

La station de pompage de Lago Delio

par E. Indri

Vice Direttore, Centro Nazionale Studi e Progetti,
E.N.E.L., Rome

Considérations générales

La situation de la demande d'énergie en Italie, les ressources hydro-électriques traditionnelles étant désormais presque totalement épuisées, est actuellement caractérisée par une couverture thermo-électrique et thermonucléaire importante, et cette prépondérance thermique et nucléaire ira encore plus en s'accroissant dans l'avenir.

Dans ce cadre, les tâches spécifiques confiées à la station de Lago Delio, du moins dans la situation actuelle, sont caractérisées par le fait qu'elle est reliée à un réseau 380 kV, alimenté à l'heure actuelle presque totalement par les centrales thermiques de La Spezia (1 500 MW) et Piacenza (600 MW); l'exploitation de ce réseau, aujourd'hui très rigide, deviendra certainement plus souple au fur et à mesure que le réseau sera étendu et que d'ultérieures interconnexions, même internationales, seront réalisées. D'autres machines thermiques modernes de grande puissance seront entre temps mises en place et par conséquent la présence de la station de Lago Delio sera nécessaire pendant plusieurs années encore.

La station devra donc assurer les tâches suivantes :

- effectuer des transferts d'énergie et de puissance de la nuit au jour et des jours fériés aux jours ouvrables;
- tenir à la disposition du dispatching des puissances de réserve froide ou tournante, positive ou négative, avec les groupes préparés, respectivement, pour la production ou le pompage;
- participer à la régulation secondaire du réseau national, en contribuant aussi à la régulation primaire;
- pouvoir remettre sous tension une partie considérable du réseau national en cas de hors de service très étendu ou général.

Description de l'aménagement

Les caractéristiques essentielles de l'installation sont les suivantes :

Le réservoir d'amont a une capacité utile de 10×10^6 m³, dérivant pour $4,5 \times 10^6$ de la retenue naturelle du Lago Delio et pour le restant de deux barrages poids, construits en substitution des deux anciens barrages précédents de moindre hauteur, qui ont été démolis.

Les barrages ont une hauteur maximale de 28,50 m et de 35,30 m respectivement; leur développement total est de 546 m. Leurs fondations appuient sur des formations compactes de schistes cristallins.

La galerie d'aménée en charge mesure 6,20 m de diamètre et 618 m de long; elle a un revêtement de béton d'une épaisseur variable de 0,50 à 0,65 m, selon la qualité de la roche, en partie renforcé.

La cheminée d'équilibre, dont le volume est égal environ à la moitié du volume total de la galerie, est du type différentiel, avec puits vertical de 4,30 m de diamètre intérieur, un réservoir inférieur ayant une capacité de 770 m³, un deuxième quelque peu supérieur au précédent, communiquant avec l'épanouissement supérieur, qui recueille les débits déversés au sommet du puits vertical.

Les deux derniers réservoirs, ayant respectivement un volume de 2 260 m³ et de 2 870 m³, sont reliés par une galerie, inclinée à 45°, avec un diamètre de 6,20 m. Cette disposition du puits permet d'effectuer toute manœuvre d'exploitation de l'usine, même répétée en phase; le choix des dimensions du puits et du diamètre de la galerie a été fait d'après des critères d'optimisation entre les pertes d'énergie et le coût total de la galerie et du puits.

Les conduites forcées sont placées dans deux galeries parallèles, espacées de 60 m et inclinées de 88° : le choix de la disposition en souterrain au lieu de celle à l'extérieur (bien que cette dernière eût été possible, la pente du mont étant raide, uniforme, avec de nombreux affleurements de roches) tient à des raisons de sécurité eu égard au chemin

E. INDRI

de fer et à la route nationale s'étendant au-dessous, ainsi qu'au souci de ne pas altérer le paysage environnant, appartenant à la zone du Lago Maggiore, zone d'un intérêt touristique considérable. Les conduites métalliques sont bétonnées dans les puits en raison du coût réduit que cette solution comporte par rapport à celle des conduites libres, ainsi que pour mieux faire face aux phénomènes de résonance hydraulique qui peuvent se produire, surtout dans les stations de pompage, par suite de causes différentes qu'en général on ne peut pas prévoir lors du projet. Le concours de circonstances particulières peut en effet donner lieu à des pressions sensiblement supérieures à celles normales, voire à des formes particulières de résonance métallique de la conduite.

Les diamètres intérieurs varient de 4,30 m à 3,80 m, leur longueur est de 1 106 m (le distributeur exclu), le temps caractéristique (LV/gh) est de 1,1 s jusqu'à une pression maximale de service de 460 m, les viroles sont soudées, avec renforcement au moyen d'anneaux (les galeries n'ayant pas de dispositifs de drainage); pour des pressions supérieures elles sont blindées, avec anneaux reportés à chaud. Le distributeur de chaque conduite a l'axe parallèle aux groupes, avec quatre branchements successifs et son diamètre est décroissant de 3,60 m à 1,80 m : chaque branchement bifurque en deux tuyaux, dont l'un se raccorde à la vanne sphérique de la turbine et l'autre à la vanne glissante et à celle sphérique de la pompe. Le distributeur est en tôle d'acier, les pièces cylindriques entre le premier et le troisième branchement sont blindées avec anneaux reportés à froid et tout le distributeur est bétonné.

