale in corrispondenza alla sezione d'imposta. I blocchi sono formati da gneiss chiari e subordinatamente da arenariette scistose del Permiano; la presenza di queste ultime rocce ci assicura circa la natura prevalentemente morenica del deposito, che deve essersi originato quando l'antico ghiacciaio di circo del Publino sostava con la sua fronte presso l'attuale soglia della conca. Verso l'alto il materiale morenico si frammischia qua e là a detrito di falda, derivato dallo sfacelo in loco degli gneiss chiari (v. tav. V).

Già il fatto che all'estremità verso monte del fianco destro della sella centrale affiorasse un esteso lembo di gneiss chiari, lasciava sperare che in corrispondenza alla vicina imposta della futura diga lo spessore della copertura morenico-detritica non fosse molto rilevante. Queste speranze hanno trovato piena conferma nei risultati delle accurate ricerche esplorative condotte dalla Direzione Impianti Idroelettrici della Società ACCIAIERIE E FERRIERE LOMBARDE FALCK. Infatti le esplorazioni praticate per mezzo di numerosi sondaggi a percussione dimostrarono ben presto che il sostrato roccioso del fianco destro si trovava a soli pochi metri di profondità (v. tav. IV). Successivamente gli scavi per le fondazioni della diga consentirono di rilevare il profilo della roccia lungo l'intero sviluppo della sezione d'imposta, quale risulta dall'unito spaccato (tav. II).

I lavori di scasso hanno permesso inoltre di constatare che la maggior parte del fianco destro della sella centrale è formata dai paragneiss scistosi prima descritti, che rappresentano la continuazione delle rocce analoghe affioranti presso la sponda settentrionale del Lago inferiore. Anche la galleria per lo scarico di fondo si apre nei medesimi parascisti (v. tav. III, fig. 1). Invece la parte più bassa del fianco destro della sezione d'imposta si trova nei soliti gneiss chiari, che, come si è già accennato, formano pure l'intera sponda sinistra della sella centrale, nonché le due depressioni laterali.

Il contatto superiore fra gneiss chiari e paragneiss scistosi è contrassegnato da un piano di scorrimento molto netto, con direzione Est-Ovest e pendenza da media (45°) a piuttosto forte (60°) verso il settentrione, che è stato messo a giorno dagli scavi presso q. 2138 circa (v. tav. II e V). Questo disturbo tettonico, cui abbiamo già accennato nella prima parte della presente memoria, corrisponde senza alcun dubbio alla « *Laghi di Publino - Aufschiebung* » di J. J. Dozy⁽¹⁾.

Subito sopra il piano di movimento si trovano gli gneiss chiari, che formano il cocuzzolo sulla destra della sella centrale. Presso l'immediato contatto tettonico gli gneiss diventano cataclastici, presentando l'aspetto di una tenace breccia di elementi scistosi, a fondo grigio chiaro cosparso di chiazze irregolari, brune e biancastre.

All'esame microscopico la roccia rivela una tipica struttura brecciata (cataclastica), nella quale i maggiori componenti mineralogici costituiti da quarzo e feldispati (plagioclasio sodico e subordinatamente microclino potassico) appaiono frantumati, deformati e ricementati in posto. Qua e là si notano plaghe più intensamente macinate, ma anch'esse, come i maggiori individui mineralogici, sono tenacemente risaldate. I prodotti di neogenerazione, che hanno assunto funzione di cemento microcristallino, sono rappresentati essenzialmente da quarzo, sericite e clorite. Questi stessi minerali in finissimo aggregato riempiono anche una fitta rete di esili fessure, che costituiscono come una sottile trama di materiale legante. Ad essi si associa in modo eterogeneo, a chiazze, a nidi e a vene, anche una sostanza amorfa ocracea di natura limonitica. Nel complesso, per questi intimi processi di ricementazione e di risanamento microcristallino, la roccia possiede un notevolissimo grado di tenacità e compattezza, come si può rilevare all'esame sul terreno.

Subito sotto al ricordato piano di scorrimento affiorano scisti nerastri o grigi molto scuri, milonitici, fortemente schiacciati e laminati, che raggiungono uno spessore di due metri o poco più. Sono i paragneiss muscovitico-cloritici, che intense sollecitazioni meccaniche hanno trasformato in quei tipici prodotti del metamorfismo regressivo detti *diaforiti* o *scisti diaforitici*. Si tratta di materiali teneri più o meno sfatti, che, almeno in superficie, si lasciano rompere e sfaldare con tutta facilità.

La roccia è spesso tinta da una patina rugginosa e presenta un'irregolare tessitura laminata e finemente ondulata. Al microscopio rivela un'intensissima milonisi, cioè una minuta macinazione dei suoi costituenti fondamentali (quarzo, feldispatto, muscovite e clorite), accompagnata da una energica laminazione e da una successiva ricementazione microcristallina, determinata da minutissimi elementi di quarzo e da sottili fascetti la-

⁽¹⁾ J. J. Dozy, *op. cit.*, pp. 205-206, fig. 8, profilo 8 della tav. II e carta geologica.

mellari di mica scagliosa sericitica. Alcune minute fratture appaiono invece risaldate da una sostanza amorfa ocracea di composizione limonitica.

La grana cristallina è eterogenea e varia notevolmente da letto a letto nel campo microscopico, cosicchè anche per questo motivo, oltrecchè per le deformazioni subite, la compattezza e la resistenza del materiale risultano pure molto diverse da punto a punto.

