

LO STUDIO GEOLOGICO NELLA CREAZIONE DEI LAGHI ARTIFICIALI

F. PENTA (*)

SOMMARIO: Per giustificare alcune disposizioni del nuovo "regolamento delle dighe e traverse", si richiama la necessità dell'esame geologico-tecnico, non solo delle condizioni (statiche ed idrauliche) dei terreni interessati dalla diga, ma anche dei problemi presentati dal serbatoio e dal bacino nel quale quest'ultimo ricade, nonché dei problemi propri di tutte le altre opere connesse all'impianto del lago. Di alcuni problemi si richiama l'aspetto geologico-tecnico talora trascurato in fase di progetto o addirittura di costruzione.

Si elencano le più comuni opere connesse alla creazione di un lago artificiale, per le quali è da considerare tempestivamente il problema geologico-tecnico, (di cui si rilevano i lati principali), sempre che si voglia impostare razionalmente il progetto dell'impianto del lago, qualunque sia la destinazione delle acque da accumulare.

1. Premessa

Nel nuovo regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta (dighe e traverse) (1) l'art. 2, fra gli allegati di cui deve essere corredato il progetto esecutivo (2), prescrive (alla lettera b) la «relazione geognostica definitiva e dettagliata con i risultati delle indagini e delle prove eseguite. Tale relazione, redatta da persona di riconosciuta competenza in materia, deve, in ogni caso, contenere gli elementi oggettivi raccolti sulla idoneità della sede dello sbarramento, sulla tenuta del serbatoio e sulla stabilità dei pendii e delle opere interessate dall'invaso, considerate anche le eventuali caratteristiche sismiche della zona».

Come si vede, con questo articolo il regolamento non si limita a provvedere perché la diga (o traversa) sia impiantata in modo da offrire piena garanzia in materia di pubblica incolumità e di assicurazione dei beni siti a valle della nuova opera; ma entra anche in merito a problemi estranei a quelli dello sbar-

ramento in se stesso, preoccupandosi della tenuta del serbatoio e della stabilità dei pendii e delle opere interessate dall'invaso (3).

Ciò si è rilevato necessario particolarmente negli ultimi tempi dacché si è constatato come qualche concessionario (da noi e all'estero), nell'intraprendere la costruzione di dighe, non sempre si sia preoccupato tempestivamente dei numerosi aspetti del problema, fra i quali anche quelli riguardanti la tenuta del bacino e la stabilità dei terreni interessati dalla creazione del lago e dal suo esercizio oppure dal rigurgito provocato dalle traverse.

La mancata tenuta del bacino (o delle sponde nel caso di traverse) può rendere inutile la spesa sostenuta per lo sbarramento e può dar luogo a pericolose emergenze sorgentizie anche molto distanti.

Taluni sono tentati a sorvolare, in un primo tempo, più che sulla tenuta del bacino che costituisce ovviamente un problema economico diretto ed immediatamente inteso, sulla stabilità delle opere preesistenti (o da costruirsi) sulle sponde ed indirettamente interessate dall'invaso, per preoccuparsi, poi, dei riflessi, soltanto quando questi si sono resi manifesti: per provvedere, cioè, quando le conseguenze sono diventate gravi non solo dal punto di vista economico, ma talora anche da quello della pubblica incolumità.

Così per esempio, l'instabilità dei pendii (4) ge-

(*) Prof. Ing. Francesco PENTA - Direttore dell'Istituto di Geologia Applicata della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma e Direttore del Centro di Studio per la Geologia Tecnica del C.N.R.

(1) Approvato in Assemblea Generale dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nell'adunanza del 22 luglio 1957 e reso esecutivo con Decreto del Presidente della Repubblica del 1° novembre 1959 pubblicato nel n. 72 del 24 marzo 1960 della Gazzetta Ufficiale. Lo scrivente fece parte della Commissione Ministeriale che preparò questo nuovo regolamento [1].

(2) Per i progetti di massima (art. 1) è previsto il rilievo "diretto" (topografico e geologico) della zona di imposta e del territorio interessato dall'invaso con la corrispondente relazione "geognostica" preliminare.

(3) Non sono considerate, invece, le altre opere connesse all'impianto del lago o comunque alla derivazione. Sarebbe, oggi, forse altrettanto utile disciplinare anche queste o, comunque, sottoporre progetto ed esecuzione alla alta sorveglianza del Genio Civile.

(4) Da intendere non solo agli effetti delle frane e scoscendimenti, ma anche degli abbassamenti del suolo e dei cedimenti di fondazione su terreni sciolti, per cui vedi F. PENTA [6].

nerata dall'acqua invasata che penetra nel sottosuolo e dalle sue ampie e rapide escursioni, può distruggere opere (pubbliche o private) e può mettere anche in pericolo la incolumità delle persone.

E' necessario, perciò, esaminare i problemi preventivamente e intervenire tempestivamente: si giustifica, così, l'articolo 2 ricordato.

2. Scopi e metodi degli studi geologici

Lo studio geologico-tecnico, per quanto riguarda direttamente bacino e serbatoio, mira a riconoscere, con spesa e tempo minimi e garanzia massima, la tenuta del serbatoio e ad accertare la stabilità dei pendii e delle opere preesistenti che possano direttamente o indirettamente risentire della creazione del lago e delle escursioni del suo livello ⁽⁵⁾; mira, inoltre, ad assicurare la statica e la tenuta dei terreni della stretta o, in genere, d'imposta dello sbarramento ed a definire le altre caratteristiche dei terreni in rapporto allo scopo da raggiungere con lo sbarramento stesso.