La caverne des générateurs est réalisée sur quatre plans principaux, à savoir :

- le plan alternateurs-moteurs (203,00 q);
- le plan turbines et vannes sphériques (196,10 q);
- le plan joints et vannes glissantes (186,50 q);
- le plan pompes (171,60 q).

Un puits de montage des pompes est aménagé entre les deux générateurs de chaque couple de groupes jumeaux. La galerie d'entrée aboutit au milieu de la caverne, où se trouve aussi une zone pour le dépôt des pièces d'appareillage et pour le démontage.

Le poste de commande avec la salle des appareils auxiliaires, les bureaux et les services est situé dans une caverne secondaire, latéralement à l'entrée; les transformateurs sont placés dans une caverne séparée, à une distance de 34 m de la caverne des groupes. Les tuyauteries et les câblages sont ménagés dans deux tunnels qui courent parallèles aux deux cavernes.

La voûte a un revêtement en béton, tandis que les parois latérales, jusqu'au plan des alternateurs sont renforcées par des boulons et des câbles d'ancrage. D'une fondation continue à 203 q se détachent les piliers de soutènement des ponts roulants; au-dessous de 195 q, le revêtement est constitué par des arches horizontales en béton, supportées par les butées des parois opposées de la caverne.

La voûte et les parois de la salle des machines ont un deuxième revêtement, afin d'assurer un interstice contre l'humidité. On a aussi mis en place une installation pour le conditionnement de l'air.

Les dimensions principales de la caverne sont :

- largeur : 24 m;
- longueur : 191,53 m;
- hauteur : 60 m.

La galerie d'entrée a une longueur de 210 m : elle part d'une place à laquelle aboutit la route nationale et s'étend vers le lac moyennant une structure en béton armé précon-

trait, supportée par des contreforts, toujours en béton armé précontraint.

Les déchargeurs des turbines et les conduits d'aspiration des pompes sont reliés au Lago Maggiore (qui constitue le réservoir inférieur) à l'aide de deux canaux ayant chacun 180 m de longueur et une section rectangulaire de 11 m de haut et permettant aussi bien la restitution des débits turbins lorsque le niveau du Lago Maggiore est à sa cote maximale (194,50), que l'alimentation des pompes avec le niveau minimum (191).

Les câbles en huile fluide à 380 kV sortent de la caverne des transformateurs par deux puits verticaux et aboutissent à une place d'où partent les lignes aériennes pour le poste du départ de ligne, à 1,5 km de la centrale, pas loin du Lago Delio : du fait de son emplacement dans le dépôt de la galerie, la station a l'avantage de ne pas être visible du Lago Maggiore.

Equipement

L'équipement installé comprend huit groupes ternaires avec turbines Pelton, pompe à quatre étages, moteur-générateur à axe vertical; chaque groupe a les caractéristiques suivantes :

Turbines :

- chute nette maximale. . . 745,95 m, $Q = 20,06 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $P = 130,7 \text{ MW}$;
- chute nette minimale. . . 694,15 m, $Q = 19,35 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $P = 117 \text{ MW}$.

Pompes :

- hauteur de refoulement maximale. 757,85 m, $Q = 10,65 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $P = 87,7 \text{ MW}$.
- hauteur de refoulement minimale. 706,00 m, $Q = 11,80 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $P = 90,1 \text{ MW}$.

Alternateurs-moteurs : Puissance nominale en production : 140 MVA. La vitesse de rotation est de 500 tr/mn.

Le joint de couplage de la pompe à la turbine est du type à pignons dentés, embrayables, lorsque la machine est à l'arrêt, par commande oléodynamique. Pour réduire les temps nécessaires au passage de la phase de production à celle de turbinage, les groupes ont été équipés de dispositifs de freinage hydraulique (petite turbine de freinage : contrejet), avec freinage mécanique final.

Les transformateurs sont triphasés à trois enroulements, ils ont une puissance de 140/140/280 MVA et un rapport de transformation 17/17/510 kV; chaque transformateur est relié à deux alternateurs.

La sortie de transformateur est réalisée moyennant une terne de câbles tripolaires en huile fluide.

Six états de service principaux sont possibles par rapport aux exigences de fonctionnement :

- groupe à l'arrêt avec le joint désembrayé;
- groupe turbine-alternateur tournant à 500 tr/mn sans excitation;
- alternateur fonctionnant comme compensateur synchrone, avec la turbine tournant à vide;
- alternateur et turbine en usage de production;
- groupe en usage de pompage;
- groupe à l'arrêt avec le joint désembrayé.