In corrispondenza all'imposta destra della diga l'accennato piano di scorrimento e la sottostante fascia di paragneiss milonitici nerastri vengono ad affiorare sopra la quota di massimo invaso del serbatoio. A causa delle sue particolari condizioni di giacitura (direzione Est-Ovest con pendenza a Nord di 45-60°), questo disturbo tettonico man mano che scende in profondità tende ad allontanarsi sempre più dalla sezione diga. Per tali motivi e avendo presente il tipo di struttura adottato nel caso del Publino (diga ad arco-gravità), appare certo che la presenza della sottile intercalazione di rocce schiacciate e laminate non potrebbe in alcun modo compromettere la stabilità dell'opera di sbarramento.

Rimane ora da considerare la questione della tenuta dei materiali milonitici, in quanto la dislocazione di cui trattiamo attraversa l'intero fianco destro della sella centrale, entrando verso monte nell'area del serbatoio e abbassandosi verso valle alquanto al disotto dell'invaso. Già il fatto che gli scisti milonitici fossero stati fortemente compressi e serrati dalle sollecitazioni orogeniche e il notevole spessore trasversale del fianco destro della sella inducevano ad essere ottimisti nei riguardi di questo problema. Anche la ricementazione quarzoso-sericitico-ocracea, cui abbiamo prima accennato, appariva tale da conferire alle miloniti un notevole grado di compattezza e d'impermeabilità. Tuttavia, per eliminare ogni dubbio in proposito, si è ritenuto opportuno di praticare 12 fori entro la fascia milonitica effettuandovi una serie di prove idrauliche di tenuta e di prove di cementazione.

Iniettati d'acqua i fori a una pressione di 15 atmosfere per la durata di 10 minuti la perdita è stata, come massimo, di litri 0,25 per minuto al metro e quindi molto inferiore al limite di tolleranza indicato dal LUGEON [un litro al minuto per metro lineare sotto una pressione di 10 Kg. durante 10 minuti ⁽¹⁾].

Tutti i fori vennero successivamente iniettati con boiaccia di cemento molto liquida (acqua 2 cemento 1). Alla pressione di 25 atmosfere si è avuto un assorbimento insignificante: infatti sul totale di 12 fori per complessivi metri lineari 58 si è avuto un assorbimento di cemento di Kg. 120 dovuto essenzialmente al riempimento dei fori ed a qualche perdita superficiale.

I favorevoli risultati di queste esperienze, oltre a dare la desiderata garanzia circa la buona tenuta della zona di schiacciamento, sono interessanti anche da un punto di vista generale, provando che in certi casi le miloniti degli scisti cristallini si comportano come materiali praticamente impermeabili.

Sotto ai prodotti milonitici affiorano i paragneiss normali, descritti in precedenza. Queste rocce, assai unite e compatte, offrono ottime proprietà di tenuta e di resistenza, senz'altro paragonabili a quelle degli gneiss chiari. Nel mezzo dell'intercalazione di paragneiss si trova una piccola *faglia*, che attraversa obliquamente il fianco destro della

⁽¹⁾ M. LUGEON, *Barrages et géologie. Méthodes de recherches, terrassement et imperméabilisation*, Lausanne, Librairie de l'Université F. Rouge et C.ie, 1933, p. 87.

sella centrale con un rigetto di circa un metro e mezzo. La faglia è completamente chiusa e non ha quindi alcuna importanza ai fini pratici.

Il limite inferiore fra i paragneiss scistosi e gli gneiss chiari formanti il piede dell'imposta destra risponde ad un *contatto indubbiamente primario*, caratterizzato dalla perfetta continuità e dall'intimo legame fra le due rocce. Nessun dubbio quindi potrebbe affacciarsi per quanto riguarda la saldezza e la tenuta della zona di passaggio.

Il fondo piuttosto piatto della sella centrale era occupato da un materasso di materiali morenici frammischiati ai depositi alluvionali dell'emissario del bacino. Le ricerche esplorative, condotte per mezzo di sondaggi, pozzi e cunicoli, avevano dimo-