Sono da rilevare, pertanto, anche: la eventuale sismicità della regione col relativo grado (e l'orientamento della diga rispetto alla direzione prevalente di propagazione dei terremoti più forti); la posizione della diga e del bacino nei riguardi di bradisismi, per evitare che l'opera ricada al contatto fra zolle distinte. Sono da considerare anche la vicinanza di ghiacciai, la esistenza di zone minerarie attive o attivabili ed il loro valore ecc. Sono da considerare, inoltre, preventivamente, insieme con la vicinanza o meno di centri vulcanici (attivi, quiescenti o spenti) le temperature del sottosuolo e l'eventualità di incontrare gas nocivi, acque termali e vapore acqueo [5].

Lo studio geologico va esteso anche ai terreni interessati dagli altri lavori connessi alla creazione del lago o all'opera di derivazione: prese, scarichi ed eventuali sfioratori, dissipatori di energia, vie d'accesso esterne ed interne, gallerie, canali, pozzi, condotte, torri piezometriche, vasche di carico, opere di sistemazione di pendii franosi, centrale (esterna o sotterranea), opere per la restituzione, ecc.

Le indagini geologiche si estendono, infine, alla scelta dei materiali da costruzione idonei e posti in condizioni di coltivabilità e di trasporti favorevoli dal punto di vista economico.

Si veda in proposito l'acclusa tabella 1, che rappresenta un primo tentativo di modulo, col quale si potrebbe schematizzare l'impianto, considerato dal punto di vista geologico-tecnico.

Metodi di studi e prove

Agli idroelettrici ⁽⁶⁾ è ben noto che le caratteristiche geologico-tecniche si desumono dall'esame

della superficie (affioramenti, sezioni naturali, ecc.), da scavi di assaggio (trincee, cunicoli, discenderie, pozzi accessibili), da sondaggi, da rilievi geofisici, da prove di compressibilità « *in situ* » dirette (con martinetti o con pressione d'acqua) o indirette (con i metodi detti « *geosismici* »), da rilievi freaticimetrici, ecc.

Si valuta il grado di impermeabilità delle formazioni col ricorso a prove dirette di tenuta (e indirette, con i « *carotaggi elettrici* » nei fori sondati); sui terreni sciolti (sabbie, argille, ecc.) si effettuano prove di laboratorio oltre quelle sul terreno proprie di quei tipi di materiali. Egualmente si procede per la impermeabilizzazione, il consolidamento, il « *risanamento* » e la correzione, in genere, dei terreni lapidei o sciolti interessati dalle opere e che nel loro stato naturale non offrono sufficiente garanzia [4].

3. Fasi dei lavori nelle quali occorre l'assistenza geologico-tecnica e relativi criteri generali

Si riassume qui qualche idea sull'argomento, avvertendo che quanto si dice a proposito di dighe per la creazione di laghi vale anche per il progetto e l'esecuzione di traverse in impianti ad acqua fluente: in questo caso i problemi sono, di regola, molto meno impegnativi specialmente perché i battenti di acqua in gioco sono limitati.

Momenti nei quali vanno considerate le caratteristiche geologiche

L'aspetto geologico del problema della creazione di un lago artificiale mediante la costruzione di una diga va considerato all'atto della scelta sia dell'area da allagare (anche agli effetti dell'interrimento), che della stretta e, in conseguenza, del tipo di diga. L'assistenza geologica deve continuare in fase di progetto esecutivo ed anche durante i lavori di costruzione. Vedi in proposito il « *Quaderno* » dell'Accademia dei Lincei [2] e [3].

Aspetto geologico in rapporto a quello economico

In questi studi il Geologo non può limitarsi a distinguere i terreni di imposta di una diga in eccellenti, buoni, cattivi od inaccettabili: tanto più che oggi (specie da noi) le migliori aree sono state già utilizzate ed, in cambio, la tecnica è in condizioni di operare sempre, qualunque siano i terreni. Nel giudizio definitivo deve decidere, perciò, l'aspetto economico.

⁽⁵⁾ Fra gli altri effetti vanno considerati quelli del rigurgito (e delle escursioni del pelo libero) sulla falda freatica dal punto di vista idraulico con impaludamenti, allagamenti, rigurgiti di scarichi vari ecc.

⁽⁶⁾ Oggi però, oltre gli idroelettrici e forse più di loro, sono interessati a tali impianti altri ambienti o

settori; non ancora tutte le organizzazioni di questi settori possono aver raggiunto la lunga e maturata esperienza dei gruppi di tecnici specializzati dei complessi idroelettrici ai quali, fra l'altro, si devono i grandi progressi tecnici raggiunti (in Italia ed in alcune altre nazioni) in tema di realizzazione di laghi artificiali.

TABELLA 1 - *Laghi artificiali ed opere connesse*: caratteristiche geologico-tecniche dei terreni interessati dalle opere (F. PENTA 1962)