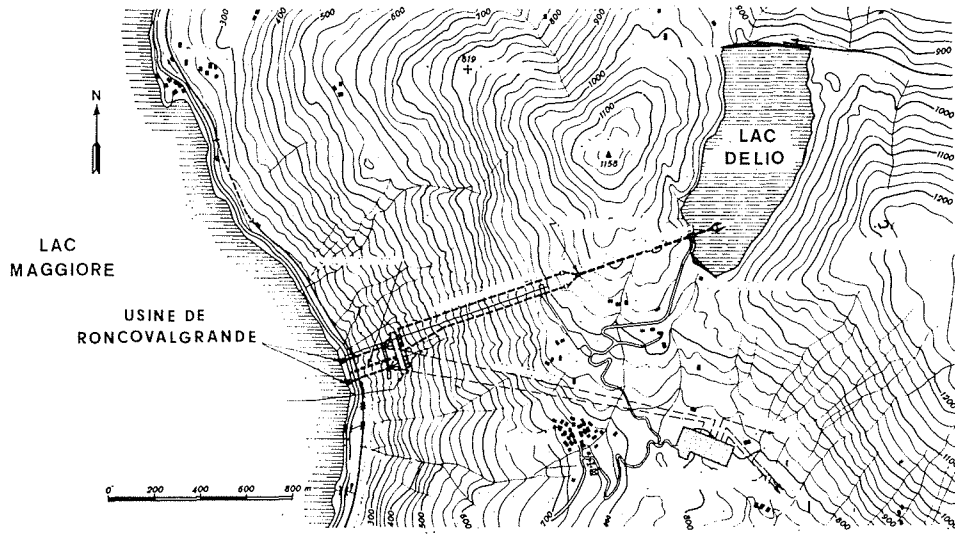


Fig.1

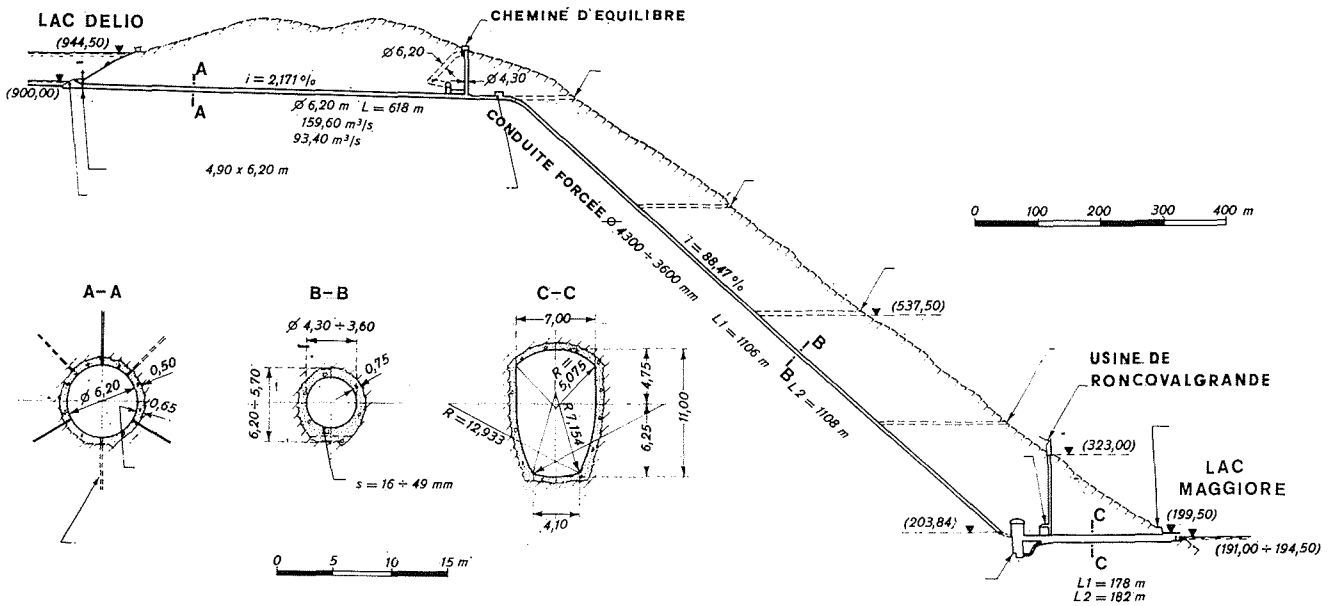


Fig.2

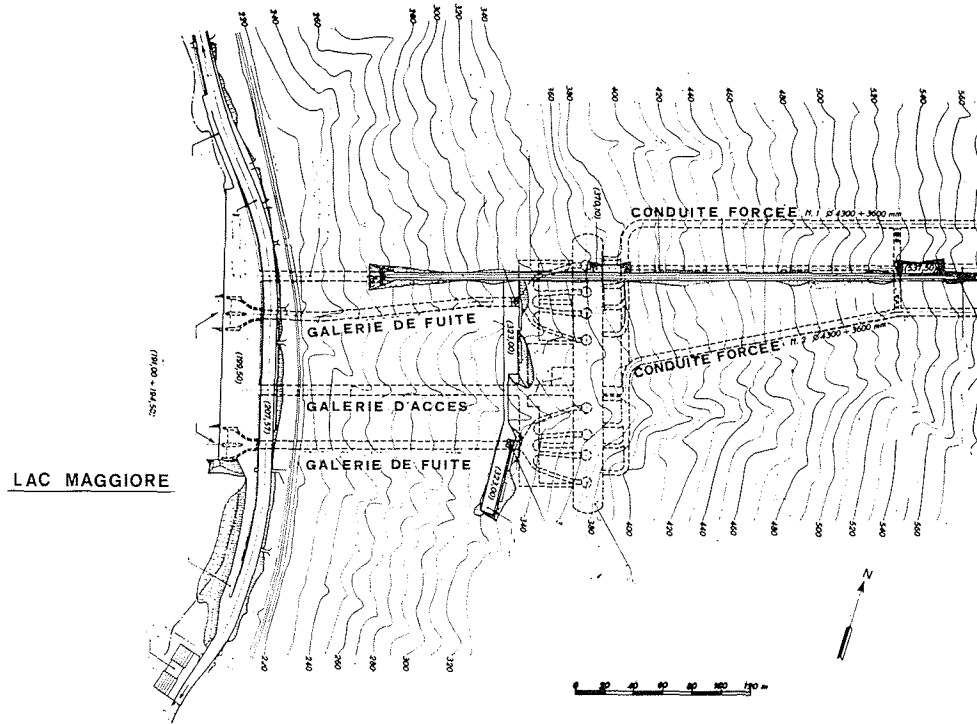


Fig.3

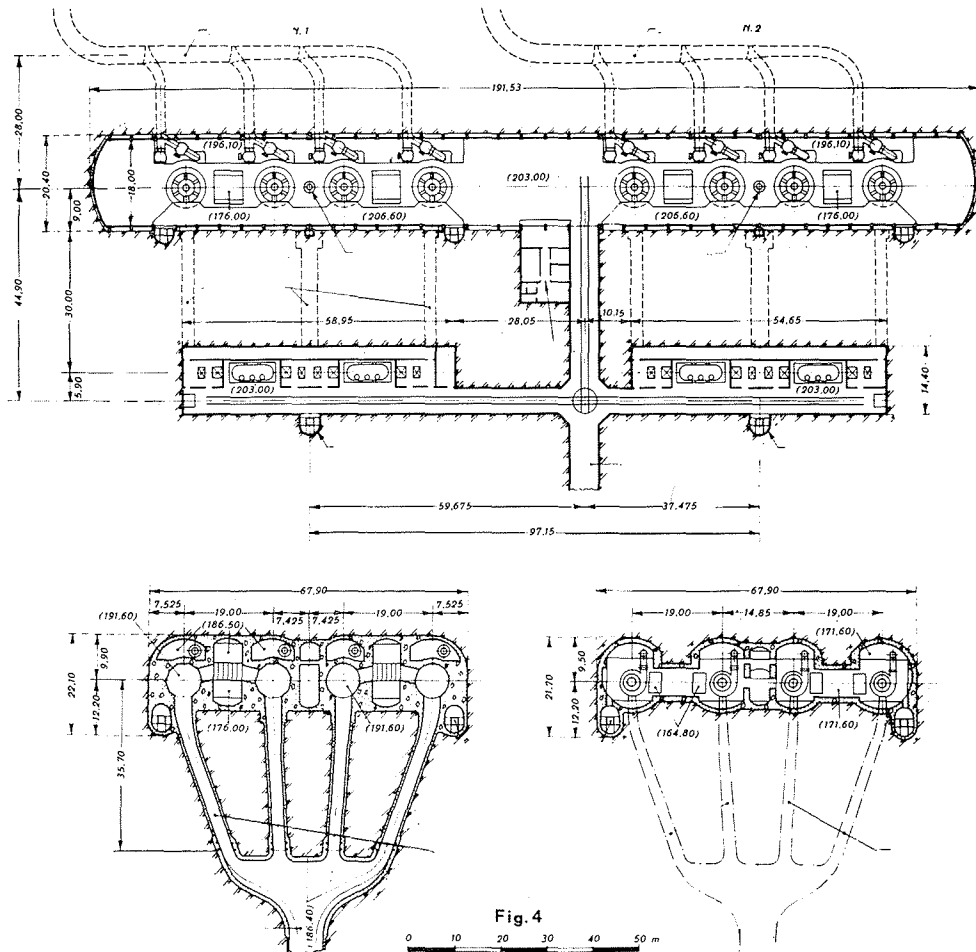


Fig.4

Commandes et contrôles

Des appareils de contrôle automatique permettent à chaque groupe de passer d'un état donné aux autres états de service susmentionnés; on a en outre assuré la protection des groupes et la régulation des paramètres les plus représentatifs (ouverture de la turbine; excitation du générateur-moteur), en même temps qu'on effectue les mesures et les enregistrements des grandeurs se rapportant aux manœuvres exécutées et à la bonne marche du groupe.

La régulation de la vitesse de chaque groupe est assurée par un régulateur électrique, comme c'est depuis longtemps l'habitude en Italie; la régulation de la tension s'effectue moyennant des appareils statiques, tandis que pour le niveau de puissance on utilise l'excitatrice coaxiale traditionnelle.

Un appareil central peut contrôler l'excitation de tous les groupes.

En état normal de fonctionnement, on prévoit chaque jour un ou deux démarrages en production et un au moins en pompage, avec les arrêts correspondants. Tout cela doit être fait dans un délai aussi court que possible et, éventuellement, presque simultanément pour la totalité des groupes.

Le freinage du groupe — d'abord hydraulique, ensuite mécanique — s'effectue en 3 mn environ; toutefois, comme les freinages très fréquents peuvent provoquer des défauts difficiles à préciser à l'avance, on a adopté même un freinage électrique, réalisé moyennant un court-circuit à la sortie de

la machine, obtenu en excitant l'alternateur par une source séparée, de manière à provoquer dans le stator un courant à peu près égal au courant nominal: celui-ci entraîne un couple de freinage très réduit à la vitesse normale, qui augmente avec le ralentissement et devient très efficace lorsque le groupe est en train de s'arrêter.

Par rapport aux tâches qu'il remplit, l'automatisme peut être divisé en deux parties. L'une préside à l'émission d'ordres et l'autre effectue les contrôles; pour la partie relative aux ordres, on a choisi une organisation à deux niveaux hiérarchiques, basée sur des ordinateurs en séquence.

En cas de fonctionnement automatique, l'opérateur appuyant sur un bouton, demande à l'automatisme de faire passer le groupe de l'état de marche du moment à un état futur prédéterminé.