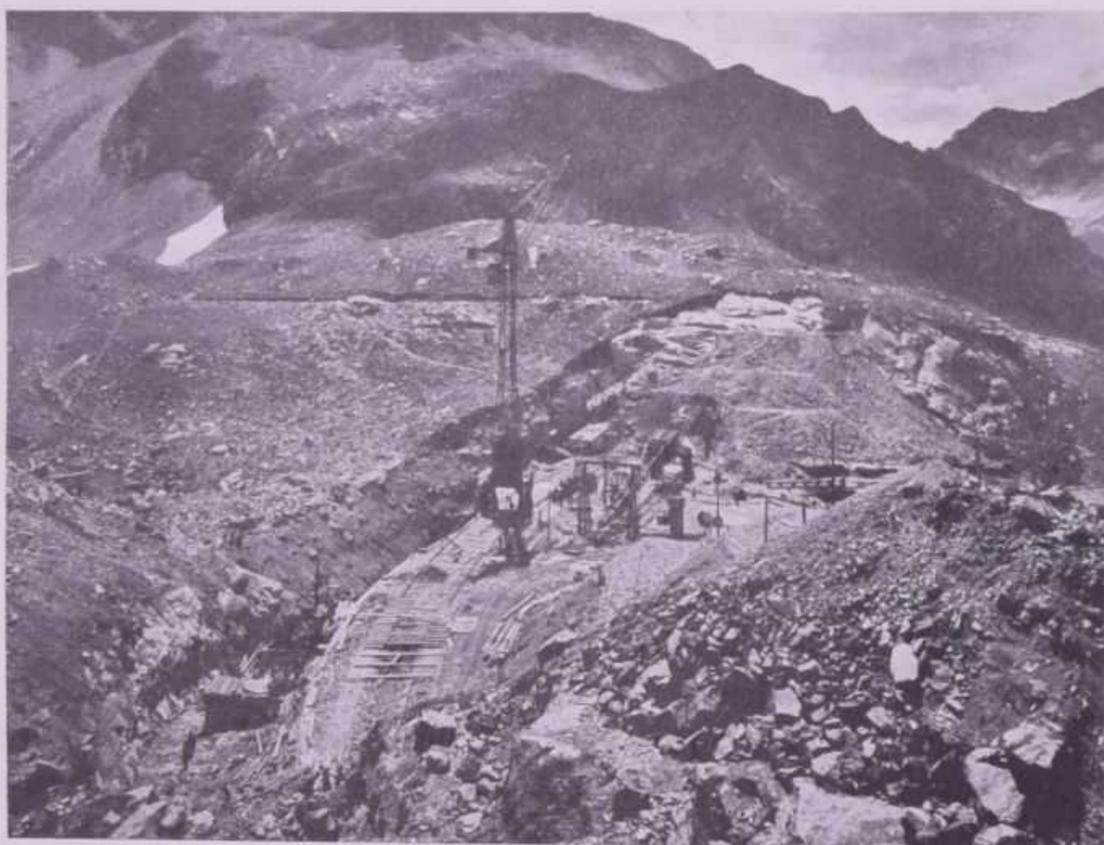


FIG. 2. - Scavi di fondazione per la diga principale quasi ultimati. Sono particolarmente visibili il fondo e il fianco sinistro della sezione d'imposta.
(Fotografia N. 455 della Società Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck).

strato che anche in questo tratto della sezione il basamento roccioso si trovava a una profondità moderata, aggirantesi attorno alla decina di metri o poco più in corrispondenza all'asse di riferimento diga.

A monte dello stesso asse di riferimento il subalveo roccioso si deprime sensibilmente, come avevano rivelato i sondaggi n. 31 e 33, che dovettero scendere rispettivamente fino alla profondità di metri 13,75 e 11,63 prima di incontrare la roccia in sede (v. tav. IV). A valle dell'asse-diga, il fondo roccioso della sella tende dapprima a innalzarsi per un'altezza di pochi metri, per poi deprimersi abbastanza rapidamente: infatti, mentre la roccia in posto sale di metri 3,30 nel tratto compreso fra il sondaggio n. 9 sull'asse di riferimento diga e il pozzetto superiore (n. 4), essa è già scesa di metri 6,40 nel pozzetto inferiore (n. 1) rispetto alla quota raggiunta in quello più a monte. Risultò così dagli assaggi esplorativi che il subalveo roccioso della sella centrale forma una *soglia*

in contropendenza, il cui culmine si trova poco a valle dell'asse di riferimento diga (v. sezione longitudinale della galleria dello scarico di esaurimento, tav. III, fig. 2).

Questa precisa conoscenza della morfologia del sostrato roccioso della sella permise di impostare l'opera di sbarramento sul versante verso monte di detta soglia, vale a dire nella situazione migliore dal punto di vista statico.

La galleria dello scarico di esaurimento, che si apre a q. 2092 sull'alveo dell'emissario raggiungendo 110 metri di lunghezza fra il suo imbocco e il solito asse della diga, ha attraversato per gli ultimi 26 metri verso monte la roccia in posto (gneiss chiari), che si presentava complessivamente sana e compatta (v. tav. III, fig. 2). A circa 105 metri dall'imbocco fu incontrata una forte venuta di acqua sul lato sinistro (orografico) dello scavo, al piede del passaggio tra roccia e copertura morenico-alluvionale.

Il fianco sinistro della sella centrale presentava vari lembi di gneiss chiari, arrotondati e levigati dall'azione glaciale, che venivano a giorno frammezzo a una coltre di materiali morenici. Già alcuni sondaggi, pozzi e trincee avevano rivelato l'esistenza a piccola profondità della roccia in posto laddove essa era nascosta dalla morena. All'epoca della nostra ultima visita (30-IX-1949) era ormai in corso di avanzata esecuzione lo scavo della trincea per l'immorsamento del fianco sinistro della diga. Gli scavi avevano messo in evidenza la roccia in sede sull'intera superficie d'imposta, consentendoci di accertare che anche qui gli gneiss chiari si trovavano in ottime condizioni di freschezza e compattezza.

A circa metà altezza dell'imposta sinistra esiste un filoncello di *porfirite verdastra*, che misura uno spessore di 30-40 cm. La porfirite è sana, compatta, ed appare intimamente legata agli gneiss chiari incassanti; per tale motivo, la presenza del piccolo filone non diminuisce menomamente la continuità e la saldezza della massa rocciosa che sostiene il corrispondente fianco della diga.

Ricordiamo infine che per impermeabilizzare la roccia interessata dalla fondazione della diga principale vennero eseguiti 174 fori lunghi ciascuno circa 6 metri, complessivamente circa 1000 m., nei quali sono stati iniettati alla pressione di $15 \div 25$ atmosfere circa 200 Ql. di cemento pari a circa Kg. 20 per metro lineare di foro, quindi una quantità piccolissima, il che conferma l'ottima condizione della roccia stessa.

