

Pier Paolo Rossi, Giovanni Vallino

Realizzazione di giunti attivi mediante martinetti piatti per il risanamento di dighe in calcestruzzo

*(comunicazione presentata al seminario AICAP/Ismes **Tecnica delle coazioni**
imprese nella riparazione strutturale - Bergamo, maggio 1984)*

REALIZZAZIONE DI GIUNTI ATTIVI MEDIANTE
MARTINETTI PIATTI PER IL RISANAMENTO
DI DIGHE IN CALCESTRUZZO

PIER PAOLO ROSSI *
GIOVANNI VALLINO **

1. PREMESSA

L'idea di una precompressione delle strutture fu concepita per la prima volta all'inizio del ventesimo secolo da Eugène Freyssinet mentre era studente alla "Ecole des Ponts et Chaussées" ed usata nel ponte di Le Veudre in una remota area del Centro Sud della Francia. Il metodo è stato poi usato per ponti ed edifici.

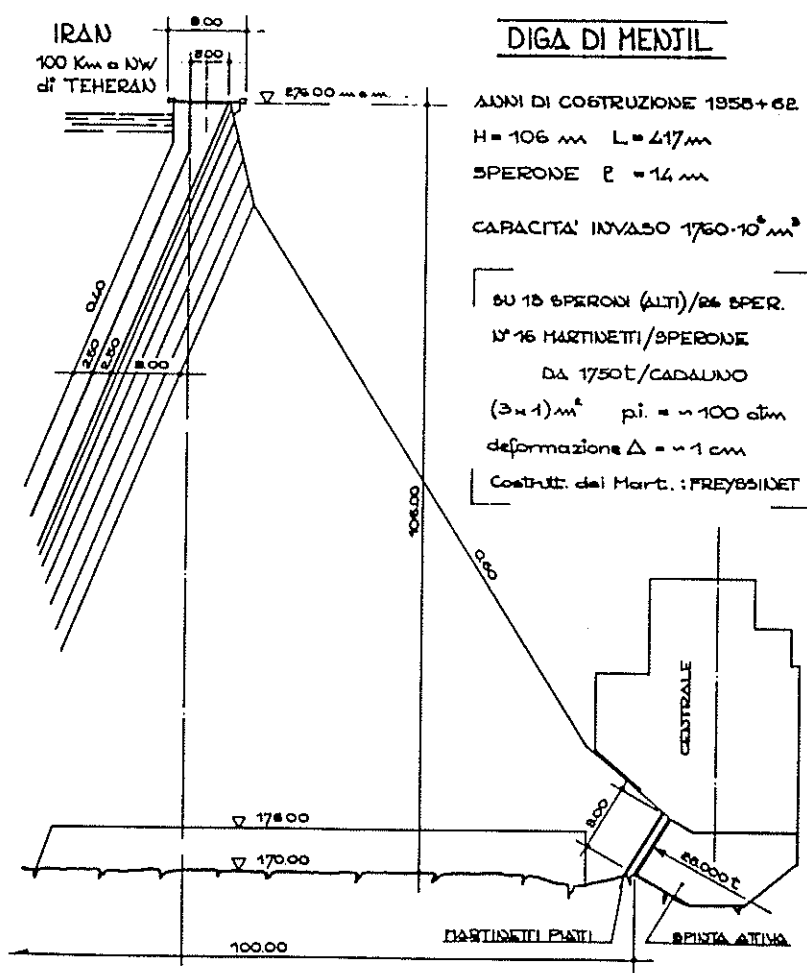
La precompressione di dighe mediante martinetti azionati meccanicamente o idraulicamente è stata applicata, nell'arco dell'ultimo ventennio, in non più di 4 - 5 esempi: la diga a speroni di Manjil (Iran), la diga a volte multiple di Grandval (Francia), la diga ad arco di Nambe Falls (Nuovo Messico), la diga di Erraguène (Algeria) e la diga di Cachi (Costarica).

In Italia la prima precompressione di una diga mediante martinetti è stata applicata, su progetto ENEL C.P.C.I.E. di Venezia in collaborazione con l'ISMES di Bergamo, nel ripristino dei conci in calcestruzzo della diga di Corbara, allo scopo di realizzare la collaborazione fra due strutture, vecchia e nuova, fra di loro indipendenti. Il risanamento della diga è stato realizzato nel periodo 1981 - 84 e il serbatoio è attualmente in fase di reinvaso.

In tutti i casi conosciuti la "coazione" è stata impressa mediante "martinetti piatti" i quali sono dispositivi di carico dotati di elevata deformabilità in grado di assorbire elevate deformazioni conseguenti alle aperture del giunto.

* Responsabile della Divisione Geomeccanica dell'ISMES S.p.A. Bergamo

** Capo Servizio Progettazione dell'ENEL CPCIE di Venezia



di 14 m ai piedi dei quali è installata la centrale con 5 gruppi da 17.5 MW cadauno.

L'apertura degli scavi di imposta dell'opera mise in evidenza caratteristiche geotecniche della roccia di fondazione molto variabili: eccellenti sulla sponda destra, mediocri sul fondo valle e sulla sponda sinistra.

L'adattamento dell'opera alle condizioni della roccia di fondazione fu facilitata dalla scelta del tipo di sbarramento a speroni indipendenti e fu integrata dall'adozione di blocchi di fondazione in calcestruzzo con l'applicazione di una spinta attiva all'estremità di valle degli speroni di altezza maggiore. Detta spinta era realizzata mediante un blocco di calcestruzzo, dalle dimensioni trasversali di $(9 \times 8) \text{ m}^2$ e lunghezza variabile, separato dallo sperone mediante "giunto attivo" costituito da 16 martinetti piatti, tipo Freyssinet, delle dimensioni di $(3 \times 1) \text{ m}^2$ e pressione interna di circa 100 bar. La deformazione massima prevista era pari ad 1 cm.

La spinta idrostatica, orizzontale e verticale, è pari a:

$$H = 79.000 \text{ t} \quad V = 30.000 \text{ t}$$

Il peso proprio di ciascun sperone è pari a 88.000 t. Ogni martinetto piatto sviluppa una spinta di 1.750 t, per un totale di 28.000 t circa di spinta per ciascun giunto.

Al termine delle operazioni di invaso ed a roccia stabilizzata, i martinetti piatti sono stati iniettati con malta di cemento e gli spazi liberi fra sperone e blocco di valle sono stati riempiti di calcestruzzo.

3. DIGA DI NAMBE FALLS (NEW MEXICO)

La diga di Nambe Falls (Fig. 2), ubicata sul Rio Nambe 40 km a Nord di Santa Fe, nel Nuovo Messico, fornisce un volume di acqua supplementare e regolare per l'irrigazione, per la coltura di pesci e, non ultimo, per utile ricreazione.

Le riviste tecniche (2) (3) ne parlano come di: "una non usuale combinazione di una diga curva in terra, di una diga-spalla a gravità in calcestruzzo e di un sottile arco in calcestruzzo precompresso mediante martinetti piatti installati sulla sezione verticale di chiave.....; ed anche: "Un metodo (il solo esempio a tutt'oggi negli Stati Uniti) di precompressione di una diga ad arco per ridurre gli sforzi di trazione.....".

La diga, ad arco sottile, ha un'altezza di circa 46 m sulle fondazioni (42 m nella sezione centrale dell'arco, sagomata a sfioratore),

NEW MEXICO

DIGA DI NAMBE FALLS

ANNI DI COSTRUZIONE 1974-76

H = 42 m L = 50 m

INVASO PER IRRIGAZIONE

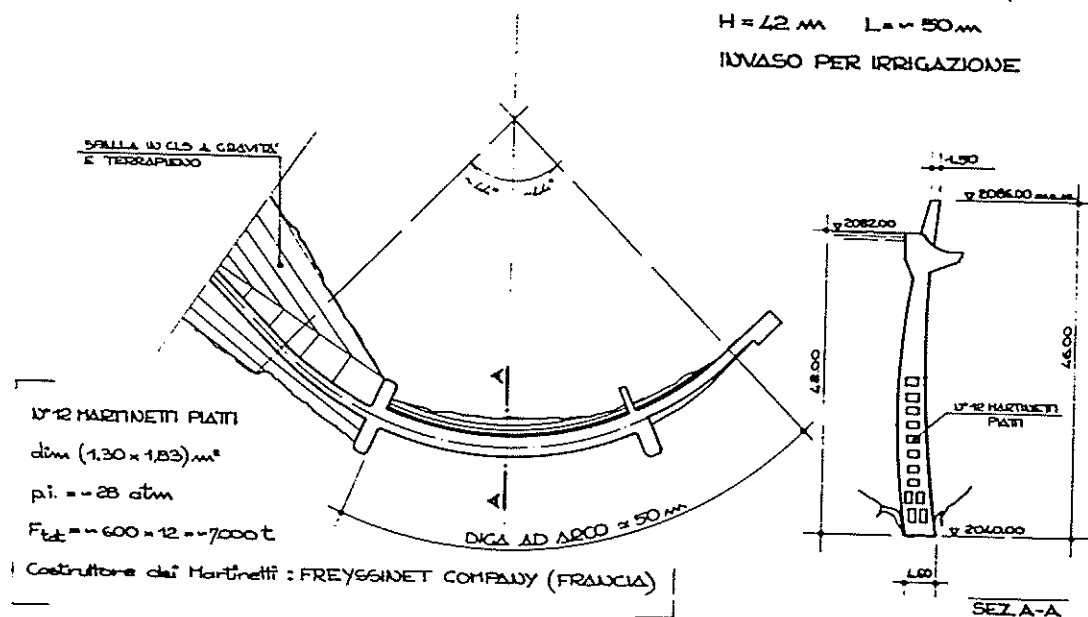


Fig. 2 DIGA DI NAMBE FALLS
Precompressione della sezione centrale della diga mediante 12 martinetti piatti

lunghezza di circa 50 m e spessori, al coronamento ed in fondazione, pari rispettivamente a 1.50 e 4.60 m. Si tratta perciò di una diga relativamente piccola.

La precompressione della sezione di chiave è stata ottenuta mediante 12 martinetti piatti, tipo Freyssinet, delle dimensioni di (1.30 x 1.82) m² e pressione interna, pari a 28 atm. Ogni martinetto sviluppa una spinta di 600 t per un totale di circa 7.000 t (valore elevato in relazione al tipo di opera).