Località (geografica)	Unità geologica (g) e idrogeologica (i) e habitus sismico (s) della località nella quale ricade l'opera	Problemi relativi alle singole parti dell'impianto
<p>BACINO (lago)</p> <ul style="list-style-type: none"> — capacità — estensione — altezza di massimo invaso — corso d'acqua sbarrato — scopo (se elettrico, indicare il salto) — eventuali altre acque da accumulare — opere di prese delle altre acque — opere di adduzione delle altre acque — corso (o bacino) di restituzione delle acque invasate e poi utilizzate 		<ul style="list-style-type: none"> — tenuta e provvedimenti (compresi eventuali argini per isolare aree di infiltrazione localizzata) — stabilità delle sponde in se stessa, considerando anche le variazioni che apporterà il lago nel regime idrico sotterraneo — stabilità nei riguardi delle opere preesistenti — stabilità nei riguardi delle opere previste — insidia solida (interrimenti) e provvedimenti (anche molto a monte) — eventuali giacimenti minerari interessati dall'opera — altre caratteristiche locali come bradisismi, attività vulcanica (o postv.), ghiacciai, ecc.
<p>DIGA</p> <ul style="list-style-type: none"> — tipo — altezza — lunghezza 		<ul style="list-style-type: none"> — tenuta delle sponde all'imposta e provvedimenti — tenuta del fondo e provvedimenti — statica delle sponde e provvedimenti — statica del fondo e provvedimenti
<p>OPERE CONNESSE</p> <ul style="list-style-type: none"> — argini eventualmente richiesti dalla topografia locale — avandiga (come per la diga, ma in piccolo e provvisoria) — scarico di deviazione e di fondo (imbocco, sviluppo e restituzione con eventuale azione erosiva) — scarico di deviazione e di mezzofondo (imbocco, sviluppo e restituzione con eventuale azione erosiva) — scarico di alleggerimento (imbocco, sviluppo e restituzione con eventuale azione erosiva) — scarico di superficie (sfioratore) (imbocco, sviluppo e restituzione con eventuale azione erosiva) — dissipatori di energia — opera di presa — vasche di sedimentazione — canale di derivazione — galleria di derivazione a. p. l. — galleria di derivazione in pressione — condotte forzate all'interno — condotte forzate allo scoperto — ponti, viadotti, sifoni ecc. — vasche di carico o di compensazione — torri piezometriche — centrale all'esterno — centrale in caverna e relativa galleria d'accesso — opere di restituzione — rete di distribuzione nel caso di utilizzazione delle acque per usi potabili industriali, irrigui ecc. — strade di accesso e trasporti in genere — sistemazione di pendii instabili interessati dalle opere — sistemazione idraulico-montana a monte degli impianti per ridurre il trasporto solido — risorse locali in materiali da costruzione e cave di prestito 		

Competenze

Come non è ammissibile che un Geologo esprima un giudizio basato, se ignora in che consista una diga o una delle opere connesse, quali funzioni esse svolgano e come sollecitino i terreni, così è inconcepibile che progettista e costruttore possano bene ed economicamente operare se non hanno una discreta conoscenza dei terreni anche dal punto di vista geologico-tecnico. Occorre, perciò, che il Geologo sia specializzato ed operi in collaborazione con i tecnici, i quali, a loro volta debbono intenderne il linguaggio [2].

Necessaria elasticità nel condurre lo studio geologico-tecnico

I metodi di studio in proposito non sono standardizzabili: è difficile, infatti, che due casi siano perfettamente simili.

Le indagini ed i tipi di studio debbono, perciò, essere scelti caso per caso e volta per volta ed eventualmente nuovi criteri debbono essere introdotti; si deve, però, procedere sempre con accuratezza, completezza, economia, rapidità e seguendo un ordine razionale [3].

4. Parti dell'impianto e problemi presentati dai terreni

Il tipo di unità geologica ed idrogeologica, nonché l'«*habitus*» sismico della località ed il suo clima influiscono sulla realizzazione di quasi tutte le opere costituenti l'impianto di un lago artificiale e di quelle connesse alla sua costruzione ed al suo esercizio.

Facciamo seguire un elenco delle principali parti dell'impianto ed opere connesse per le quali l'esame geologico-tecnico preventivo e l'assistenza geologica durante i lavori si rendono quasi sempre necessari e, indubbiamente, sempre utili.

Per ciascuna parte saranno annotati alcuni dei principali problemi che i terreni presentano in dipendenza delle loro caratteristiche intrinseche ed estrinseche [5, fasc. 3-4 del 1962].

Bacino (serbatoio e parte del bacino in cui il serbatoio ricade e che influisce in qualsiasi modo sul serbatoio stesso)

In dipendenza della capacità, estensione, altezza di massimo invaso, del tipo di corso d'acqua sbarrato ed in funzione delle caratteristiche geologiche e geofisiche locali va fatta attenzione a: *tenuta del serbatoio* (e provvedimenti compresi gli eventuali argini atti ad isolare aree di infiltrazione localizzata); *stabilità delle sponde* (in se stessa e nei riguardi delle opere esistenti o previste), considerando anche le variazioni che apporterà il lago nel regime idrico sotterraneo; *insidia solida* (interrimenti) e provvedimenti (anche molto a monte) resi indispensabili dalla instabilità o dalla facile erodibilità delle sponde e dei terreni a monte; in aree *sismiche, bra-*

disismiche, vulcaniche (7), *di ghiacciai, minerarie* (attuali o potenziali) occorre approfondire l'esame geologico anche sotto questi aspetti.

Diga

In dipendenza del tipo, altezza, lunghezza ecc., occorre accertare le condizioni del terreno delle sponde e del fondo per tutto lo spazio interessato dal manufatto dai suoi effetti statici ed idraulici. Dalla completa conoscenza delle caratteristiche dei terreni in questo spazio ed, anzitutto, dalla sua delimitazione scaturiranno i provvedimenti idonei per eventuale consolidamento, impermeabilizzazione e correzione in genere e per definirne le loro entità. In territori sismici specialmente convengono, senz'altro, le prove su «*modelli*».

Argini eventualmente richiesti dalla topografia locale

Questi, in sostanza, assumono il carattere di piccole dighe in materiali sciolti; per essi valgono, perciò, i criteri propri delle dighe di questo tipo e delle loro fondazioni.

Avandiga

Come per la diga, ma in piccolo e con funzione soltanto temporanea.

Scarichi

Di deviazione e di fondo, di mezzo fondo, di superficie ecc. Con relative prese, gallerie o canali allo scoperto e restituzione per cui vedi le voci relative.

Dissipatori di energia

Si ricorre a tali mezzi quando i terreni (con le murature) non sono abbastanza o uniformemente resistenti all'azione (scalzante, erosiva ecc.) delle acque che scaricano con elevate velocità o quando si prevede che tale azione, prolungata nel tempo, possa abrader anche la roccia in sede, per quanto dura essa sia.