Al primo invaso massimo raggiunto il 26 ottobre 1952 le perdite per infiltrazioni all'attacco fra roccia e muratura sono risultate di circa litri 0,5 al secondo.

La *sella sinistra* o di *Sud Ovest* ha quasi la stessa profondità di quella destra e presenta la forma di una depressione relativamente lunga e stretta. Come già si è detto, essa è stata chiusa con uno sbarramento secondario costituito da un muro alto alcuni metri (v. fig. 1 e tavole I e II).

Le parti inferiori dei fianchi della sella sono rivestite da grossi blocchi di frana, che sul fondo si frammischiano a materiale morenico e a detriti più minuti di rimaneggiamento e deposito acqueo. La roccia in posto (gneiss chiari) affiora però su ambo i lati della valletta, a pochi metri di altezza sopra il fondo della stessa.

La presenza di una pozza pantanosa presso il colmo della sella aveva lasciato sperare che il sostrato roccioso fosse poco lontano dalla superficie del suolo e queste favo-

revoli previsioni vennero confermate dai due pozzetti esplorativi (n. 5 e 6) aperti sul piatto fondo della valletta. Alla data del nostro ultimo sopralluogo gli scavi per l'imposta del piccolo sbarramento avevano messo allo scoperto sulla maggior parte della sezione la roccia in sede, che appariva costituita da gneiss chiari, arrotondati e levigati dagli antichi ghiacciai. L'andamento del profilo roccioso e lo spessore della coltre di materiali sciolti, quali risultavano al termine dello scasso, sono espressi graficamente nella sezione geologica della tavola II. Gli gneiss venuti a giorno sul fondo della trincea erano qual più qual meno alterati nelle loro parti superficiali, ma già a una profondità variabile fra i trenta centimetri e il mezzo metro si trovava la roccia in buone condizioni.

IL MATERIALE INERTE DEI CALCESTRUZZI

Il *materiale inerte* occorrente per preparare i calcestruzzi adoperati nella costruzione dello sbarramento venne tratto da una frana a grossi blocchi (*ganda*), che trovasi a sinistra della sella sud-occidentale e che è costituita da elementi di gneiss chiari, laminati e talora un po' occhiadini, come pure dalla roccia in posto sovrastante della stessa natura (v. fig. 3).



FIG. 3. - Cava di pietrame negli gneiss chiari, dalla quale sono stati ricavati gli inerti per i calcestruzzi. La cava si trova a sinistra della sella sud-occidentale del circo di Publino.

(Fotografia N. 451 della Società Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck).

Per le sue caratteristiche petrografico-strutturali, illustrate in precedenza, il materiale risultò pienamente idoneo allo scopo richiesto, come venne dimostrato dalle esperienze regolamentari eseguite tanto su campioni di roccia quanto su provini di calcestruzzo.

Il modulo elastico determinato su blocchetti ricavati da campioni di questa roccia e sottoposti al carico di $50 \text{ Kg.} \times \text{cm}^2$ è risultato di $300 \div 400.000 \text{ Kg.} \times \text{cm}^2$. La resistenza di cubi di roccia di 7 cm. di lato è risultata di $1000 \div 1200 \text{ Kg.} \times \text{cm}^2$.

Il carico di rottura a compressione del calcestruzzo della diga principale determinato su numerosi cubi da cm. 20 di lato è risultato mediamente di $260 \text{ Kg.} \times \text{cm}^2$ a 28 giorni di stagionatura e di $300 \text{ Kg.} \times \text{cm}^2$ a 90 giorni.

CONCLUSIONI

In base a una lunga serie di studi geologici, di ricerche esplorative e di prove tecniche fu possibile accertare che la conca dei laghi Publino si prestava favorevolmente a essere trasformata in un serbatoio idraulico.

Per la particolare conformazione della soglia del bacino, incisa da selle più o meno profonde, lo sbarramento dovette risolversi (come mostrano le unite figure) in tre corpi distinti e precisamente in una diga ad arco-gravità di 42 metri d'altezza, destinata a chiudere la sella centrale, e in due muri laterali alti alcuni metri.

La natura e le condizioni della roccia d'imposta (gneiss chiaro e subordinatamente paragneiss scistoso) garantivano la perfetta riuscita dell'opera agli effetti sia della stabilità della struttura principale e degli sbarramenti secondari, sia della buona tenuta del terreno di fondazione.

La sottile fascia milonitica riscontrata sul fianco destro della sella centrale, subito sopra il coronamento della diga, non poteva destare alcuna preoccupazione. In effetti, all'atto dell'entrata in carico del serbatoio, questo disturbo tettonico non diede luogo al menomo inconveniente, confermando così le favorevoli previsioni basate sullo studio geologico-petrografico delle miloniti nonchè sui risultati delle prove d'acqua e dei saggi di cementazione.

La conca sommersa dalle acque del nuovo lago artificiale è contenuta per intero entro scisti cristallini, rocce che in grandi masse funzionano notoriamente come terreni impermeabili. Tale comportamento è stato comprovato ancora una volta dalla perfetta tenuta del serbatoio di Publino.

Il materiale inerte necessario per confezionare i calcestruzzi adoperati nella costruzione dello sbarramento venne tratto da una cava di gneiss chiari che venne aperta sulla sinistra della soglia sbarrata, dopo che le prove tecniche avevano fornito esito del tutto soddisfacente.