4 DIGA DI GRANDVAL (FRANCIA)

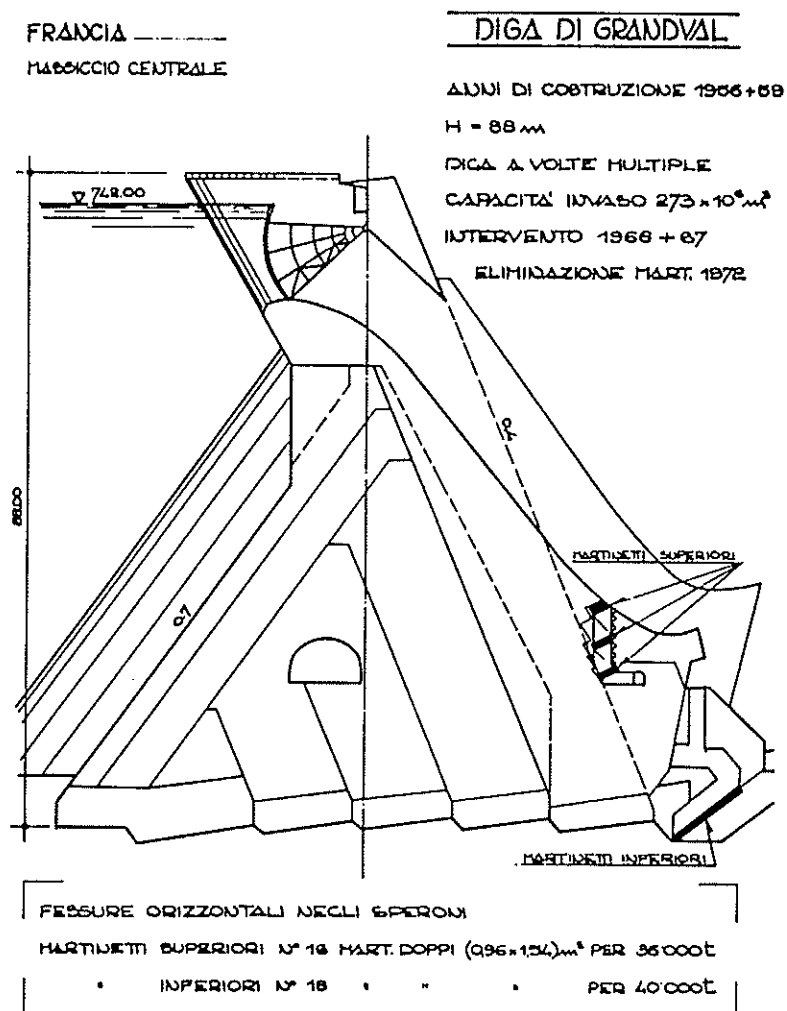
La diga di Grandval (fig. 3) è il primo esempio di sbarramento a volte multiple (di 50 m di luce). Ubicato nel Massiccio Centrale, sul Rio Truyère, subaffluente della Garonna, ha un'altezza massima di 88 m e crea un invaso di 273 milioni di m³ ⁽⁴⁾. Gli speroni, con pendenza a monte di 0.7 ed a valle di 0.4, sono suddivisi in più blocchi da giunti di costruzione realizzati in forma di cremagliera ed iniettati.

La costruzione dell'opera è iniziata nel 1956 ed è terminata nel 1959. Durante i primi anni di esercizio si produssero e si aggravarono alcune fessure negli speroni centrali sagomati a soglia sfiorante. In

particolare le fessure si produssero lungo le cremagliere dei giunti di costruzione che legano le differenti parti dei contrafforti. Misure, prove e calcoli indicarono che le fessure si erano prodotte a causa degli sforzi di trazione elevati conseguenti alla limitata pendenza del paramento di valle. I calcoli di stabilità dimostrarono altresì che l'evoluzione constatata poteva diventare pericolosa.

I lavori di rinforzo consistettero nell'utilizzo dell'appendice esistente a valle dei due conci centrali fessurati (progettata originariamente per scopi idraulici) allo scopo di prolungare verso valle gli speroni stessi e la relativa fondazione. Per assorbire il ritiro ed il "fluage" del calcestruzzo e della roccia di fondazione e realizzare così

Fig. 3
DIGA DI GRANDVAL
Schema di installazione dei martinetti piatti



una buona collaborazione fra le due strutture, vennero messi in opera martinetti piatti su due livelli, il primo al di sopra della roccia di fondazione (32 martinetti) ed il secondo fra l'appendice e gli speroni (48 martinetti).

Ciascun martinetto era costituito da due martinetti piatti sovrapposti di superficie $(0.96 \times 1.54) \text{ m}^2$ in lamiera d'acciaio, con corsa pari a 5 cm. Ogni martinetto piatto esercitava una spinta di circa 1.200 t con

una pressione ammissibile di circa 150 bar.

Interventi analoghi sono stati effettuati sulla diga di Erraguène, in Algeria (diga a speroni alta 86 m con un invaso di 200 milioni di m³) e sulla diga di Cachi (Costarica), entrambe citate nell'articolo del "Civil Engineering - ASCE" (3).

5. DIGA DI CORBARA: RISANAMENTO DEI CONCI IN CALCESTRUZZO

La diga di Corbara sul fiume Tevere (Fig. 4), costruita negli anni 1959 - 1963 dalla Società Idroelettrica Tevere e successivamente trasferita all'ENEL, sbarrava il fiume Tevere nella stretta di Corbara, nel Comune di Orvieto, circa 100 km a Nord di Roma.

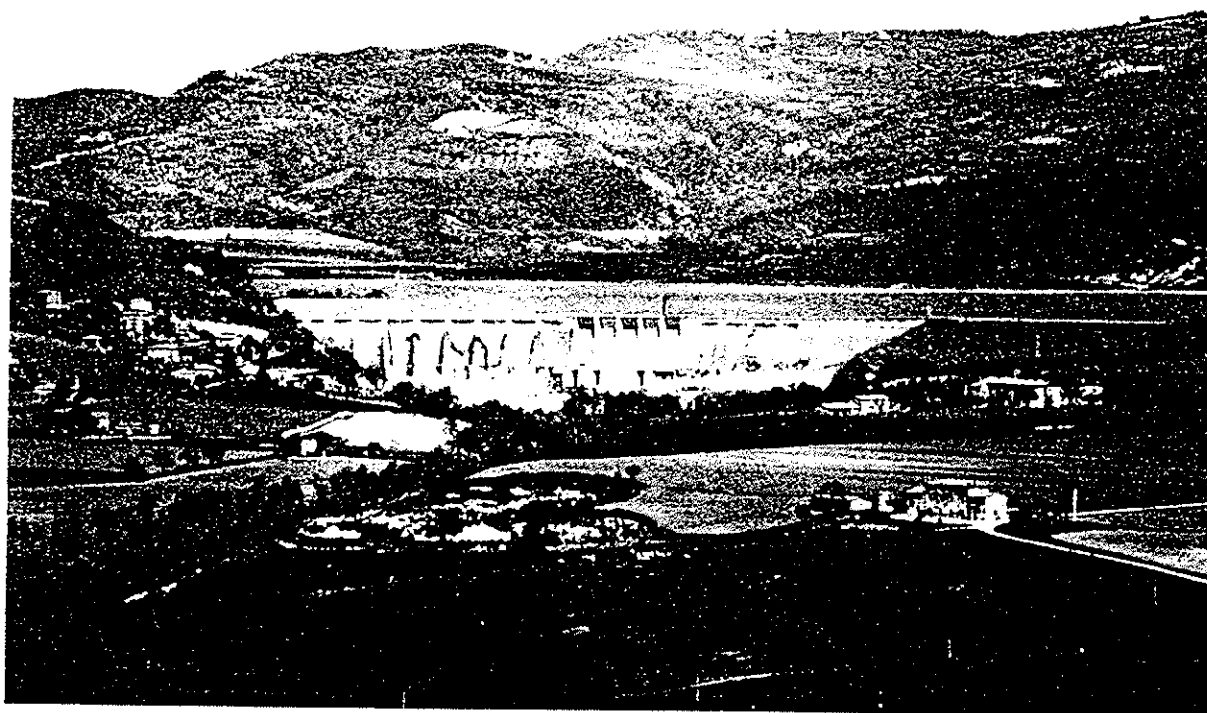


Fig. 4 DIGA DI CORBARA
Vista da valle della diga e del serbatoio

Il serbatoio, della capacità complessiva ed utile rispettivamente pari a 190 e 135 milioni di m³ a quota 138.00 m s.l.m., ha la funzione di regolazione mensile delle portate utilizzate nella centrale di Baschi e nelle successive centrali ad acqua fluente del Tevere. Lo sbarramento ha uno sviluppo complessivo di 640 m ed è costituito da due tipi di strutture: una a gravità in calcestruzzo, in parte massiccia in parte alleggerita, di lunghezza pari a 416 m ed altezza massima di 52 m, l'altra in terra lunga 224 m e con altezza massima di 36 m con nucleo di tenuta mediano subverticale.

La struttura in calcestruzzo è fondata su una formazione, chiamata "Bisciario", di marne più o meno calcaree, generalmente compatte a grossi banchi di media durezza o, più raramente, fittamente stratificate e scistose con intercalazioni argillose.

La struttura in materiali sciolti è fondata invece su una formazione, nota come "Flysch", di arenarie, scisti argillosi, calcari arenacei e marnosi, a volte intercalati gli uni agli altri e spesso fortemente scompaginati.

Fin dall'epoca dell'ultimazione dei lavori di costruzione, sulla superficie laterale di alcuni speroni della struttura in calcestruzzo si manifestarono fessurazioni capillari che partivano dalla base e si sviluppavano con andamento subverticale. A seguito della progressiva estensione delle sopracitate lesioni e della comparsa di nuove, veniva deciso l'abbassamento dell'invaso al livello minimo di esercizio normale. In conseguenza di quanto sopra, l'ENEL diede inizio ad un programma di indagini, prove e studi allo scopo di accertare le cause delle lesioni capillari negli speroni, di esaminare l'effettivo grado di stabilità della struttura e di proporre i lavori necessari per ripristinare la stabilità strutturale e la piena funzionalità idraulica dell'opera.

Le sopracitate indagini evidenziano che:

- le fessure capillari erano imputabili ad effetti termici connessi, al loro primo insorgere, con i noti fenomeni di aumento di temperatura nel getto di grosse masse di calcestruzzo ed esaltate nel tempo dalle notevoli oscillazioni termiche giornaliere;
- la resistenza della roccia di fondazione alle sollecitazioni verticali trasmesse dalla diga era di gran lunga sufficiente, mentre il coefficiente di sicurezza dell'opera in rapporto ad azioni di tipo tangenziale risultava non completamente soddisfacente.

Il progetto di risanamento della diga in calcestruzzo (Figg. 5, 6) è consistito nella realizzazione di nuova struttura gettata nel vano fra speroni attigui e collegata ad un basamento longitudinale di contrasto realizzato al piede di valle degli speroni stessi. In tal modo si è ottenuto il duplice scopo di assicurare un appoggio alla struttura esistente nell'ipotesi limite di una sua instabilità strutturale a causa delle fessure esistenti e di aumentare il coefficiente di sicurezza del complesso nei riguardi dello scorrimento.