(7) In queste aree (di vulcanismo attivo, quiescente o spento da poco tempo) va fatta attenzione alla temperatura del sottosuolo, alle acque ed al vapore acqueo sotterraneo nei loro riflessi sull'esecuzione degli scavi (all'aperto ed in sotterraneo), sui leganti ecc. Sono da prevedere anche esalazioni di CO₂, H₂S (e formazione di acido solforico in contatto con l'ossigeno atmosferico impregnante il terreno e con l'acqua areata) CH₄, CO ecc. (non esclusivi, però, dei territori vulcanici) e i loro effetti sulle malte, murature e calcestruzzi; è da considerare anche la sismicità vulcanica (e postvulcanica). In cambio, possono costituire un vantaggio le caratteristiche tecniche particolari di alcuni prodotti: pozzolane pr.d. (con virtù "pozzolaniche", con la capacità, cioè, di dare malte idrauliche resistenti alle acque aggressive dopo impasto con semplice calce aerea), scorie fresche che sono degli ottimi inerti per calcestruzzi cementizi o con malte pozzolaniche, pomici, ecc.

Opere di presa

Ubicazione, fondazione e costruzione di tale opera non presentano particolari problemi di carattere geologico-tecnico oltre quelli della connessione con l'imbocco della galleria di derivazione, per cui vedi a proposito di queste ultime.

Vasca di sedimentazione

Altrettanto va detto per la vasca di sedimentazione; la necessità di costruirla è connessa alla portata solida delle acque affluenti nel bacino ed alla conservazione o meno del suolo delle sponde specie sotto l'influsso delle escursioni del pelo libero del lago: in fase progettuale, sulla base della natura dei terreni, si dovrà prevedere, cioè, la necessità o meno di una tale vasca e, nel caso, procedere al suo dimensionamento.

Gallerie di derivazione a pelo libero

L'esame geologico-tecnico deve assodare (come per qualsiasi altra galleria, ma qui con l'aggiunta della necessità di evitare perdite di acqua) le caratteristiche dei terreni nei riguardi dell'abbattimento, delle armature e del rivestimento (tenendo conto di una eventuale aggressività delle acque sotterranee), della eduazione delle acque, dell'atmosfera del sottoterraneo durante i lavori di scavo (temperature, probabili incontri di gas nocivi, formazione di polveri pneumoconiosigene ecc.).

Di regola e nelle regioni sismiche in specie bisogna evitare la solidarietà delle strutture esterne (agli imbocchi) con quelle interne, in vista delle eventuali forti differenze nelle caratteristiche meccaniche dei terreni relativi: in superficie spesso i terreni sono sciolti, detritici o, per lo meno, rilasciati (quando si tratta di rocce lapidee).

Nella generalità dei casi, per le gallerie (specialmente se profonde) e per i pozzi bisogna considerare: acque sotterranee, temperatura nelle gallerie molto profonde (nei riguardi dell'ambiente di lavoro dell'avanzamento e rivestimento); colpi di montagna; spinta dei terreni e delle rocce contro le armature ed i rivestimenti (con le diverse cause della spinta delle argille: libero sfogo di stato di tensione, espansione per assorbimento d'acqua, essiccazione con distacco di blocchi); armature, eduazione delle acque e conseguenze sull'idrologia sotterranea locale o regionale, areazione (temperatura, venute di gas esplosivi o nocivi, pulviscoli nocivi), trasporti interni, abbattimento ed altri servizi in rapporto alle caratteristiche intrinseche ed estrinseche dei terreni da attraversare. Problemi speciali possono nascere agli imbocchi e nelle finestre. La sistemazione e l'assicurazione delle pareti e dei volti di gallerie dissestate, specie in presenza di vuoti sotterranei preesistenti (naturali o artificiali), costituiscono talvolta problemi complessi.

I problemi inerenti alle gallerie ricavate a poca profondità sono complicati dalla probabilità di inondazioni; maggiori difficoltà si hanno nel sondare

(a scopo di indagini) il sottosuolo, quando il battente d'acqua lungo il tracciato è molto forte, nel caso di gallerie che sottopassino corsi o bacini di acqua.

Per le previsioni dei tipi di terreni e delle loro caratteristiche e per la scelta del migliore tracciato occorre la ricostruzione geologica del sottosuolo ricavata con sondaggi ed, in massima parte, per via indiretta. In opportune condizioni i rilievi geofisici (specialmente con i metodi dinamici e geoelettrici) completano lo studio geologico. Pozzi di grande diametro possono rendersi necessari per un adeguato sviluppo delle osservazioni geologiche dirette e la migliore utilizzazione delle ricerche geofisiche. Per qualche particolare vedi [7].

Gallerie di derivazione in pressione

Ai problemi del caso precedente si aggiunge quello della valutazione della capacità delle rocce attraversate (sia pure dopo opportune iniezioni di consolidamento o di uniformizzazione) a collaborare con il rivestimento nella resistenza contro la pressione dell'acqua da condurre: metodi di prove « *in situ* » idonee allo scopo si sono molto sviluppati negli ultimi tempi e costituiscono ormai mezzi da utilizzare sempre.

Canali di derivazione

Particolare attenzione va prestata alla stabilità dei terreni, attuale e futura (in seguito, cioè, alla esecuzione degli scavi e dei rilevati previsti); sono da valutare le eventuali variazioni che apporteranno le opere nei regimi delle acque (di superficie e sotterranee).

Condotte forzate all'interno

Per queste assume importanza geologico-tecnica l'esecuzione dello scavo entro il quale la condotta va sistemata, per cui valgono gli avvertimenti relativi alle gallerie in genere e dei quali si è dato avanti qualche accenno.