Le circuit de choix de la transition, sur la base de cette demande d'« état futur » communique la transition à exécuter à l'ordinateur du groupe (Pr.d.g.).

L'ordinateur du groupe commence à faire le programme approprié en émettant une ou plusieurs « demandes d'intervention » qu'il envoie aux ordinateurs de fonction (Pr.d.F.); avant d'envoyer d'autres demandes il attend que ces derniers lui répondent. La transition se poursuit ainsi jusqu'au moment où le groupe parvient à l'état que l'opérateur avait demandé.

Les ordinateurs de fonction sont les unités qui commandent les organes du groupe. Par « fonction » on entend la mise en service ou l'arrêt d'un ou de plusieurs organes:

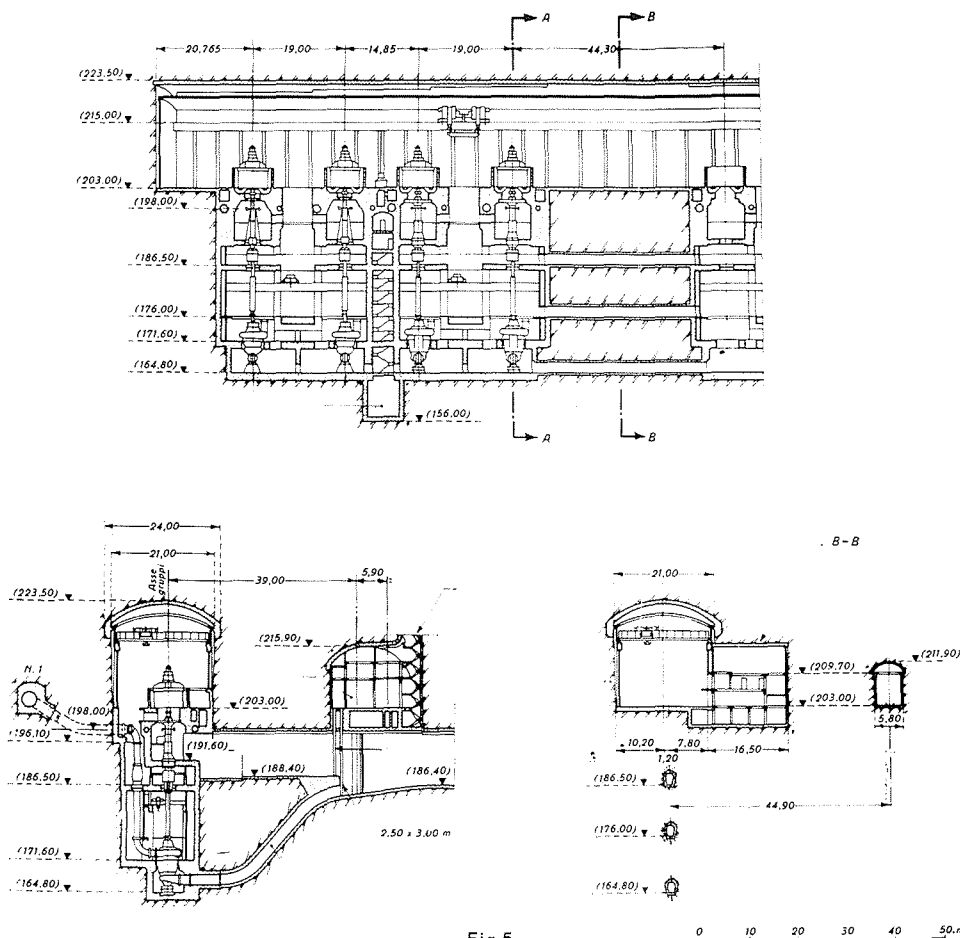


Fig.5

E. INDRI

elle s'effectue toujours en suivant les mêmes modalités et vise toujours le même but, indépendamment de la transition en cours. En principe, les fonctions de mise en service ou d'arrêt concernant les mêmes organes sont réunies dans un même ordinateur de fonctions. L'ordinateur du groupe parvient à la réalisation de toutes les transitions qui lui sont demandées moyennant une combinaison convenable de ces fonctions dans le temps. Un ordinateur de fonctions envoie un ou plusieurs ordres à la fois aux organes du groupe, en attendant ensuite les réponses avant de donner de nouveaux ordres. L'effectuation de la fonction se poursuit ainsi, jusqu'à ce qu'elle ne soit réalisée. L'ordinateur de fonction informe alors l'ordinateur du groupe que la fonction est achevée, et celui-ci poursuit l'effectuation de la transition en faisant intervenir d'autres ordinateurs de fonctions.

La structure de la partie relative aux contrôles est plus simple que celle relative aux ordres, car tous les contrôles sont indépendants les uns des autres.

Modalités de construction

La disposition de la centrale en caverne, dans le cas particulier des stations de pompage et par rapport à leur type de fonctionnement prédominant, offre les avantages suivants :

- dégage de toute dépendance à la configuration topographique du terrain de la zone;
- résout les problèmes relatifs à la protection du paysage qui sont très importants presque partout en Italie;
- assure de meilleures conditions de fondation à l'équipement;
- permet de procéder avec plus de facilité et moins de limites aux fouilles à grande profondeur;
- réduit le temps caractéristique de la conduite forcée et augmente proportionnellement la souplesse d'intervention dans l'installation, avec une diminution des phénomènes transitoires hydrauliques et électriques, en améliorant les possibilités d'intervention des groupes.