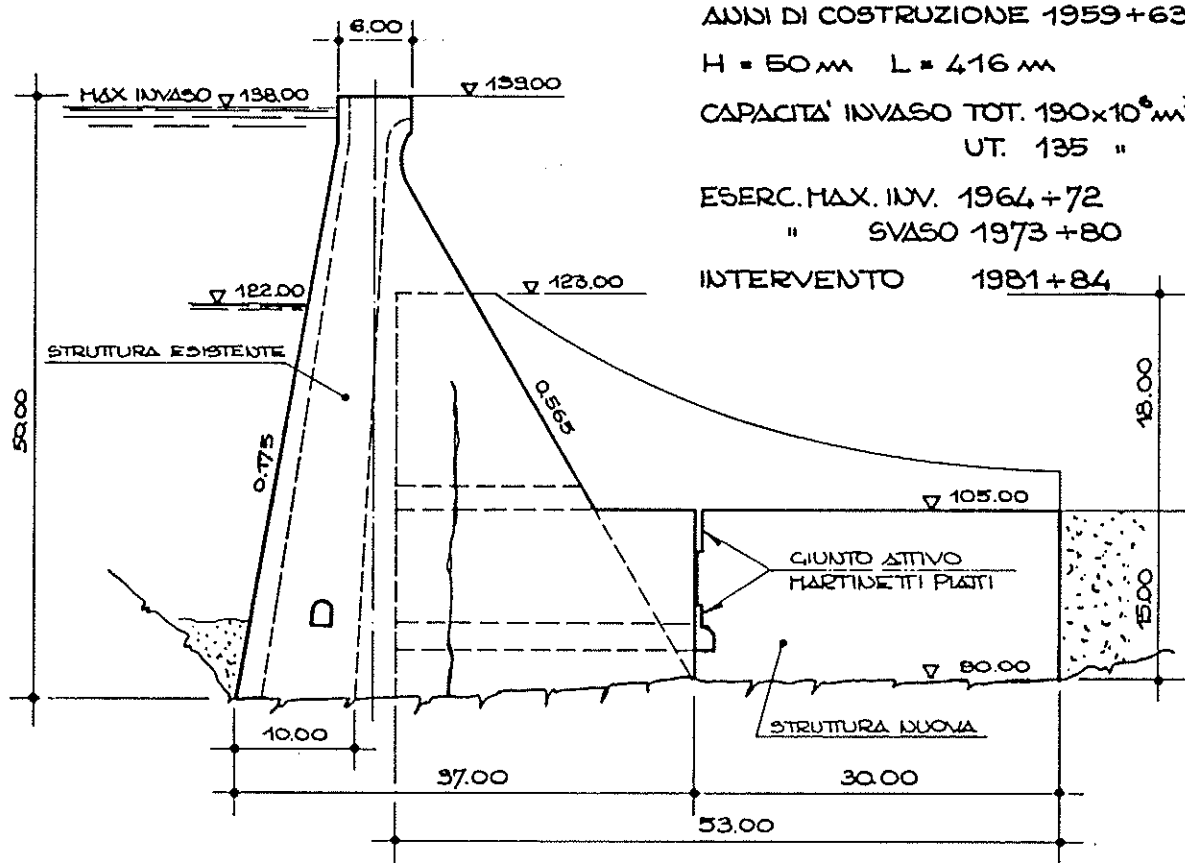
Il contatto fra le strutture, esistente e nuova, durante la fase di presa di carico dell'intero complesso è stata realizzata mediante "martinetti piatti" integrati da cunei di sicurezza in calcestruzzo.

La scelta di un "giunto attivo" fra le due strutture è stata dettata dalla necessità ed opportunità di:

- assicurare la trasmissione di una forza di valore certo;
- neutralizzare il ritiro ed il "fluage" del calcestruzzo;

COMUNI DI ORVIETO E BASCHI
FIUME TEVERE

DIGA DI CORBARA



ANNI DI COSTRUZIONE 1959+63

H = 50 m L = 416 m

CAPACITA' INVASO TOT. $190 \times 10^6 \text{ m}^3$

UT. 135 "

ESERC. MAX. INV. 1964+72

" SVASO 1973+80

INTERVENTO 1981+84

PROBLEMI : ROCCIA DI FONDAZIONE, ϕ E C RIDOTTI $\Rightarrow$ PESO SCARSO DELLA STRUTTURA ESISTENTE - FESSURAZIONI

SOLUZIONE : RADDOPPIO DEL PESO (BASAMENTO DI VALLE) } NUOVA STRUTTURA
CONTROSPERONI

COLLABORAZIONE FRA LE DUE STRUTTURE : GIUNTO PASSIVO - NON ADOTTATO
" ATTIVO - MARTINETTI PIATTI

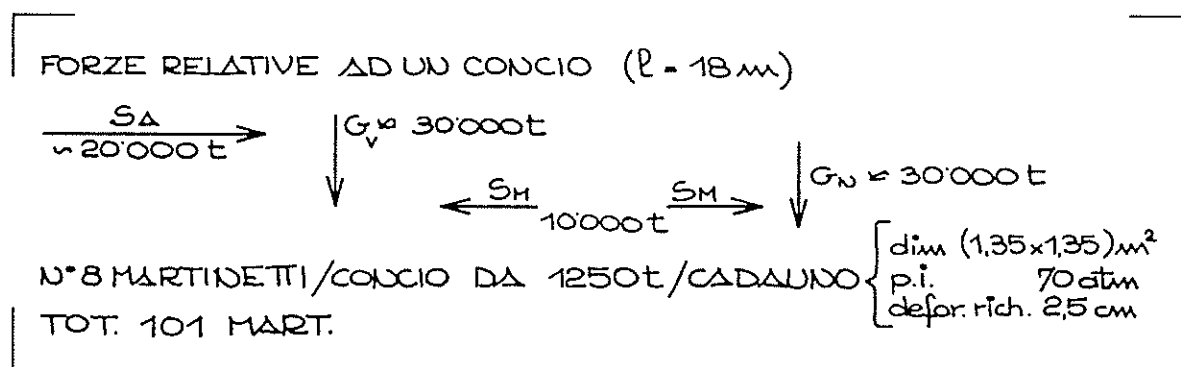


Fig. 5 DIGA DI CORBARA
Schema dell'intervento di risanamento della diga

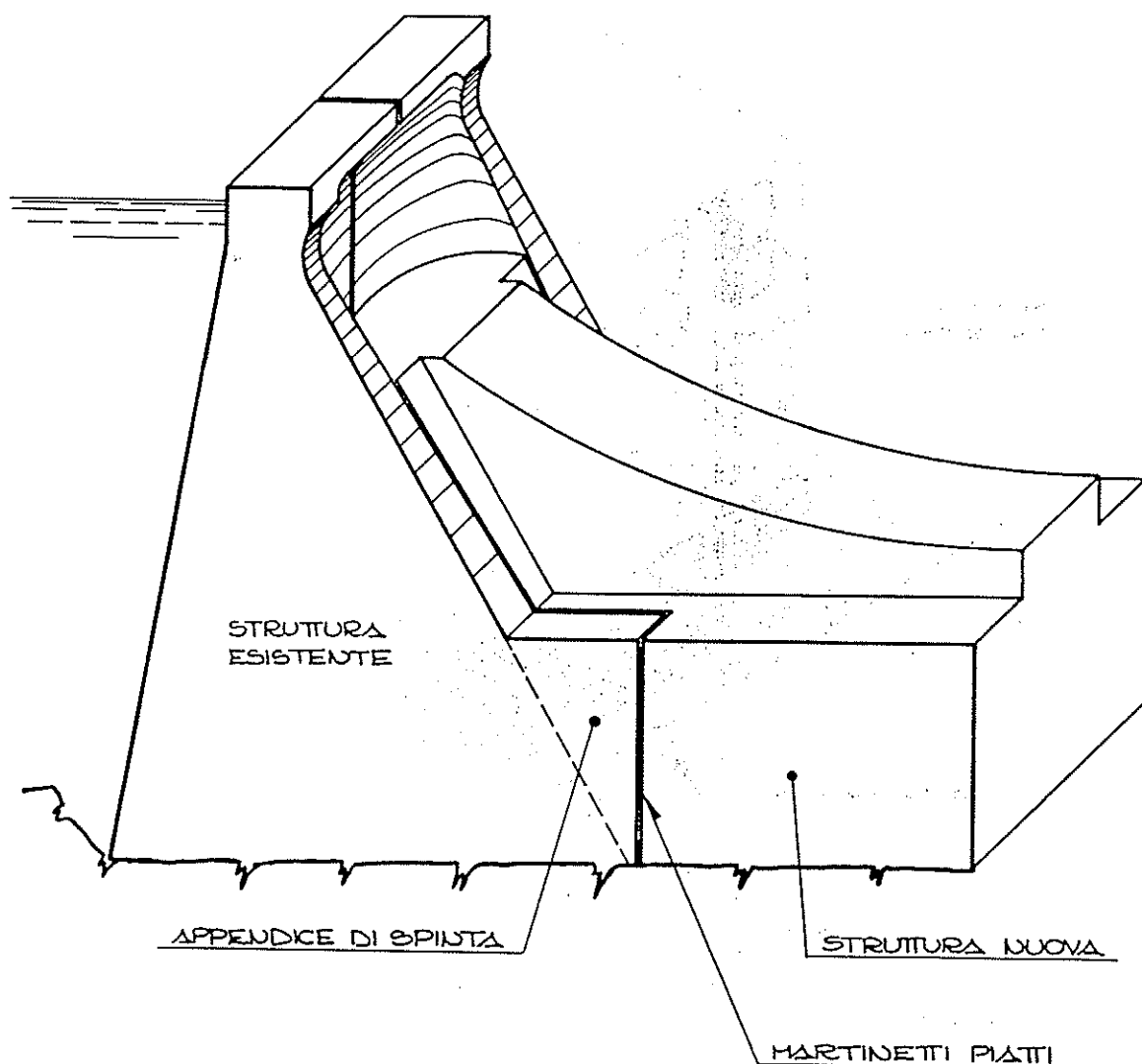


Fig. 6 DIGA DI CORBARA

Vista prospettica parziale della struttura progettata per il risanamento della diga

- mettere in carico il più presto possibile la roccia di fondazione della nuova struttura, compensandone le deformazioni irreversibili.

Lo schema tipo di installazione dei martinetti nei conci della diga è illustrato in Fig. 7. La spinta risultante su ciascun concio risulta pari a $8 \times 1.250 \text{ t} = 10.000 \text{ t}$. In totale sono stati installati 101 martinetti piatti (Fig. 8).