Condotte forzate all'esterno

Valgono qui gli accorgimenti usuali per tutte le opere di lungo sviluppo in superficie; nel caso di terreni poco stabili ed inevitabili, si deve ancorare la condotta al terreno mediante opportune strutture alla profondità alla quale non giunge il dissesto (attuale o potenziale), abbondando sia nel numero degli ancoraggi, che in quello dei giunti deformabili.

Ponti e viadotti (facenti parte della derivazione, degli scarichi e della restituzione)

Valgono qui le considerazioni geologiche-tecniche proprie per queste opere in genere. Perché il progettista possa scegliere il tipo di struttura più rispondente al caso deve essere condotto tempestiva-

mente l'esame dei terreni di fondazione (e imposta); nel caso di terreni in frana, bisogna conformare la spalla corrispondente in modo che il ponte non debba funzionare da muro di sostegno, anche se le fondazioni sono spinte, come si deve, alla profondità alla quale i movimenti franosi non arrivano; l'opera, in ogni caso, deve influenzare il minimo possibile il regime delle acque sotterranee e di quelle superficiali (tenendo conto, si intende, delle massime piene).

In tema di scelta della sezione di attraversamento, oltre i criteri dettati dalla tecnica specifica nei riguardi della larghezza della sezione, degli effetti idraulici a monte del restringimento di sezione che si va a creare, della possibilità di deviazioni temporanee e così via, bisogna tener presenti e conciliare con i primi i criteri imposti dalle caratteristiche dei terreni e dal presumibile loro comportamento nei riguardi delle acque, non appena il loro regime sarà disturbato dai lavori necessari per la esecuzione della nuova opera.

Sifoni

Nel caso che con l'opera di derivazione si debba sottopassare una strada, un corso d'acqua ecc., ricorrendo ad un tratto di galleria in pressione, (o a due pozzi collegati da una galleria), lo studio geologico-tecnico (con particolare riguardo alle condizioni idriche sotterranee) permetterà di scegliere anzitutto fra galleria propriamente detta e galleria artificiale e di prendere le precauzioni atte ad evitare disturbi statici ed idraulici (temporanei o permanenti) nella zona direttamente o indirettamente interessata dal lavoro.

Vasche di carico e di compenso

Non vi sono problemi speciali oltre quelli delle fondazioni. Nel caso che la vasca si realizzi con argini in terra e con sbancamenti, oltre la tenuta dei terreni e la stabilità delle scarpate della parte in escavo, va curata l'esecuzione dei rilevati agli effetti della tenuta e della stabilità; bisogna evitare di poggiare i rilevati su discariche o comunque su formazioni detritiche non ancora stabilizzate.

Condotte forzate di carico

Vale per queste quanto già accennato per le condotte forzate in genere.

Pozzi di carico

Il pozzo deve essere ubicato quanto più lontano possibile dalla superficie del suolo e specialmente dagli « *a picchi* »; ciò per rinvenire la roccia in migliori condizioni (non alterata, non rilasciata ecc.). Come per le gallerie in pressione, occorre valutare il grado di collaborazione della roccia nella resistenza contro la pressione dell'acqua all'interno del pozzo; per evitare che, durante gli svuotamenti del pozzo agisca la spinta delle acque sotterranee contro

il rivestimento (che può essere costituito anche da una sottile lamiera), occorre che queste acque siano opportunamente drenate, raccolte e allontanate o che a ridosso del rivestimento si costituisca un « *anello* » di roccia ben impermeabilizzata.

In quanto ad esecuzione del pozzo, in conformità con i tipi di terreni da attraversare (e da riconoscere preventivamente), si potrà prescegliere il metodo di abbattimento e di avanzamento e progettare i mezzi per eudere le acque e per l'areazione (in dipendenza anche di eventuali e prevedibili incontri di gas liberi o disciolti nelle acque, di formazione di polveri dannose); si potranno prevedere i tipi di leganti nel caso di acque aggressive ecc.

Discenderie

Valgono le considerazioni per le gallerie: come per queste, conviene disimpegnare il rivestimento della discenderia dalle strutture dell'imbocco, quando queste ultime ricadono in terreni sciolti non ancora sufficientemente stabilizzati come, per es., detriti di falda o « *fasce* » e masse di roccia alterata o disgregata. Ciò per evitare tagli e sconessioni nell'attacco fra le strutture diversamente fondate.

Torri piezometriche

Dal punto di vista geologico-tecnico, di regola non vi sono altri problemi oltre quello della fondazione.

In territori sismici il tipo di manufatto, che, dal solo punto di vista funzionale, potrebbe essere molto snello, esige un'approfondita verifica di stabilità che tenga conto delle caratteristiche del terreno di fondazione (questa deve essere sempre profonda) e di quelle elastiche (con relativi periodi propri) della torre (all'uopo configurata) e della sua fondazione: la verifica, cioè, dovrebbe basarsi anche su « *criteri dinamici* » e con ricorso a « *modelli* ».

Centrale all'esterno

Valgono qui le considerazioni relative ad ogni manufatto di certa importanza fuori terra con speciale riguardo alla ubicazione dell'edificio (distanza da « *a picchi* », eventuali minacce di esondazioni o addirittura di improvvise erosioni da parte del corso d'acqua non stabilizzato ecc.). Può essere necessario verificare i periodi propri di vibrazioni del complesso terreno-blocchi di fondazione delle macchine ⁽⁸⁾; speciale riguardo merita questo aspetto nei territori sismici.

(8) Per il comportamento dei terreni nei riguardi delle vibrazioni in genere e per la stabilità di impianti con macchine e motori, tenendo conto della capacità del terreno di vibrare, e delle relative caratteristiche, per le cause che possono determinare vibrazioni di un manufatto, per le zolle di terreno che possono presentare effetti di risonanza, per i metodi e mezzi di prove sperimentali, per lo studio dei blocchi di fondazione che riducano al minimo la trasmissione di vibrazioni al terreno e viceversa, vedi le trattazioni speciali, i testi di sismologia applicata, le lezioni di ingegneria sismica, le trattazioni sui riflessi del traffico urbano e sui metodi di indagini geofisiche in proposito.