In conclusione, collaudata l'opera con risultati ottimi sotto ogni riguardo, si può affermare che la conca di Publino, per le sue favorevoli caratteristiche naturali, ha risposto pienamente allo scopo previsto della sua trasformazione in un serbatoio idraulico di carattere stagionale.

Padova, 20 febbraio 1953.

Istituto di Geologia, Paleontologia e Geologia applicata dell'Università.

INDICE

Premessa	pag.	3
Generalità geografiche e geologiche	»	4
Dati tecnici sulla diga e sul serbatoio di Publino	»	6
Descrizione geologico-petrografica della località di sbarramento e d'invaso	»	6
Il materiale inerte dei calcestruzzi	»	14
Conclusioni	»	15

TAVOLA I.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA I.

Planimetria generale della conca dei Laghi Publino trasformata in serbatoio e delle tre selle sbarrate. Molto evidente la morfologia glaciale del bacino e della soglia che lo chiude verso valle.

(Disegno N. 15176 della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*).

Gb. DAL PIAZ - D





RILIEVO DEI LAGHI DI PUBLINO

0 20 40 60 80 100 mt.



TAVOLA II.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA II.

Sezione sviluppata della soglia del circo glaciale di Publino con le tre selle sbarrate (la sezione è vista guardando da monte verso valle).

Il profilo della roccia riprodotto nel presente grafico è quello effettivo risultante dagli scavi del materiale di copertura eseguiti nel 1949. Esso presenta qualche lieve differenza rispetto a quello ricavato dai sondaggi effettuati nel 1948. Gli elementi geognostici forniti da questi assaggi esplorativi sono illustrati nella tavola IV.

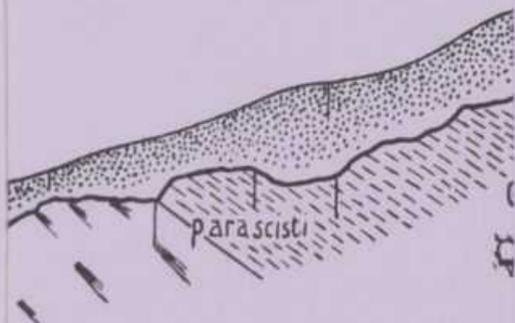
(Disegno N. 15142 bis della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*).

RATE - VISTA DA M

50 m.



ALE



2110			2120
2106.49	2110.87	2108.94	

TAVOLA III.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA III.

Fig. 1. - Sezione longitudinale lungo la galleria dello scarico di fondo che si svolge quasi totalmente nei paragneiss scistosi (indicati come « scisti » sul disegno).

» 2. - Sezione longitudinale lungo la galleria dello scarico di esaurimento. La roccia in posto è rappresentata da gneiss (ortogneiss) chiari. Il grafico mostra con grande evidenza che il subalveo roccioso della sella centrale forma una soglia in contropendenza, sul cui versante di monte venne impostata l'opera di sbarramento.