Il comportamento delle due strutture e della relativa roccia di fondazione in fase di costruzione, di presa di carico e di esercizio è controllato da un'apposita strumentazione, dotata di sistema automatico di acquisizione ed elaborazione dati.

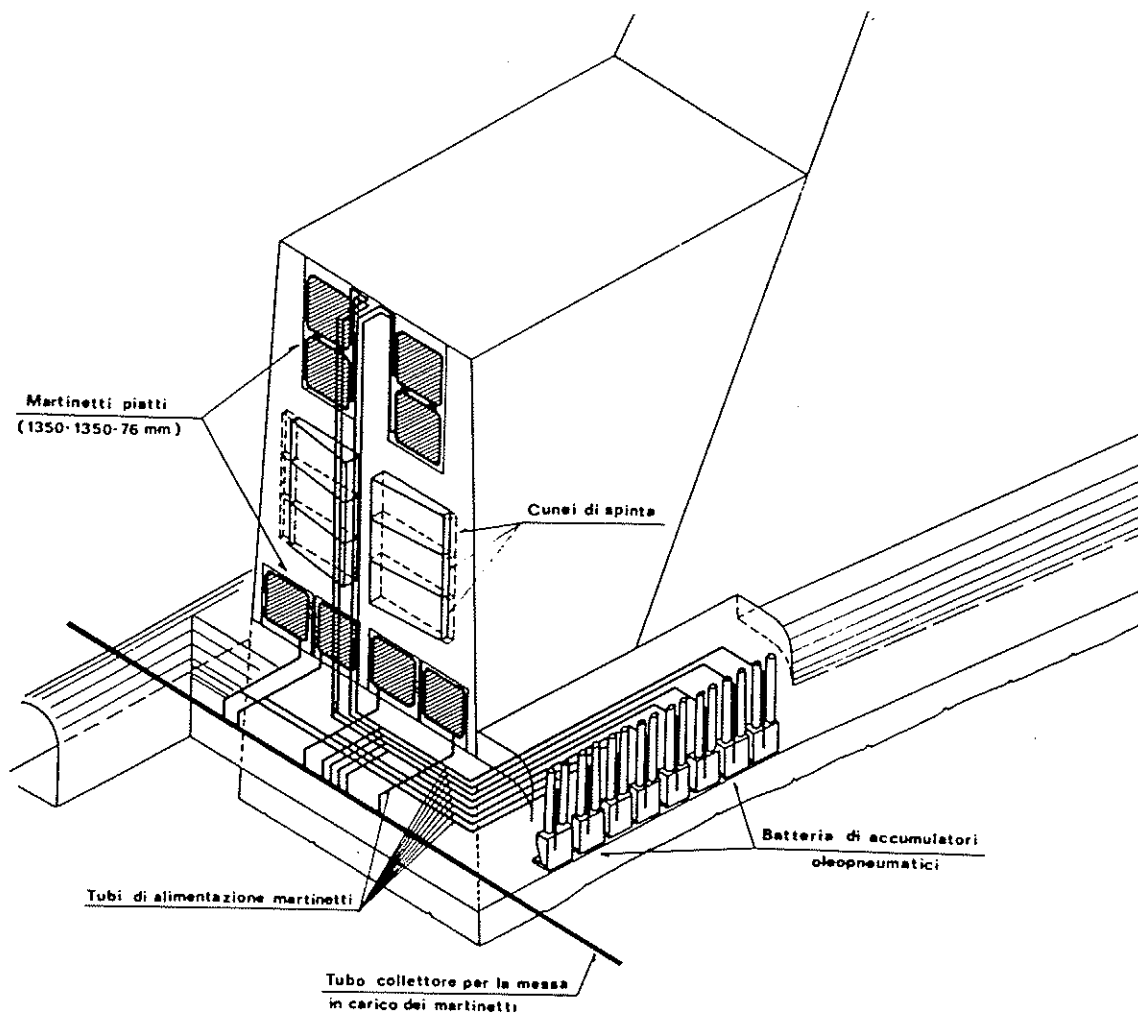


Fig. 7 Schema tipo di installazione dei martinetti piatti su un concio tipo della diga di Corbara

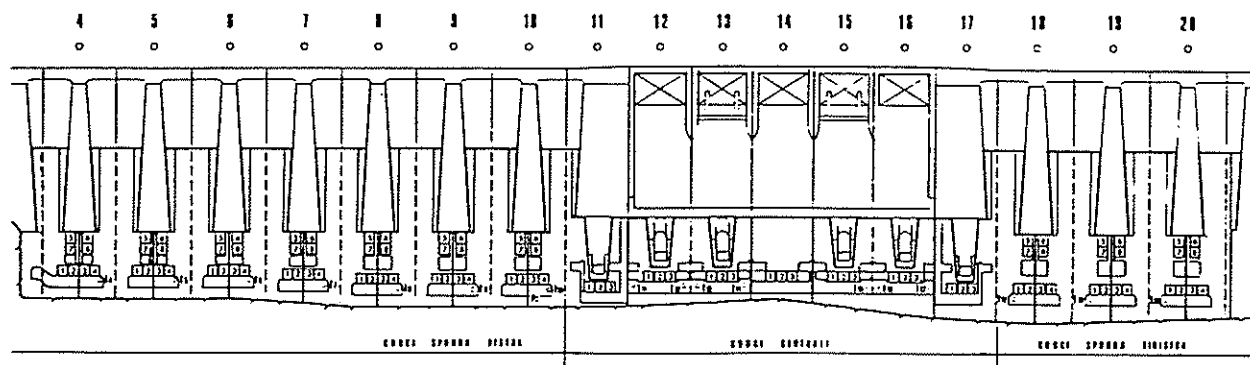


Fig. 8 Schema di installazione dei 101 martinetti piatti nei conci centrali e laterali della diga di Corbara

5.1 CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO

Martinetti piatti

La soluzione adottata per l'applicazione dei carichi sui giunti della diga è basata sull'impiego di martinetti piatti di dimensioni 1350 x 1350 x 76 mm con pressione di esercizio di 70 bar progettati e costruiti dall'ISMES. (Fig. 9).

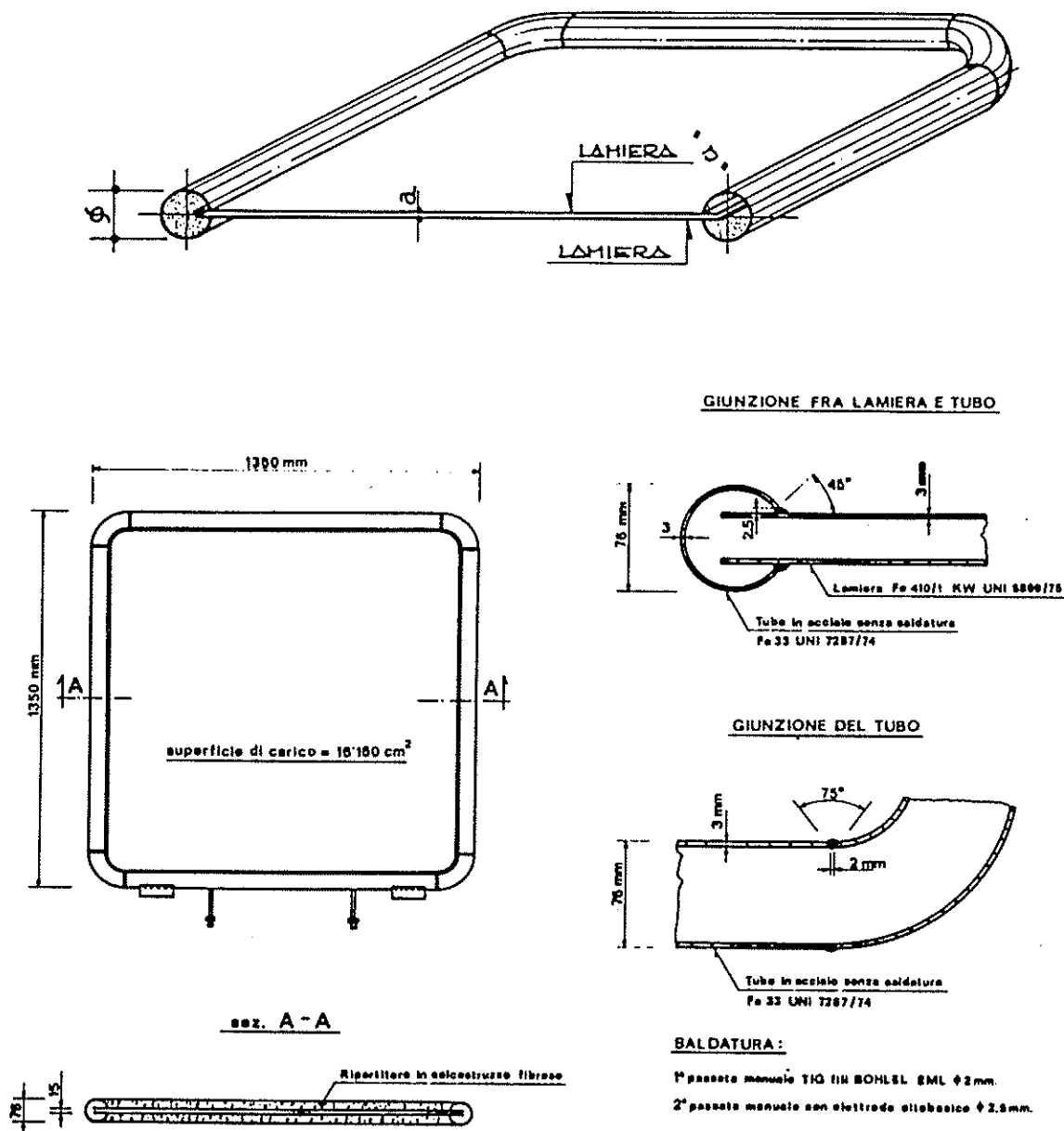


Fig. 9 Caratteristiche geometriche e costruttive del martinetto piatto

I martinetti presentano un bordo esterno realizzato mediante un tubo metallico di diametro 76 mm al quale sono saldate due lamiere piane parallele di spessore 3 mm. Anche i 4 spigoli sono arrotondati allo scopo di ridurre il più possibile la rigidità di bordo del martinetto (Fig. 9). Questa particolare forma geometrica conferisce al martinetto una elevata deformabilità che lo rende idoneo a sopportare elevate deformazioni senza sensibili perdite di carico. Particolare attenzione è stata dedicata al problema delle saldature, le quali sono state realizzate con il controllo dell'Istituto Italiano della Saldatura di Genova. Sulle due facce del martinetto sono stati realizzati ripartitori in calcestruzzo fibrorinforzato il quale consente di ridurre sensibilmente le fessurazioni conseguenti alle deformazioni subite dal martinetto. Si è inteso inoltre prevenire fenomeni di corrosione applicando sulle superfici metalliche una vernice di tipo zincante.