Tous ces avantages ont joué un rôle décisif dans le choix de la solution en caverne pour l'usine de Roncovalgrande, dans un massif constitué de formations de gneiss, avec des plans de schistosité presque verticaux, à peu près perpendiculaires à l'axe principal de la caverne et avec des joints se développant dans différentes directions.

Les recherches effectuées à Lago Delio ont porté sur tous les aspects géomécaniques, en vue d'établir les modalités de construction de la salle, selon le procédé suivant :

Après avoir excavé et bétonné la voûte, on continuait les fouilles vers le bas, en déversant les déblais dans les puits : dans la première section, on laissa une épaisseur de roche, provisoirement renforcée au moyen d'une voûte au niveau du plan de la salle machines (qui fut ensuite démolie), en poursuivant l'abatage au-dessous. Dans la deuxième section, l'excavation fut par contre poursuivie pour toute la hauteur, ayant jeté à mi-hauteur contre les parois six butées en béton armé, destinées ensuite à être englobées dans les fondations des machines, et ne reprenant l'excavation qu'après un durcissement convenable. Les parois étaient consolidées au moyen de boulons et d'ancrages en profondeur avec câbles de tension. On ne rencontra pas d'eau, sauf de petits débits au fond de la fouille, quelque 30 m au-dessous du niveau du Lago Maggiore.

Les données techniques et économiques du travail peuvent être ainsi synthétisées :

TRAVAIL	PREMIÈRE SECTION	DEUXIÈME SECTION	ENSEMBLE DE L'USINE
Volume total d'excavation (m ³)	90 070	77 450	167 520
Superficie des parois (m ²) . .	10 090	8 930	19 020
Heures d'ouvrier par m ³ d'excavation (hr/m ³)	1,47	1,26	1,37
Machines utilisées :			
diesel (CV)			1 460
électrique (CV)			1 140
Puissance unitaire appelée :			
diesel (CV/hr.m ³)	41,0	50,0	45,2
électrique (CV/hr.m ³)	40,0	31,0	35,8
Consommation spécifique d'explosif (kg/m ³)	1,796	1,793	1,793
Boulonnages (nombre/m ³)	0,407	0,252	0,352
Câbles d'ancrage (nombre/m ³)	0,044	0,075	0,061
Coût moyen de l'excavation (excepté la voûte et les cloisons provisoires) (lires/m ³)	4 530	4 147	4 348
Coût moyen voûte provisoire et démolition (lires/m ³)	953	—	513
Renfor- cement { Spritzbeton	743	758	750
{ Boulonnages	830	670	756
{ Câbles	1 838	3 253	2 492
Coût total unitaire	8 818	8 818	8 859

Recherches et études géomécaniques

Les recherches préliminaires ont été effectuées moyennant des perforations — utilisées même pour les essais géosismiques — et des galeries d'exploration aboutissant en correspondance avec l'axe de la caverne et même au-delà, et dans lesquelles on a effectué les essais géo-mécaniques sur place.

Le sondage sismique révéla l'existence de zones profondes où la vitesse de propagation des ondes était moindre par rapport au restant du massif rocheux, par suite d'accidents tectoniques localisés ou d'une plus grande schistosité : on trouva en outre une couche de roche dégradée plus épaisse en correspondance avec certains sillons profonds à la surface, dus à l'érosion pluviale. La vitesse de propagation s'élevait en moyenne entre 4 500 m/s et 5 000 m/s, le module élastique sismique pouvant par conséquent être évalué à environ 500 000 kg/cm².

La déformabilité du rocher fut déterminée moyennant des essais de laboratoire et des essais *in situ*. Les essais de laboratoire consistaient en une compression mono-axiale sur des échantillons cylindriques de roche de deux types ayant, respectivement, 51 mm de diamètre et 100 mm de longueur, ou 72 mm de diamètre et 140 mm de longueur. Les essais sur place s'effectuaient à l'aide de vérins plats hydrauliques sur des dalles en béton et de chambres à pression hydraulique. Dans tous les essais on appliquait la charge dans différentes directions, sur des plans parallèles et normaux à la schistosité.

Sur la base des résultats des essais on peut estimer que :

- les modules de déformation au cisaillement résultant des essais en laboratoire et *in situ* ont été en général très dispersés, sauf ceux recueillis au fond du tunnel d'essai;

- les valeurs du module élastique obtenues par les essais en laboratoire ne sont pas très différentes de celles obtenues moyennant les essais effectués dans la galerie en charge;
- les valeurs minimales du module élastique s'obtinrent avec les essais à l'aide du vérin, probablement par suite de la concentration des contraintes qui est caractéristique de cette méthode;
- les essais effectués dans la galerie en charge ont indiqué que la direction dans laquelle on applique la charge influe sensiblement sur les valeurs de la déformation;
- les essais en laboratoire et *in situ* ont montré, du moins dans le champ des efforts analysés, que le rapport entre les contraintes et les déformations est linéaire;
- le coefficient de Poisson a été trouvé sensiblement inférieur aux valeurs qu'on retient généralement en l'absence de données expérimentales pour des roches analogues.