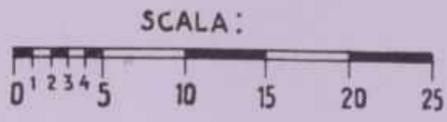


Fig. 1

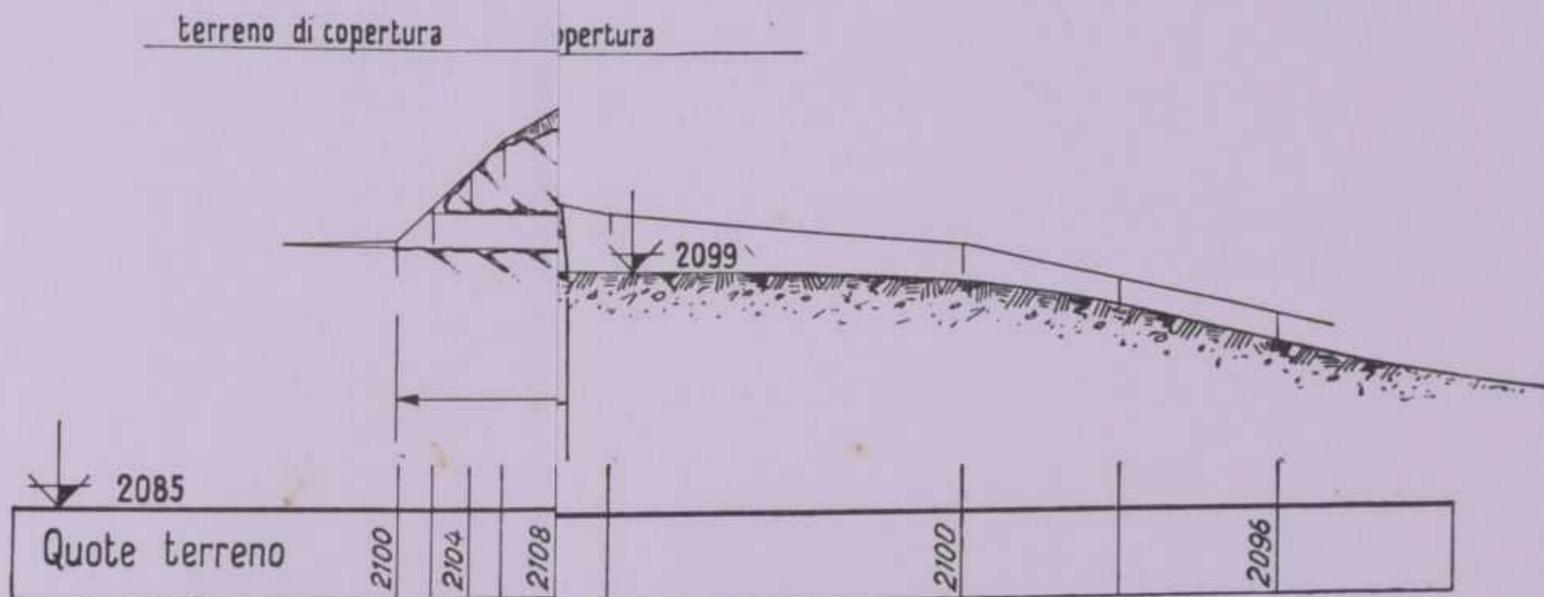
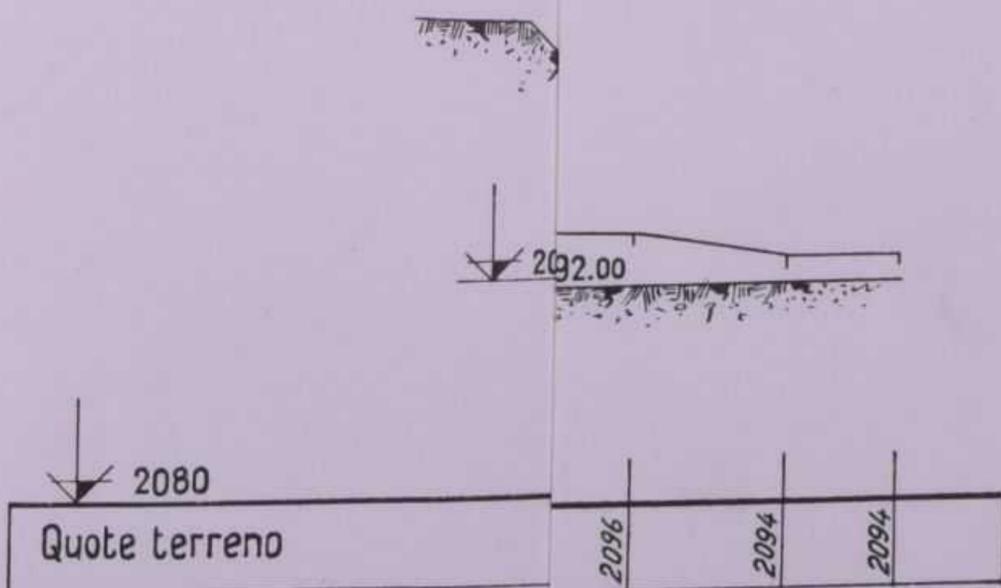


Fig. 2



SEZIONE LONGITUDINALE LUNGO LA GALLERIA DELLO SCARICO DI FONDO

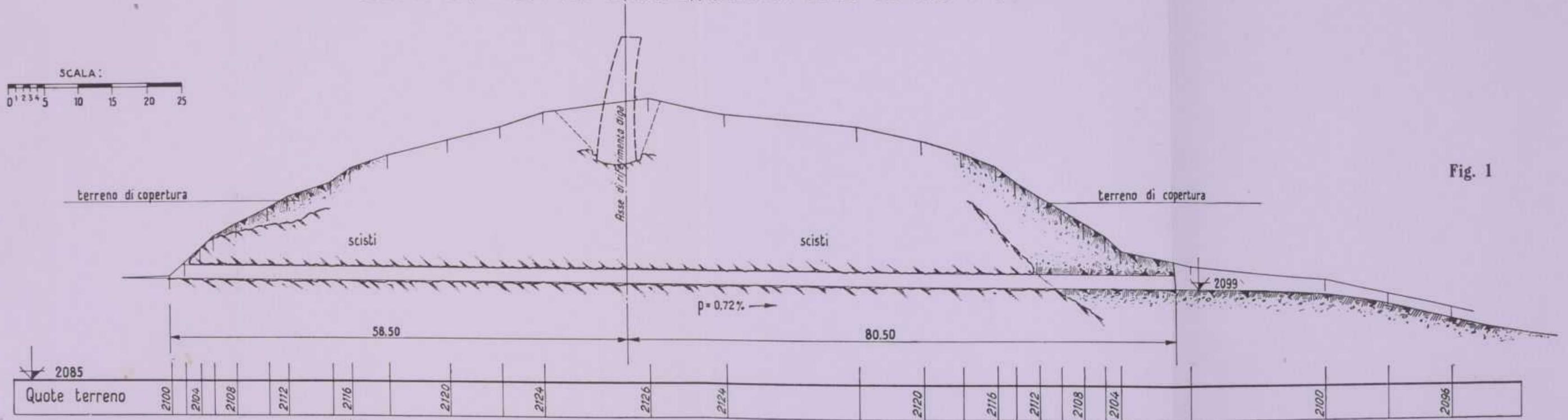


Fig. 1

SEZIONE LONGITUDINALE LUNGO LA GALLERIA DELLO SCARICO DI ESAURIMENTO



Fig. 2

STATE OF NEW YORK
IN SENATE
January 15, 1902.

REPORT
OF THE
COMMISSIONERS OF THE LAND OFFICE
IN ANSWER TO A RESOLUTION PASSED BY THE SENATE
MAY 15, 1899.

ALBANY:
J. B. WOODWARD, STATE PRINTER,
1902.