Prove di collaudo e di taratura

Utilizzando come contrasto una grande pressa idraulica, ciascun martinetto è stato sottoposto a prova di collaudo in condizioni di deformazione impedita con pressione interna pari a 10 MPa, corrispondente a 1.5 volte la pressione di esercizio (Fig. 10). Superata questa fase

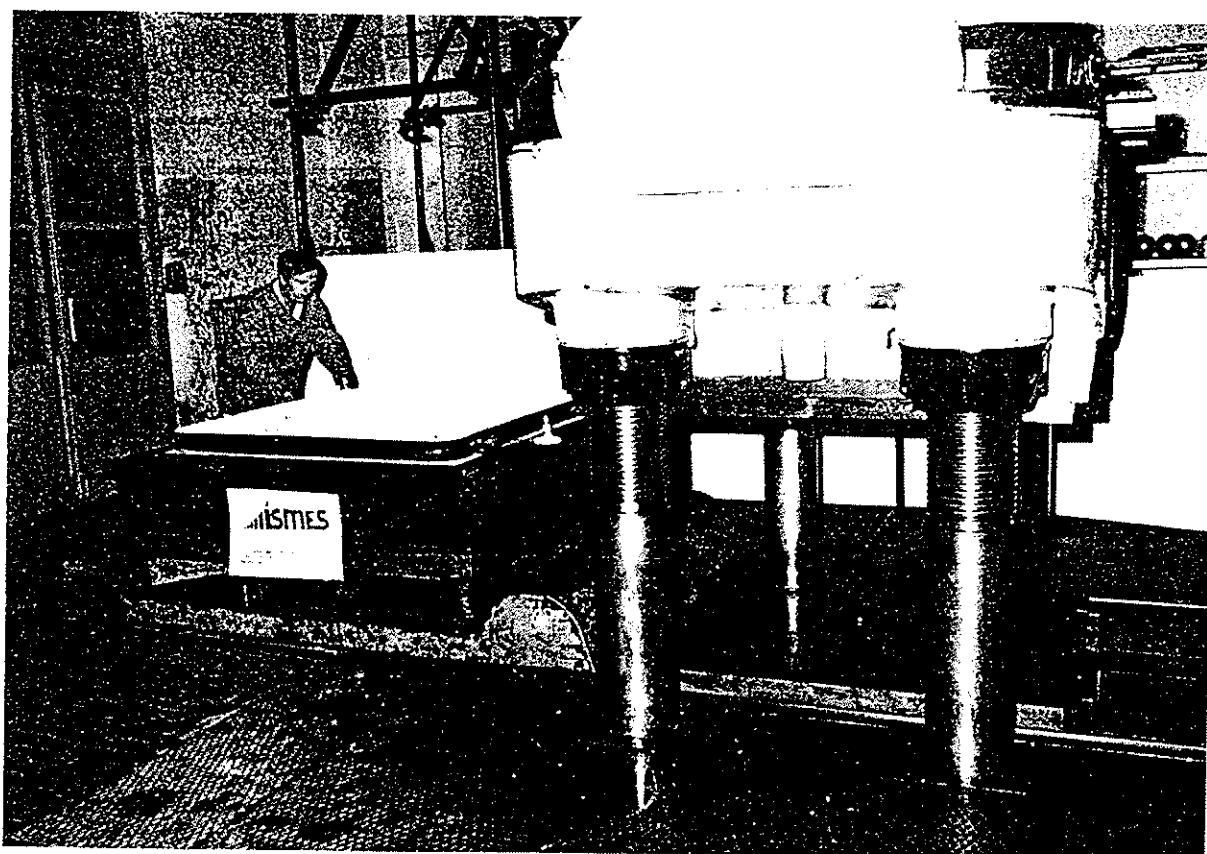
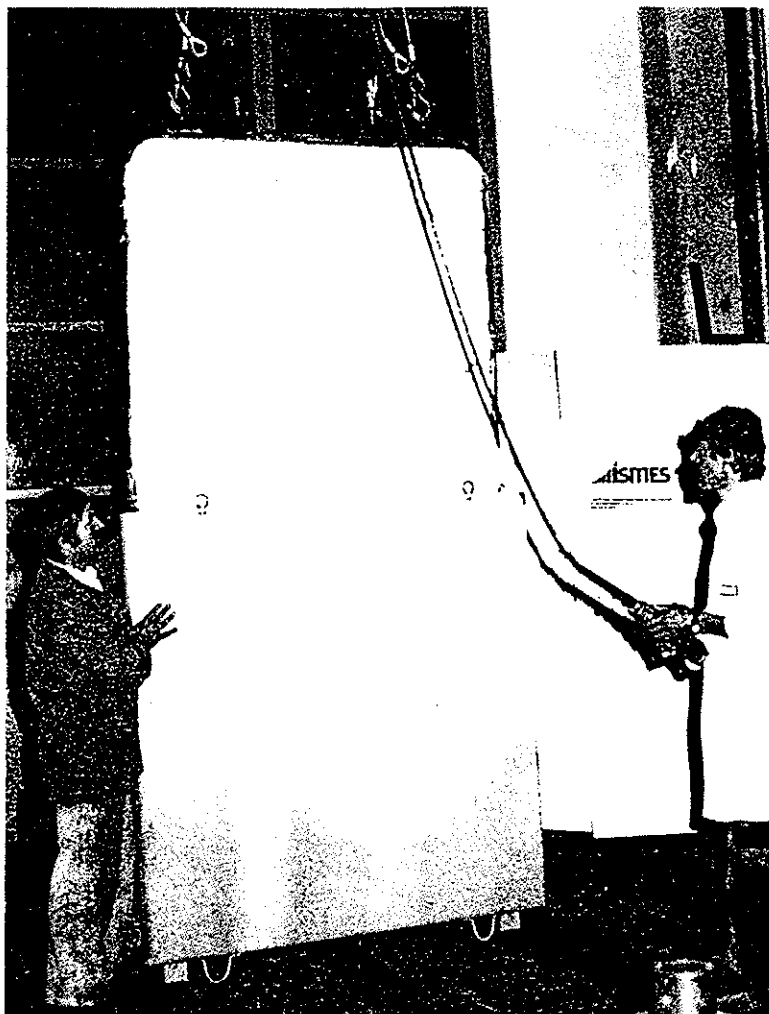


Fig. 10 Prova di collaudo di ciascun martinetto piatto mediante pressa idraulica da 2000 t.

di collaudo ciascun martinetto è stato inserito entro un apposito contenitore in lamiera (Fig. 11) e sottoposto a una nuova prova di carico allo scopo di eliminare eventuali giochi fra martinetto e contenitore.

Fig. 11
Inserimento del martinetto
piatto entro un contenitore
in lamiera



Speciali prove di taratura, spinte fino a rottura, sono state eseguite su alcuni martinetti per verificarne il comportamento deformativo nelle diverse condizioni di carico e per determinare la deformazione massima che i martinetti possono assorbire. In fig. 12 è visibile un martinetto piatto che è stato sottoposto a prova di carico in condizioni di deformazione progressivamente crescente e con pressione costante pari a 10 MPa. Il valore di deformazione che ha provocato la rottura è risultato pari a 12 cm. Nel corso di questa prova si è osservata una perdita di carico molto limitata (dell'ordine del 2%) fino a deformazioni di 60 mm. La perdita di carico raggiunge il valore massimo del 7.7% per una deformazione di 12 cm corrispondente alla fase di rottura del martinetto.

I risultati delle prove di taratura eseguite hanno permesso di evidenziare la grande flessibilità di questi dispositivi di carico e le notevoli deformazioni che possono assorbire in conseguenza delle aperture dei giunti.

Fig. 12

Deformazione subita da
un martinetto piatto do-
po una prova di collaudo
con pressione interna co-
stante pari a 10 MPa



Impianto di carico e di regolazione

La pressurizzazione iniziale dei martinetti piatti è realizzata mediante una centralina oleodinamica avente una capacità di 800 litri. Per la regolazione della pressione all'interno dei martinetti è stato appositamente studiato, per motivi di sicurezza dell'impianto, un sistema di regolazione di tipo passivo, basato sull'impiego di accumulatori oleopneumatici. Questa tecnica consente di evitare l'impiego di centraline oleodinamiche a funzionamento continuo nonché gli onerosi sistemi di servovalvole necessari per la regolazione del carico.

Dalla centralina si diramano le tubazioni principali che alimentano i martinetti. La fig. 7 illustra lo schema di alimentazione dei martinetti per un concio tipo. Si è adottato un sistema di accumulazione indipendente per ogni martinetto sia per esigenze di dimensionamento dell'impianto, sia per rendere possibili eventuali operazioni di intervento su ciascun martinetto senza condizionare il funzionamento degli altri. Lo schema dell'impianto di regolazione del carico di ciascun martinetto che prevede l'impiego di due accumulatori è illustrato in fig. 13.