D'après les essais en laboratoire sur la résistance mécanique du rocher on peut tirer les conclusions suivantes :

- même dans les échantillons, la résistance offerte par le matériel est caractérisée par une grande dispersion de valeurs, par rapport à la présence de schistosités et de fractures soudées par un ciment siliceux;
- la corrélation linéaire entre les valeurs de résistance à la compression monoaxiale et celles à la compression triaxiale est assez faible;
- bien que les essais aient été faits sur des échantillons à l'état naturel, on a trouvé que la cohésion maximale (environ 230 kg/cm²) était supérieure à celle minimale (environ 100 kg/cm²) dans la mesure d'à peu près 130 %.
- les valeurs de l'angle interne de frottement (47° ÷ 54°) se sont révélées moins dispersées; il y a donc lieu de croire que ce paramètre, pour le massif entier, ne soit pas beaucoup plus bas.

Pendant les travaux d'excavation des expériences ont été faites pour déterminer l'état naturel de tension du rocher *in situ*, à l'aide d'un déformomètre pour trous de sondage USBM et une boîte de mesure des tensions du type « doorstopper », même pour étudier une méthodologie pour ces recherches.

Le résultat des recherches que le Service géo-technique du Centre National Etudes et Projets de l'ENEL a menées en collaboration avec l'Institut de Technique Minière de l'Université de Rome a été un modèle mathématique-statistique où tout effort mesuré est entaché par une erreur casuelle. On a ainsi développé un programme de calcul qui fournit rapidement les composants du tenseur des contraintes et de leur validité en fonction de la variance, de la co-variance et du niveau de confiance. Il est ainsi possible d'évaluer les contraintes principales, de connaître leur orientation et dans quelle mesure ces valeurs sont exactes.

Au cours et à la fin des travaux de nombreux contrôles ont été exécutés en mesurant les déformations du rocher à l'aide d'extensimètres transducteurs magnétiques Losinger du type Le, longs de 50 m, qui, logés dans les trous de sondage, permettent de contrôler huit points fixes tout le long du trou. On mesurait aussi les déformations des butées de renforcement moyennant des extensimètres électriques placés à moitié de leur longueur.

Grâce à ces mesures on a pu s'attacher à interpréter a posteriori le comportement du massif rocheux en appliquant la méthode des éléments finis à des modèles toujours plus sophistiqués; l'étude a été amorcée sur un modèle mathématique plan et actuellement on est encore en train de la poursuivre.

Le premier modèle fut développé pour un programme sur ordinateur FEB de la GEGB, en utilisant des éléments triangulaires linéaires, à six degrés de liberté avec une maille de 290 nœuds et 498 éléments qui se référerait aux premières phases d'excavation: plus tard, aussi en vue d'évaluer les interactions possibles entre les deux cavernes, on utilisa un deuxième modèle pour lequel le Service géotechnique développa un programme (RIFEPTI) pour une maille de 1 440 éléments et 759 nœuds, avec des éléments triangulaires linéaires à six degrés de liberté.

Une comparaison entre les données de calcul et les mesures peut faire conclure :

- sur la base des valeurs des déformations mesurées il a été possible de déterminer l'état de tension naturel par la méthode des carrés minimes, dans l'hypothèse qu'il soit constant au moins au voisinage immédiat de la fouille;
- les déformations dérivant des contraintes calculées comme on l'a indiqué plus haut en général étaient comparables à celles mesurées, à l'exception d'un extensimètre et des ancrages emplantés à moins de six mètres de distance de la paroi;
- en creusant la voûte, un bloc de rocher se détacha et il apparut évident qu'il était limité par des surfaces de discontinuité, parmi lesquelles la plus importante était une faille qui courait presque parallèle à la voûte, à 8 m de distance environ. En introduisant la représentation de cette discontinuité dans la maille du calcul des éléments finis on obtint une concordance accrue, même pour les mesures effectuées dans cet extensimètre.

En définitive, ces premiers résultats montrent la validité et la souplesse de la méthode, c'est pourquoi on poursuit les études pour la développer et étendre son application. D'une façon générale on peut donc affirmer que les recherches et les calculs qu'on a appliqués à Lago Delio, ainsi que les méthodes de travail suivies assurent la stabilité et la sécurité des ouvrages de ce genre et dimension, même si l'on n'est pas à mesure de préciser quel est le degré de sécurité qu'on a atteint effectivement.

Bibliographie

- SEGRE (G.), STABILINI (A.) et FERRÉ (G.). — I controlli automatici per l'impianto idroelettrico con accumulo per pompaggio del Lago Delio. *L'Elettrotecnica*, 1969, p. 508.
- DOLCETTA (M.). — Problems with large underground stations in Italy. *Proceedings ASCE*, Nat. Water Resources Eng. Meeting, Phoenix, Arizona, 1971, Session 7 c.
- MANTOVANI (E.). — Geotechnical surveys for two large underground Hydro-Stations. International Conference on Pumped Storage Development and its Environmental Effects, Milwaukee, Wisconsin, U.S.A. (September 19-24, 1971) Technical Section III.

Voir la discussion à la page suivante

M. le Président remercie chaleureusement M. INDRI pour son remarquable exposé qui nous fait profiter de l'expérience de l'E.N.E.L. dans un domaine relativement nouveau. Il a été intéressé par les problèmes géomécaniques posés par l'exécution de la grande caverne de l'usine du Lago Delio; l'exécution de cet ouvrage exceptionnel a donné lieu à des études d'un intérêt considérable pour les réalisations ultérieures.