Centrale in caverna e relativa galleria di accesso

Nei territori di elevata sismicità conviene, sen'altro, portare la centrale in caverna; attenzione particolare in proposito va fatta all'imbocco della galleria di accesso (o, comunque, di comunicazione con l'esterno) per la ragione ricordata a proposito delle discenderie.

Dal punto di vista geologico-tecnico, si presentano qui tutti i problemi dei sotterranei (scavi, statica temporanea e definitiva, eduazione delle acque, eventuale presenza di gas e, in molto minor misura, temperature, formazione di polveri nocive); il problema statico, a causa delle dimensioni, può diventare molto difficile.

Necessità di adeguato spessore della copertura, stato di coazione esistente nel sottosuolo a grande distanza dalla superficie esterna, falde idriche sotterranee, umidità di «cava», infiltrazioni localizzate in seguito al taglio di vene di acque discendenti ecc. sono problemi, presentati dai terreni, sui quali va indagato tempestivamente.

Opere di restituzione

Secondo i casi, valgono gli avvertimenti già accennati per le derivazioni (in canali all'aperto, gallerie, condotte ecc.) con relative opere (dissipatori di energia ecc.); la maggiore attenzione va fatta alla stabilità dei terreni interessati da queste opere, che hanno spesso un lungo sviluppo entro alluvioni o in tratti di alveo temporaneamente abbandonati dal corso di acqua (nel quale si scaricano le acque utilizzate dalla centrale o comunque di avanzo).

Rete di distribuzione nel caso di utilizzazione dell'acqua per scopi potabili, industriali, irrigui ecc.

In questi tipi di lavori le aree sedi delle reti sono già fissate; non possono, perciò, essere scelte in base ai criteri geologico-tecnici; le opere dovranno essere adattate al terreno, giocando principalmente sulla profondità per le fondazioni di quelle più importanti e tenendo conto delle acque sotterranee e della loro eventuale aggressività, dei processi di corrosione ecc. Durante gli scavi più profondi occorre predisporre (dove è probabile che il pericolo esista) gli accorgimenti relativi ai gas nocivi.

In regioni sismiche le opere fuori terra (o entro terra a piccola profondità) dovranno essere progettate tenendo conto delle sollecitazioni sismiche (riportate a statiche o considerate nel loro dinamismo col ricorso anche a modelli, secondo i casi).

Si intende che per i canali e per le condotte di adduzione alla area nella quale si sviluppa la rete, come pure per i serbatoi (fuori e entro terra) ed opere connesse la scelta delle relative sedi dovrà, invece, tener conto delle caratteristiche dei terreni agli effetti già ricordati parlando di queste opere (canali, condotte ecc.), comprese le vasche di compenso o strutture simili.

Strade di accesso e varianti di strade esistenti

La scelta razionale di tali tracciati, in generale, è un compito che si può assolvere soltanto quando le caratteristiche geologico-tecniche delle regioni interessate sono conosciute dettagliatamente per una striscia di ampia larghezza rispetto al tracciato ideale dal punto di vista geometrico.

In questa scelta ricompaiono quasi tutti i problemi fin qui elencati; bisogna perciò disporre di un'ampia larghezza di territorio, perfettamente conosciuto dal punto di vista geologico-tecnico, entro la quale può spostarsi il tracciato compatibilmente con i vincoli di pendenze, distanze, punti obbligati, possibilità di accesso e di approvvigionamento di materie prime, ecc.

Criteri generali sono: modificare al minimo la morfologia esistente; evitare alti rilevati o trincee profonde: tali precauzioni sono indispensabili nelle zone soggette a depositi di sabbie eoliche o in quelle con tormento di neve, specialmente quando non è possibile proteggere la sede stradale con alte siepi, tavolati, boschi ecc.

Le caratteristiche da tener presente negli scavi in trincea o a mezzacosta sono specialmente: natura (petrografica) del materiale interessato dal taglio ed il suo stato di consistenza (sciolto o lapideo): il suo grado, cioè, di stabilità fisica e fisico-chimica; stabilità chimica; continuità o meno; eventuale presenza di acqua; livello della falda e suo regime; morfologia esterna; rapporti di giacitura del materiale da incidere rispetto a quella delle pareti dello scavo e dei terreni del muro e del tetto; esistenza o meno di vuoti nella massa interessata dallo scavo. Le discontinuità delle rocce lapidee dovute a fratture, a giunti di stratificazione ecc., facilitano l'abbattimento, ma influiscono fortemente sulla stabilità delle scarpate.

In una trincea ricavata entro una formazione lapidea, stratificata (nella quale il giunto di stratificazione può costituire, per se stesso, luogo di minore resistenza al taglio) ed i cui strati hanno una sensibile inclinazione, specialmente nel caso di abbondanza di fratture, la scarpata a «*franapoggio*»⁽⁹⁾ è, di regola, molto meno stabile di quella detta a «*reggipoggio*»⁽¹⁰⁾.

Perciò nei tagli a mezza costa è preferibile sviluppare il tracciato sul fianco della valle ricadente nel lato ove gli strati giacciono a reggipoggio, a meno che pieghe locali della formazione stratificata o sviluppo della valle non costringano a cambiare troppe volte il versante col conseguente ricorso ad opere d'arte.

Tali caratteristiche indurranno a provvedere o meno ad opere di sostegno, di protezione, di consolidamento, di correzione, di drenaggi, di prosciugamento ecc. In molte regioni, specialmente vulcaniche, le scarpate non interessano «*masse di terra*»

(9) Con immersione, cioè, verso lo scavo; tale giacitura è contraria alla stabilità soltanto entro certi limiti dei valori delle pendenze rapportati a quelli della scarpata.