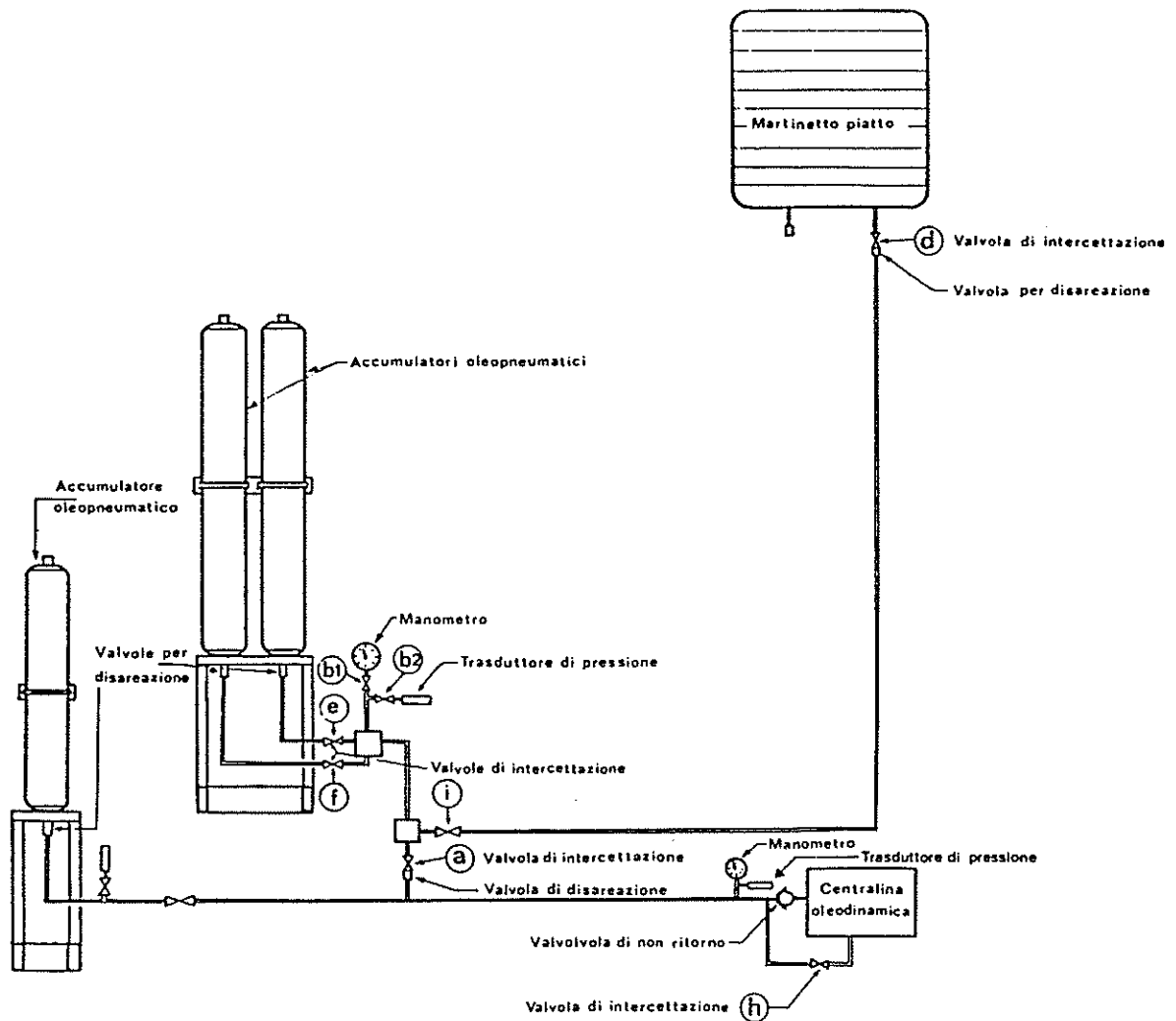


Fig. 13 Schema dell'impianto di regolazione della pressione in ciascun martinetto

In accordo con il Committente, si è dimensionato l'impianto in modo da consentire ai martinetti di assorbire deformazioni del giunto pari a 5 mm con perdita di pressione inferiore al 10%. Per ottemperare a queste richieste si è adottato per ciascun martinetto un gruppo di due accumula-

tori di capacità totale pari a 100 litri (20 litri di olio e 80 di azoto). Quando l'apertura del giunto raggiunge il valore di 5 mm si interviene mediante la centralina oleodinamica integrando l'olio assorbito a seguito della deformazione del giunto e riportando in tal modo gli accumulatori nelle condizioni di funzionamento iniziale.

In figg. 14 - 15 sono illustrati alcuni particolari dell'impianto di alimentazione dei martinetti realizzato dalle Officine RONO di Bergamo.

Le figg. 16 - 17 mostrano due fasi intermedie di costruzione della struttura di rinforzo e di installazione dei martinetti mentre la fig. 18 mostra una vista generale della diga durante l'esecuzione dei lavori.

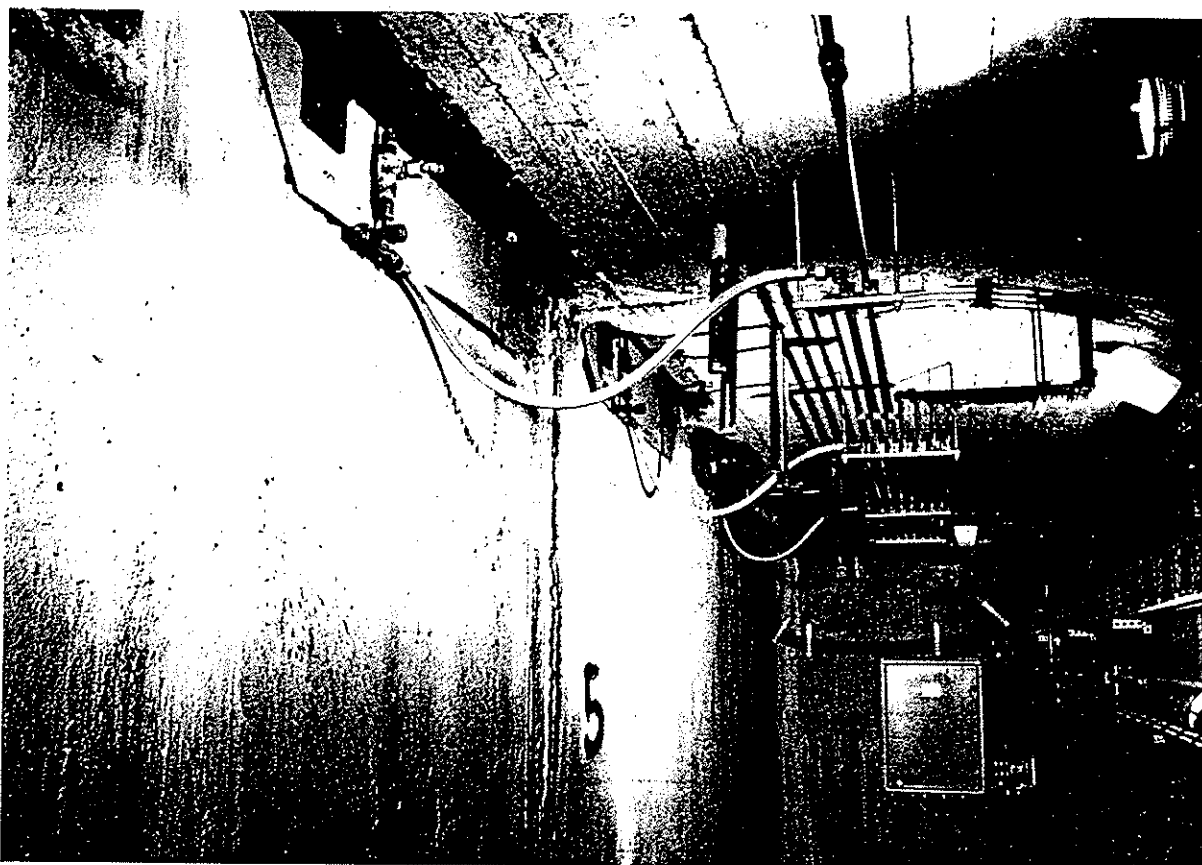


Fig. 14 Impianto di alimentazione dei quattro martinetti installati nella parte inferiore di ciascun concio della diga di Corbara

Strumentazione di controllo

La pressione di ciascun gruppo martinetto-accumulatore è controllata mediante trasduttori di pressione collegati ad un sistema di acquisizione automatica installato nella casa di guardia.

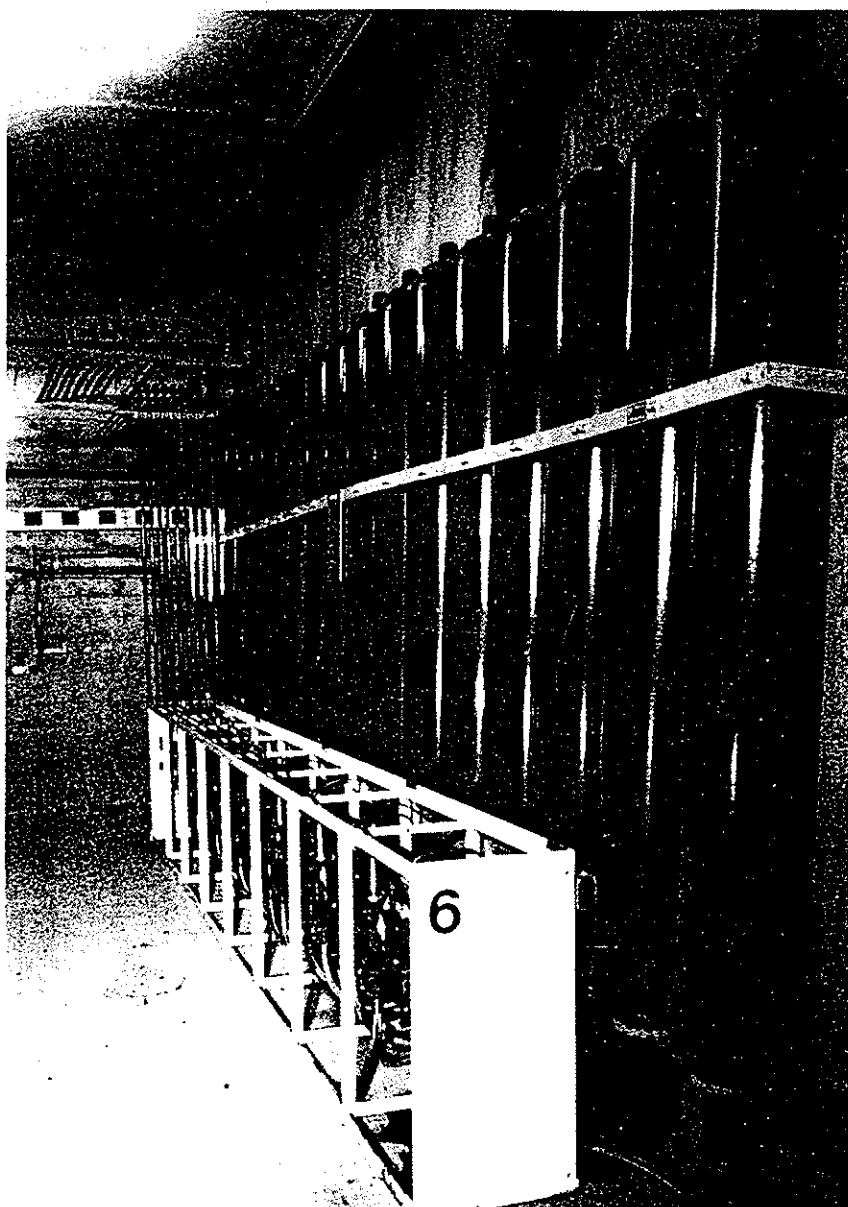


Fig. 15 Accumulatori oleopneumatici e valvole di controllo degli 8 martinetti piatti installati in ciascuno dei concii laterali

Questo sistema di acquisizione, provvisto di una serie di unità periferiche (Fig. 19) collegate ad una unità centrale, esegue contemporaneamente la lettura di tutti i trasduttori (ciascun ciclo di scansione viene compiuto in circa 120"), ne stampa i valori su carta e li registra su nastro magnetico ad intervalli prefissati. Durante ciascuna scansione l'elaboratore del sistema esegue il confronto del valore della pressione in ciascun martinetto con due valori di soglia ($\pm 10\%$ e cioè: inferiore a 64 bar e superiore 76 bar) e nel caso di superamento di uno di essi l'elaboratore attiva un segnale di allarme (spia luminosa) (Fig. 20).