ALBANY: J. B. WOODWARD, STATE PRINTER, 1902.

ALBANY: J. B. WOODWARD, STATE PRINTER, 1902.

TAVOLA IV.

The table is a large rectangular grid with approximately 10 columns and 15 rows. The lines are very faint, and the text within the cells is completely illegible. It appears to be a ledger or a data table from an old document.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IV.

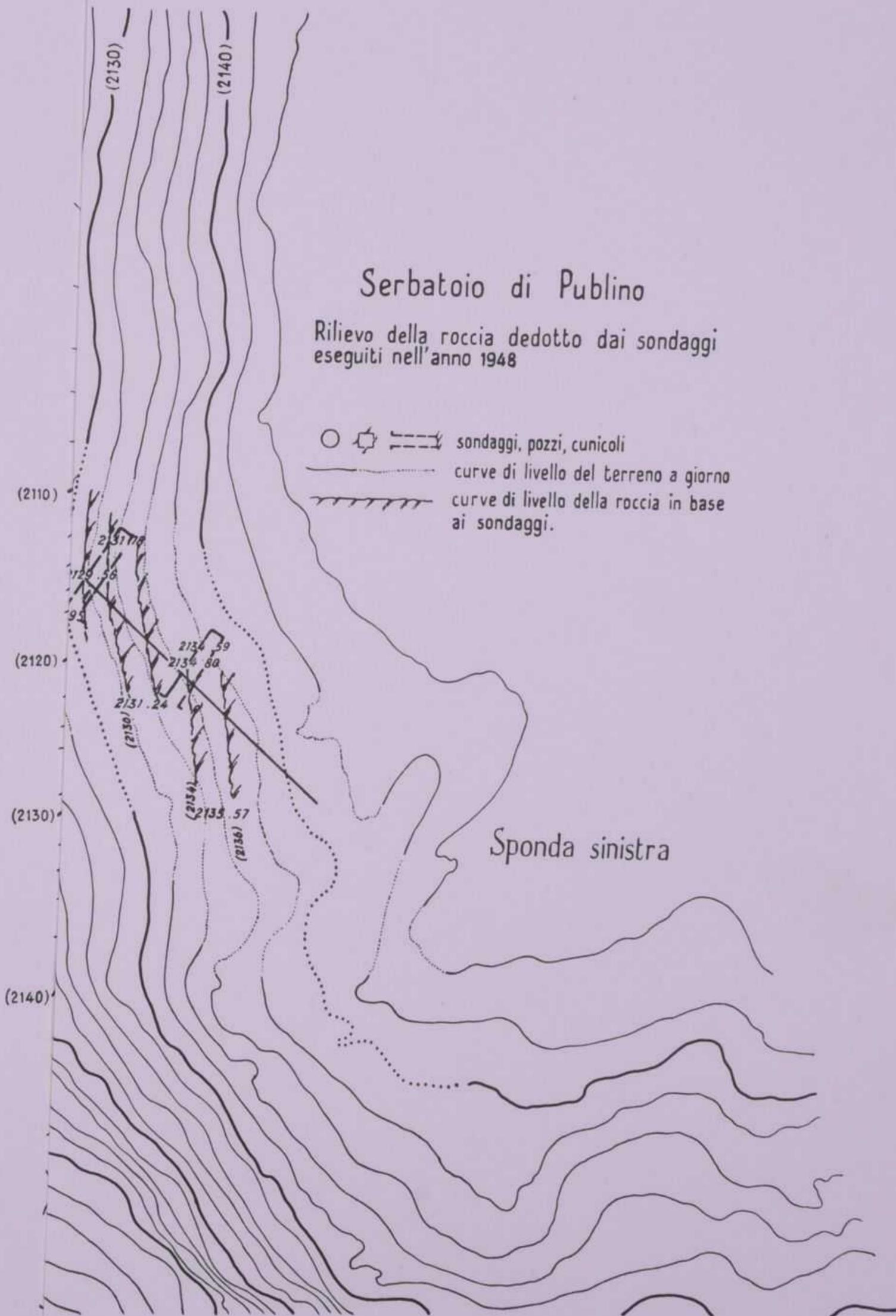
Planimetria della roccia di fondazione della diga principale ricavata dai sondaggi esplorativi eseguiti durante l'anno 1948. Scala 1:600 circa.

(Disegno N. 15072 della Società Acciaierie e Fonderie Lombarde Falck).

RISULTATI DEI SONDAGGI				RISULTATI DEI SONDAGGI			
Pozzi				Pozzi			
N.	Quote iniziali (terreno)	Quote roccia	Profondità sondaggi	N.	Quote iniziali (terreno)	Quote roccia	Profondità sondaggi
1	2133,100	2127,670	m. 5,43	19	2134,818	2129,418	m. 5,40
2	2125,804	2122,250	» 3,55	20	2135,880	2133,080	» 2,80
3	2120,187	2113,087	» 7,10	21	2137,764	2132,764	» 5,00
4	2117,995	2109,195	» 8,80	22	2138,909	2134,509	» 4,40
5	2112,273	2106,173	» 6,10	23	2130,034	2125,534	» 4,50
6	2109,083	2104,433	» 4,65	24	2120,187	2112,187	» 8,00
7	2106,043	2099,043	» 7,00	25	2119,375	2112,175	» 7,20
8	2105,799	2096,599	» 9,20	26	2115,617	2112,36	» 3,25
9	2105,724	2095,724	» 10,00	27	2112,393	2110,09	» 2,30
10	2109,644	2101,144	» 8,50	28	2109,644	2100,64	» 9,00
11	2114,613	—	» —	29	2125,329	2121,17	» 4,15
12		2119,673	» —	30	2117,368	2114,118	» 3,25
13	Risultati ottenuti me- diante trincea	2126,956	» —	31	2105,924	2092,274	» 13,75
14		2131,242	» —	32	non eseguito	—	» —
15		2135,573	» —	33	2105,88	2094,25	» 11,63
16	2105,643	2095,243	» 10,40	34	2107,03	2104,53	» 2,50
17	2106,020	2096,170	» 9,85	35	2133,02	2131,11	» 1,91
18	2106,920	2097,120	» 9,80				