(10) Con immersione, cioè, verso l'interno del rilievo.

uniformi per tutta l'altezza, ma alternanze o successioni di strati o lenti con caratteristiche meccaniche molto diverse: in determinati casi a mantenere la scarpata può bastare un'opera di semplice contrasto alla tendenza a disgregarsi (e versarsi all'esterno) della parte superficiale dei soli strati meno consistenti.

Nelle formazioni argillose (e in tutte quelle poco coerenti in genere) è da prevedere talora anche la possibilità di distacchi di blocchi per effetto di contrazione per disseccamento.

Nelle aree franose occorre spostare quanto più possibile verso valle o verso monte (a seconda i casi) il tracciato, avendo presente che una maggiore « spesa d'impianto » (di costruzione) può essere largamente ripagata da una minore spesa di manutenzione (per difesa, consolidamenti, interruzioni del traffico ecc.).

Per quanto riguarda i *rilevati*, occorre considerare specialmente: idrografia superficiale e dell'immediato sottosuolo; le proprietà meccaniche ed idrauliche (anche agli effetti della capillarità) del terreno attuali e di quelle da prevedere, a costruzione ultimata del rilevato, anche agli effetti della gelività, nelle regioni fredde. Particolare attenzione meritano la scelta dei materiali da impiegare, la loro miscelazione ed ogni loro manipolazione e distribuzione.

E' da tener conto dell'azione del gelo sul manto di copertura stradale dovuto alla natura dell'immediato sottosuolo nelle regioni fredde e nelle quali per mantenere il traffico occorre sgombrare la neve, la quale, altrimenti, potrebbe esplicare funzione protettiva.

Trasporti in genere durante o dopo la costruzione

Per le funivie, i terreni vanno studiati nei riguardi delle fondazioni dei tralicci intermedi e dei sostegni di estremità, tenendo conto delle speciali sollecitazioni che le strutture trasmettono ai terreni stessi.

Per l'impianto delle basi di grue, per quelli dei nastri trasportatori ecc. non si presentano, di regola, problemi geologico-tecnici che meritano qui speciale attenzione, oltre quelli della stabilità dei pendii e della capacità portante dei terreni di fondazione.

Sistemazione di pendii instabili interessati dalle opere

Per questo argomento si rimanda ai testi specifici sulle frane e sulla instabilità del suolo ed immediato sottosuolo (indipendentemente o per effetto dell'esecuzione di nuove opere). In qualsiasi tipo di lavoro prima norma dovrebbe essere quella di evitare le aree franose note (direttamente o per via indiretta). Ma queste aree franose abbondano e talvolta sono di estensione tale che volerle evitare equivarrebbe a rinunciare all'opera; sulla base di uno studio dettagliato sul terreno si può, però, tempestivamente provvedere per evitarne o ridurne gli effetti nocivi sia durante l'esecuzione, che ad opera ultimata. Si ricorda, perciò, che esistono frane contenibili e che altre sono completamente e definitivamente sistema-

bili; esistono anche casi nei quali la tecnica può per ora soltanto ridurre temporaneamente gli effetti o procrastinarli di un certo tempo.

Sistemazione idraulico-forestale a monte degli impianti per ridurre il trasporto solido

Comprendiamo regolazione di corsi d'acqua e sistemazione di bacini montani, soglie, briglie, argini naturali, dissipatori di energia e criteri da seguire tenendo conto dell'usura dovuta alla portata solida delle acque relative.

Per la *regolazione dei corsi d'acqua* i criteri geologici e petrografici scaturiscono caso per caso, tronco per tronco da regolare e nascono dalle esigenze idrauliche che importa il tipo di regolazione. In genere i problemi dal punto di vista geologico si riducono a quelli propri dei singoli lavori di dettaglio, quali costruzione di argini, di briglie, di « fissazione » di frane, di consolidamento o protezione di rive, ecc.

Per l'*usura dovuta all'acqua ed alla portata solida* è necessario tener presente, da una parte, la natura e la grana dei materiali solidi trascinati e perciò la natura dei terreni del bacino imbrifero e, dall'altra, la loro resistenza all'usura (paragonabile a quella al « getto di sabbia » delle comuni prove dei materiali da costruzione). In alcuni casi interviene anche la gelività o la resistenza alle alternanze di temperatura e di umidità. Vedi, perciò, le prove relative dei materiali naturali da costruzione.

Cave di prestito

Per questo argomento e specialmente per la tecnica dei lavori delle diverse fasi è necessario consultare i testi di Arte Mineraria, la legge e il regolamento di polizia mineraria e le eventuali disposizioni locali (regionali, provinciali e comunali). Per casi nei quali occorre aprire nuove cave o riaprirne delle abbandonate, per le ricerche sulla potenzialità e sulle zone di minimo costo, per le cave in fossa e le cave « a mezza costa », per gli inconvenienti dovuti ai materiali di risulta, per la direzione conveniente d'attacco rispetto alla direzione o all'immersione degli strati od alla scistosità, per il volume dei blocchi realizzabile in dipendenza della stratificazione, suddivisibilità, fratture, cataclasi ecc., per l'alterazione, per le cave sotterranee, per i mezzi ed i metodi di abbattimento (filo elicoidale, mine ecc.), vedi i testi speciali. Lo stesso vale per gli esplosivi in rapporto alla natura delle rocce e per i lavori preparatori.

Per le norme da osservare prima di abbandonare una cava, conviene ispirarsi alle disposizioni di Polizia Mineraria; per gli effetti dei ristagni d'acqua con pericolo di creare focolari malarici, vedi le norme di legge speciali.