Fig. 16

Fase di costruzione della struttura di rinforzo della diga di Corbara.
Sono visibili le superfici dei giunti ove sono stati installati i martinetti piatti

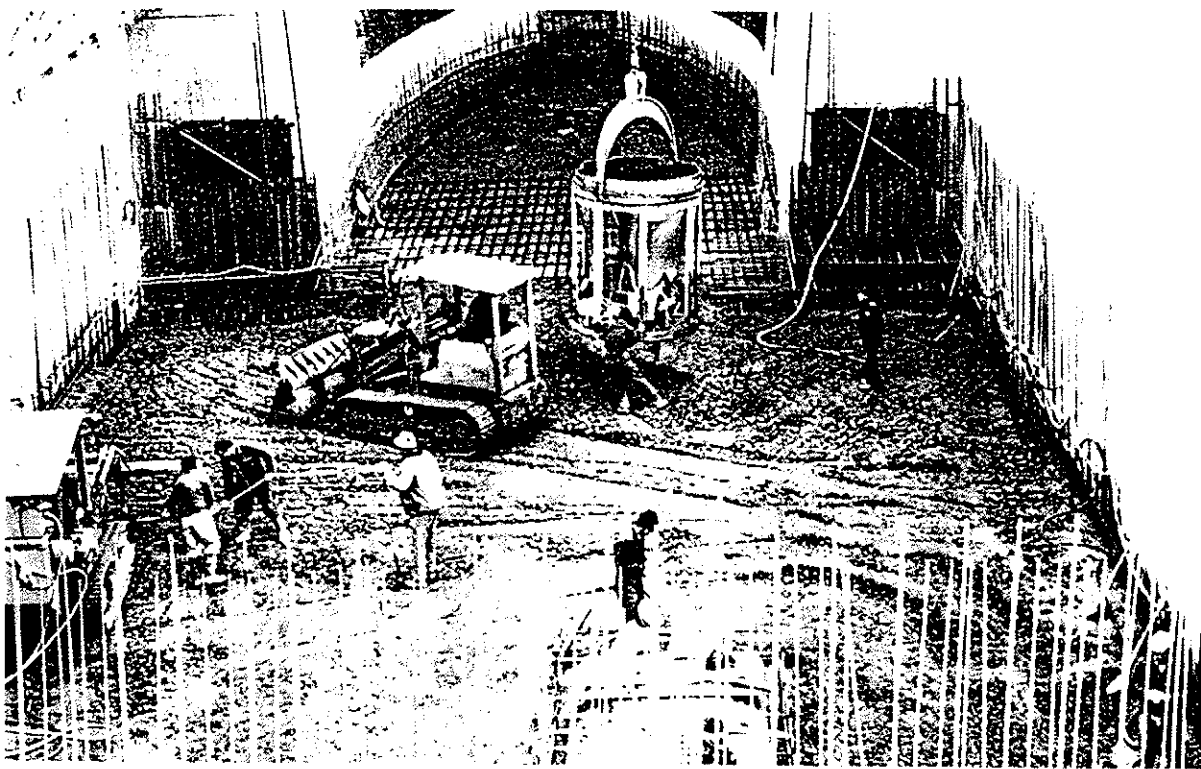
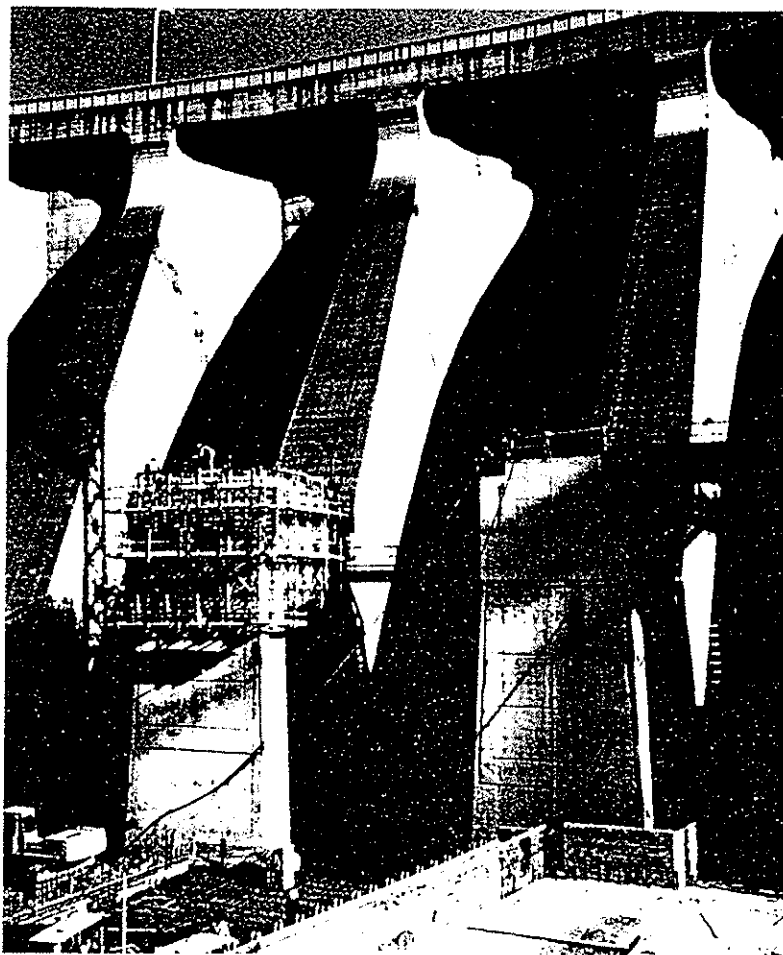


Fig. 17

Fase di getto della struttura di rinforzo della diga. Sono visibili due martinetti piatti installati sulle superfici di giunto di due conci adiacenti

Oltre alla segnalazione di cui sopra l'elaboratore segnala anomalie funzionali del sistema di controllo stesso, quali: fuori scala di un trasduttore, avaria in una unità periferica, esaurimento della cassetta di registrazione, ecc.

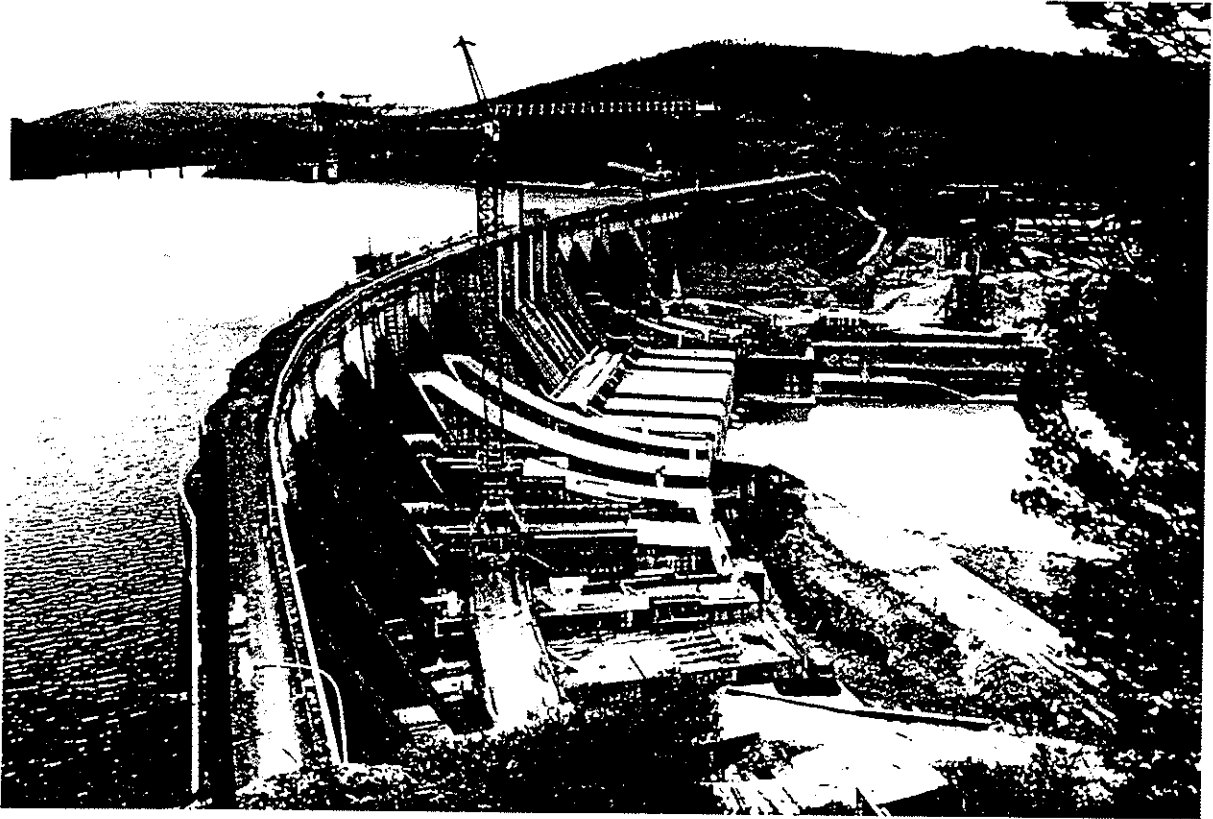


Fig. 18 Veduta generale della diga di Corbara nel corso della costruzione delle strutture di rinforzo

Per consentire la sorveglianza continua del terminale di controllo che è ubicato presso gli uffici della Direzione Lavori, è prevista la ripetizione del segnale di allarme ad un terminale remoto costituito da una stampante ubicata presso la sala quadri della centrale di Baschi, presidiata in permanenza da personale.

E' opportuno rilevare che il superamento delle soglie da parte della pressione nei martinetti ed in particolare la diminuzione della pressione stessa non comporta, data la presenza dei cunei di sicurezza, l'esistenza di una reale situazione di pericolo per la diga, ma solo il preavviso per interventi previsti sul sistema (ripristino dell'olio nei martinetti, sostituzione di eventuali martinetti avariati, ecc.). Le avarie funzionali del sistema automatico di acquisizione comportano invece la sostituzione temporanea del controllo automatico stesso con quello manuale (lettura dei manometri) durante gli eventuali periodi di avaria del sistema automatico.