Serbatoio di Publino

Rilievo della roccia dedotto dai sondaggi
eseguiti nell'anno 1948



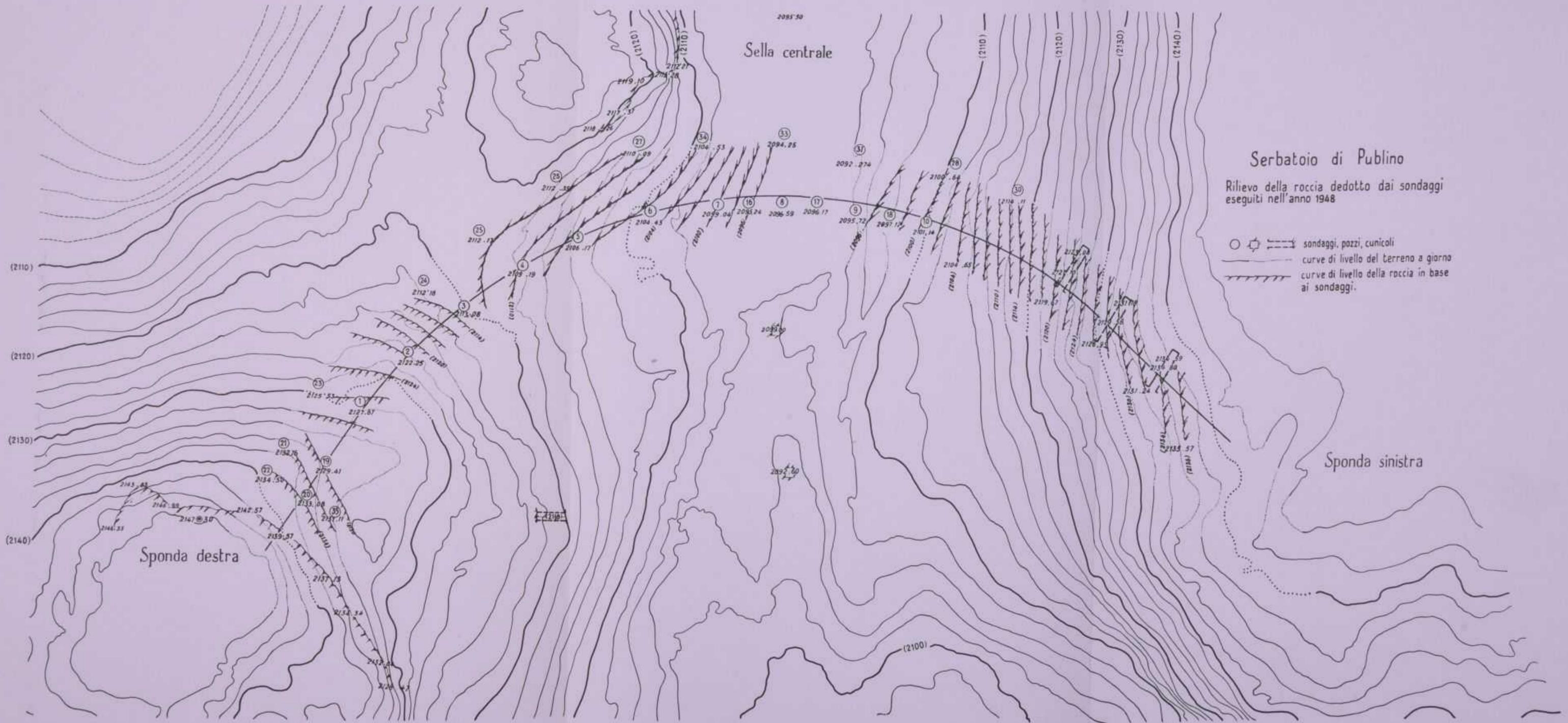


TAVOLA V.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA V.

La diga principale in costruzione con la spalla destra scoperta. Presso la sommità dello scavo è visibile il piano di scorrimento dei paragneiss scistosi sugli gneiss chiari, che nella fotografia si estende quasi orizzontalmente poco sotto la cabina di manovra della gru, fra il punto d'incrocio delle due frecce e l'inizio del sentiero superiore a monte della trincea d'imposta.

Nello sfondo il massiccio del Bernina.

(Fotografia N. 459 della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*).

Gb. DAL PIAZ - *Diga di Publino.*

TAV. V.



TAVOLA VI.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VI.

Sbarramento della sella principale ultimato (diga del tipo detto ad arco-gravità).
Nello sfondo, a sinistra, la Valtellina con il massiccio del Bernina.

(Fotografia N. 546 della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*).

Gb. DAL PIAZ - *Diga di Publino.*

TAV. VI.