Il pose ensuite à M. INDRI la question suivante :

Pensez-vous qu'avec les connaissances actuelles, l'installation de groupes réversibles multi-étages aurait apporté des simplifications substantielles à la centrale du Lago Delio malgré certaines difficultés liées au démarrage en pompe et à la souplesse de réglage de ce type de machine ?

M. INDRI répond :

Le projet de la station de pompage de Lago Delio a démarré il y a une dizaine d'années.

Compte tenu de la hauteur de chute disponible (700 m), on n'avait pas, à ce moment-là, la possibilité d'envisager des groupes réversibles pouvant fonctionner dans les conditions que l'on connaît maintenant. D'ailleurs, même à l'heure actuelle, je ne sais pas s'il serait possible de mettre très rapidement en construction des groupes de ce type pour une telle hauteur de chute.

La situation de la centrale de Lago Delio est assez favorable pour l'utilisation des groupes ternaires classiques, du fait de la faible variation du niveau à l'aval.

Un autre élément à prendre en considération est la qualité assez bonne du rocher. Il a été possible de faire des fouilles de cette importance dans les conditions de sécurité satisfaisantes.

Je dois dire que la technique des fouilles pour la construction des usines souterraines est devenue une technique qu'on peut dire « traditionnelle » tant elle est au point maintenant. Les travaux d'ancrage et de boulonnage du rocher se font dans de bonnes conditions, mais il faut cependant reconnaître que ces travaux doublent presque le coût de l'excavation.

M. le Président se défend de critiquer la solution adoptée par l'E.N.E.L. en la circonstance mais serait heureux de savoir si nos amis italiens estiment fiables les groupes multi-étages ou s'ils ont quelque réticence à les utiliser en raison de certaines difficultés de démarrage ou de réglage.

M. INDRI formule ainsi son opinion sur ce point qu'il juge encore un peu délicat :

Nous avons en construction entre Bologne et Florence une usine qui fonctionnera sous environ 400 m de hauteur de chute entre deux réservoirs. Cette usine est équipée avec deux groupes réversibles de 200 MW. Il n'y a donc pas de notre part une opposition de principe aux groupes réversibles.

Je dois cependant dire que, personnellement, je me pose la question de la souplesse d'exploitation de ces types de groupe. Evidemment, un groupe Pelton, même s'il n'est pas éternel, a une souplesse de marche et une gamme de possibilités de fonctionnement supérieures à celles des groupes Francis et des groupes réversibles.

Quel est le mode d'exploitation prévu — journalier, hebdomadaire — pour l'usine du Lago Delio ? Quelle sera son utilisation annuelle ? demande M. LEFOULON.

On pense, dit M. INDRI, réaliser au moins deux démarrages par jour, un en pompage et un en turbinage; le fonctionnement est prévu sur une base hebdomadaire.

Compte tenu de son utilisation pour le réglage et comme réserve tournante, il est probable que le nombre d'heures de fonctionnement annuel sera assez élevé.

Je dois d'ailleurs avouer qu'il subsiste en Italie une certaine part d'incertitude dans tout ce qui concerne l'utilisation des usines de pompage. En effet, les services qu'on peut attendre d'une telle usine sont liés à tout le système de production lequel est aussi en évolution du fait du passage de la production presque totalement hydraulique du passé à une couverture toujours plus importante des besoins par les usines thermiques.

La première étude que l'on fait, s'agissant d'une usine de pompage, est une étude économique. Il s'agit de comparer les coûts de construction de cette usine par rapport à ceux d'une usine thermique, mais ceci sans aller pour le moment jusqu'à des études de détail, qui pourront mieux se faire par la suite, usine par usine... ceci en relation avec l'influence de l'existence de l'usine de pompage dans le système général de production.

La protection du site prestigieux du Lago Maggiore n'a-t-elle pas entraîné d'autres précautions que l'implantation souterraine des ouvrages, notamment en ce qui concerne le marnage et les courants provoqués par le fonctionnement de l'usine, demande M. BANAL ?

La surface du lac est si grande, dit M. INDRI, que les variations de niveau dues au fonctionnement de l'usine sont de l'ordre d'un à deux centimètres.

Le problème des vitesses locales de l'eau au droit de l'usine a été étudié sur modèle. Il n'y a pas à craindre un mouvement très important des bateaux.

Pour les usines qui sont aménagées le long des lacs italiens, la question de la sauvegarde du paysage est très importante. Théoriquement, on aurait très bien pu construire, pour la station du Lago Delio, une usine en surface; mais, pour des raisons de sauvegarde du site et aussi de sécurité (à cause de la présence du chemin de fer, des routes nationales, etc.), on a préféré la solution de l'usine souterraine. Même le poste de départ est installé dans une vallée latérale : on ne le voit pas du Lac Majeur.

Peut-on améliorer les performances de l'aménagement en amenant par des adductions convenables au Lago Delio l'apport de bassins versants voisins, interroge M. DE MAUBLANC ?

L'ancien aménagement du Lago Delio, précise M. INDRI, comportait une usine très petite utilisant les débits d'un bassin versant de 4,6 km²; la puissance installée était de l'ordre de 3 700 kW. Les apports naturels sont donc très peu importants par rapport à la production de la station de pompage.

D'autre part, il n'est pas économiquement possible de dériver vers le lac les débits de bassins versants voisins.

M. le Président clôt la discussion et remercie, à nouveau, M. INDRI pour son très intéressant exposé et pour la très instructive discussion qui l'a suivi. Il donne ensuite la parole à M. WENHENKEL pour l'exposé de sa communication.