Fig. 19

Impianto di regolazione
e monitoraggio della
pressione dei martinetti
installati nei conci cen-
trali della diga di
Corbara. E' visibile
l'unità periferica alla
quale fanno capo i tra-
sduttori di pressione e
il trasduttore di tempe-
ratura

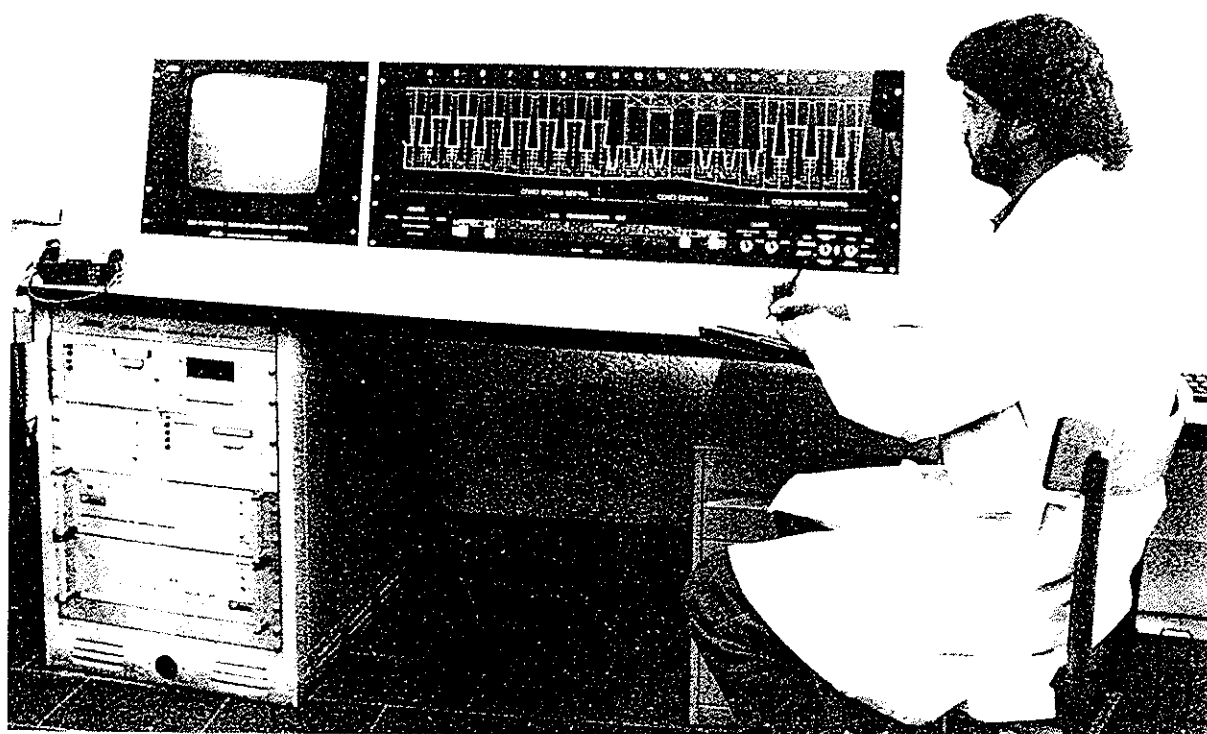
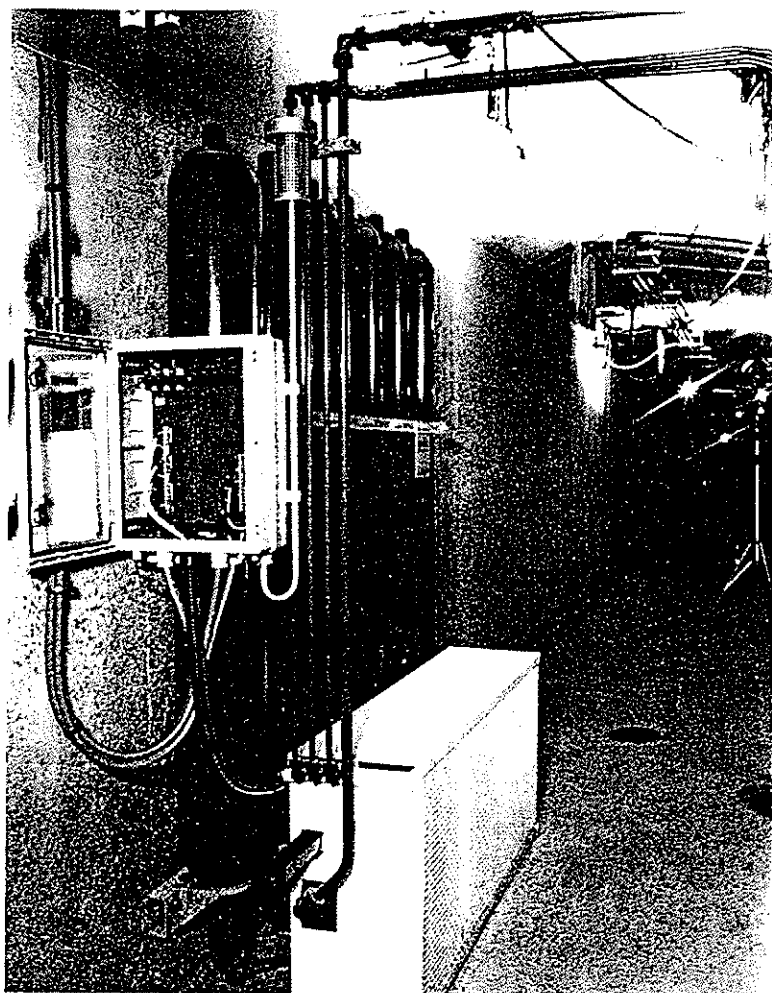


Fig. 20 Unità centrale automatica di acquisizione ed elaborazione dati

Il sistema di misura è completato da una serie di trasduttori di temperatura installati in ciascuno dei conci della diga che permettono di determinare le variazioni di pressioni imputabili a variazioni termiche (Fig. 19).

5.3 OSSERVAZIONI SULLA PRIMA FASE DI ESERCIZIO DELL'IMPIANTO

I martinetti sono stati messi in carico, fra il dicembre 1982 ed il marzo 1983, in quattro fasi successive e contemporaneamente è iniziato il reinvaso del serbatoio. In ciascuna delle fasi di carico sono stati pressurizzati 2 martinetti piatti per ciascun concio. Attualmente si sta raggiungendo la quota massima consentita dalle Competenti Autorità (136 m. s.l.m.), due metri al di sotto del livello massimo di esercizio normale (138.00 m.).

Il comportamento delle strutture e del "giunto attivo" è stato a tutt'oggi del tutto normale. Lo spostamento relativo delle due strutture è misurato mediante dilatometri fissi, ubicati ai quattro vertici della superficie di spinta di ciascun sperone, facenti parte della apposita strumentazione di controllo installata nelle strutture stesse e nella roccia di fondazione.

Nella fig. 21 è riportato, come esempio tipico, il diagramma dello spostamento del giunto dello sperone n° 4, unitamente ai diagrammi del livello di invaso del serbatoio e della temperatura dell'aria, nel periodo dicembre 1982 - settembre 1983.

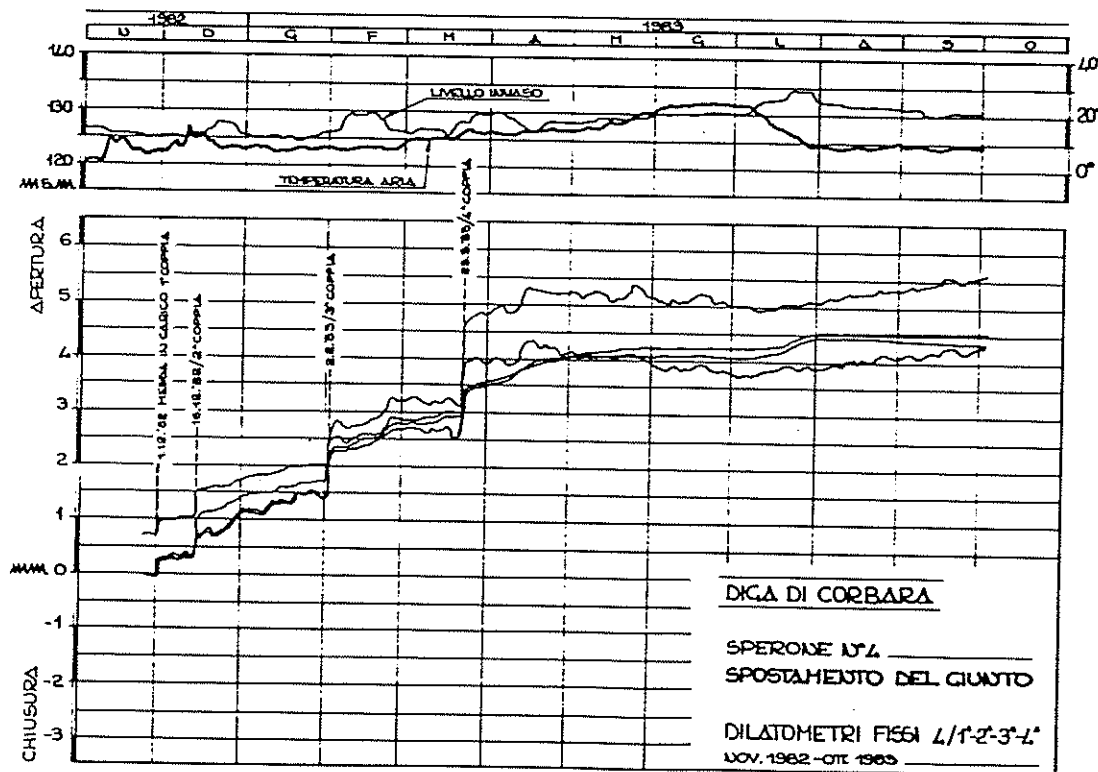


Fig. 21 Diagramma degli spostamenti del giunto dello sperone n. 4

Come si può notare, i diagrammi evidenziano in maniera netta le quattro fasi di messa in carico dell'impianto con l'aumento graduale del livello di invaso interrotto da alcune punte dovute alla opportunità e necessità di contenere alcune improvvise piene del fiume Tevere con contemporanea o successiva apertura degli scarichi di fondo. La fig. 22 mostra una di queste piene avvenute durante l'esecuzione dei lavori.



Fig. 22 Apertura degli scarichi della diga durante una piena del fiume Tevere avvenuta nel corso dell'esecuzione dei lavori

6. BIBLIOGRAFIA

- 1 "TRAVAUW n° 361 - gennaio 1965 - La construction du barrage de Menjil sur le Sefied-Roud (Iran)" par Jean Muller
- 2 "Water Power & Dam Construction - Febbraio 1976 - First prestressed arch dam in the United States" by J. Legas
- 3 "Civil Engineering - ASCE - Novembre 1977 - Nambe Falls Dam - First mechanically prestressed concrete dam in U.S." by Harold G. Arthur, F. ASCE.
- 4 ICOLD - X^e Congresso Grandi Dighe - Montreal 1970 - Q39 R15 "La fissuration de contraforts du barrage de Grandval et leur reinforcement par mise en place de verins actifs" par M. Pfaff - M. Pousse et MM. Beajoint, Combelles, Taillebot.