5. Conclusioni

La rassegna svolta addita come e quante volte si renda necessario l'accurato esame geologico; dimostra

anche che il problema della realizzazione di un lago artificiale esige da parte dei progettisti e direttori dei lavori competenza in tutte le branche dell'Ingegneria Civile: dall'idraulica e stradale («dei trasporti») a quella edile al disopra di ogni distinzione scolastica artificiosa. Gli stessi tecnici debbono, però, essere bene preparati anche nel campo della Geologia Tecnica; senza di che i problemi, che incontrano sul terreno, possono loro addirittura sfuggire nel momento opportuno per manifestarsi più tardi in forma molto grave.

Quanto qui è esposto risulta dall'esperienza personale effettuata dallo scrivente durante un quarantennio circa di svolgimento di attività professionale e di consulenze (private e per conto del *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* su opere progettate o su impianti già in esercizio), nonché dagli studi appositamente condotti con i mezzi e con la collaborazione del personale del *Centro di Studio per la Geologia Tecnica del Consiglio Nazionale delle Ricerche*.

Esigenze di spazio, limitata efficacia di una casistica abbreviata, e, talora, riservatezza professionale hanno sconsigliato di documentare le affermazioni mediante i numerosi esempi disponibili; è sembrato sufficiente ed utile esporre sotto forma di criteri e suggerimenti aventi carattere generale anche ciò che da tali esempi si è potuto dedurre.

Roma (S. Pietro in Vincoli), *Centro di Studio per la Geologia Tecnica del C.N.R. presso l'Istituto di Geologia Applicata della Facoltà di Ingegneria dell'Università*.

5 settembre 1962

SOMMAIRE: Pour justifier certaines dispositions du nouveau "règlement des barrages et traverses", l'auteur rappelle la nécessité de l'examen géologico-technique, non seulement des conditions (statiques et hydrauliques) des terrains intéressants le barrage, mais aussi des problèmes soulevés par le réservoir et le bassin dans lequel il est situé, et également des problèmes propres à tous les autres ouvrages liés à l'aménagement du lac. L'auteur rappelle l'aspect géologico-technique de quelques problèmes, négligé en phase de projet ou même de construction.

L'auteur énumère les ouvrages les plus communs liés à la création d'un lac artificiel pour lesquels il est à examiner, en temps voulu, le problème géologico-technique (dont il fait ressortir les parties essentielles), étant entendu que l'on veuille établir rationnellement le projet de l'aménagement du lac, quelle que soit la destination des eaux à accumuler.

SUMMARY: To justify some disposals of the new "Barrages (Dams and Weirs) Regulations", the Author emphasizes the necessity of engineering geological investigations on the conditions (the static and hydraulic ones) of the ground interested by dams. Such investigations are also to be extended to the problems concerning the reservoir and its catchment area as well as to the problems involving all the reservoir appurtenant works.

The engineering geology side of some problems, so-

Bibliografia

- [1] — "Giornale del Genio Civile", 98, fasc. 4, pagg. 235-272, Roma, 1960.
- [2] AUTORI VARI - *Le funzioni della Geologia nelle opere di pubblico interesse*. Convegno internazionale a Roma 29 - 31 maggio 1961. Quaderno N. 53 dei Problemi Attuali di Scienza e di Cultura. Accademia Nazionale dei Lincei, Anno CCCIX, Roma 1962.
- [3] SCHULTZ J. R. e CLEAVES A. B. - Cap. 19 del *Geology in Engineering*. Ed. Wiley e S., New York e Chapman e Hall, Londra, 1955. Vedi anche ampia recensione di F. PENTA in "Giornale del Genio Civile", 96, pagg. 771-776, 1958.
- [4] GNISCI U. - *Sulla impermeabilizzazione delle rocce di fondazione degli sbarramenti*. Giornale del Genio Civile, 100, fasc. 2, pagg. 125-148, 1962.
- [5] PENTA F. - "Giornale del Genio Civile" anni 1957 (con G. SUPINO), 1960, 61 e 62 (v. anche "recensioni" e "note e informazioni"); "Geotecnica", 9 n. 2 pagg. 79-91, Milano, 1962.
- [6] PENTA F. - *Frane e movimenti franosi*. Ed. Siderea, Roma, 1960.
- [7] PENTA F. - *Il sottosuolo della città di Napoli in rapporto alla progettazione di una metropolitana*. Atti dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche di Napoli, Vol. III, S. 3^a, n. 7, Napoli, 1960.

metimes overlooked during the design or even the construction phases, is pointed out.

The Author lists the most common works connected to the realization of a reservoir for which the engineering geology problems (of which the most relevant sides are pointed out) are to be timely taken into consideration in order that a rational design of the project would be planned, whatever the utilization of the stored waters should be.

ZUSAMMENFASSUNG: Der Verfasser rechtfertigt einige Verordnungen der neuen *Regelung*, die Notwendigkeit der geologisch-technischen Forschungen und Untersuchungen nicht nur der Zustände (statische und hydraulische) des Bodens, die des Staudamm betreffen erwähen, sondern auch die Fragen die das Staubecken und das hydrologische Gebiet, in das dasselbe Staubecken faellt, zeigen, und auch der Frage, die alle anderen mit der Seeanlage verbundenen Arbeiten betreffen. Der Verfasser lenkt die Aufmerksamkeit auf den geologisch-technischen Aspekt der einzelnen Fragen, der manchmal in dem Entwicklungsprojekt oder sogar in dem Entwicklungsaufbau vernachlaessigt worden ist.

Der Verfasser fuehrt die allgemeinen Arbeiten auf, die mit dem Bau eines Staubeckens verbunden sind, fuer welche rechtzeitig die geologisch-technische Frage zu beobachten ist (er betrachtet die Hauptumstände), wenn man das Projekt der Seeanlage vernuenftig ausarbeiten will.