ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA

813

Ing. Prof. GIUSEPPE SARTORI

IL NUOVO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE ELETTRICA NELLE R. R. GROTTE DEMANIALI DI POSTUMIA

MILANO
1 9 3 1

ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA

Ing. Prof. GIUSEPPE SARTORI

IL NUOVO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE ELETTRICA NELLE R. R. GROTTE DEMANIALI DI POSTUMIA

ESTRATTO DAL FASCICOLO DI OTTOBRE 1931 - A. IX
DE "LE GROTTE D'ITALIA"
RIVISTA DELL'ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA E ORGANO UFFICIALE
DELLE REGIE GROTTE DEMANIALI DI POSTUMIA

IL NUOVO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE ELETTRICA NELLE R. R. GROTTE DEMANIALI DI POSTUMIA

Il 28 ottobre 1928 (VII), annuale di un giorno fatidico per la rinnovata Italia, inaugurandosi a Postumia il nuovo palazzo-ristorante costruito all'ingresso delle Grotte, il gr. uff. dott. Valerio Marangoni, Consigliere Delegato dell'Azienda, dopo aver ricordato che « tale grandiosa opera costituisce una af- « fermazione di italianità nella zona di con- « fine fra il Tricorno ed il Nevoso » aggiungeva:

« Il Governo Fascista ha ordinato la costru- « zione del palazzo col concetto che da esso « debba irradiare nel mondo la maggior cono- « scenza delle meravigliose Grotte definite l'an- « tro immenso per eccellenza; ed ancor più « perchè Postumia divenga centro e faro ita- « liano di studi speleologici, ben sapendo qua- « le ardente passione di esplorazioni ardimen- « tose nelle viscere della terra infiammi i cit- « tadini della Venezia Giulia ».

Ma il palazzo-ristorante non era che una delle tappe del vasto programma che gli eminenti amministratori avevano in animo di attuare per valorizzare la grande meraviglia naturale. Un'altra tappa è ora felicemente compiuta. E tutti coloro che avendo visitato in passato la grotta immensa e nella scarsa illuminazione avranno invano frugato con gli occhi attoniti le ascose bellezze di antri perdentesi nel buio profondo o lamentato i mancati effetti di abbaglianti candori o le incerte iridiscenze delle sottili e leggiadre formazioni calcaree, vorranno dedicarle ancora una visita, ne proveranno una emozione incomparabilmente più profonda, perchè appena ora la bellezza è disvelata in pieno. La tecnica più progredita in fatto di illuminazione elettrica e la sapiente distribuzione delle luci hanno compiuto un miracolo. Hanno creato una reggia di fate!

Un po' di storia della illuminazione delle Grotte

Iniziata subito dopo la scoperta (1819) con torce a vento che tanto hanno contribuito a deturpare molte candide bellezze e così con-

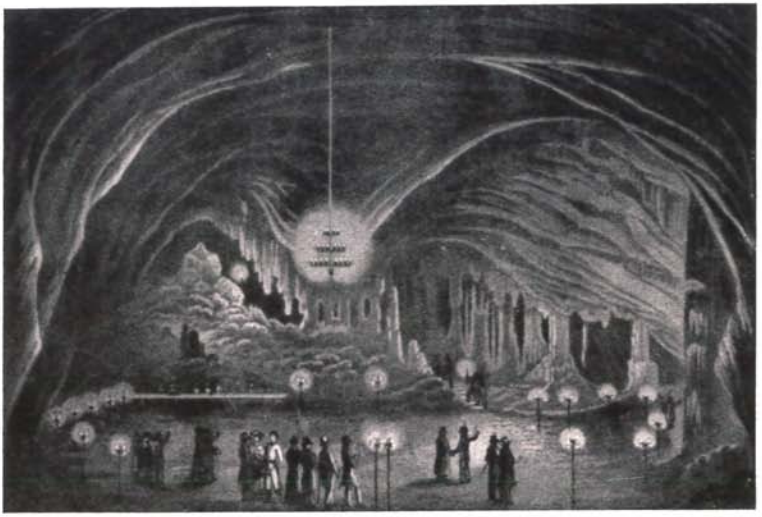


FIG. 1 - ILLUMINAZIONE DELLA SALA DA BALLO CON TORCE E CANDELE (DA UNA STAMPA ANTICA)

tinuata fino al 1830 (fig. 1), l'illuminazione fu poi effettuata mediante lumini ad olio infissi alle pareti e fu così continuata anche quando nel maggio del 1884 fu inaugurato un impianto quasi provvisorio a tre fili, alimentato da dinamo a corrente continua con locomobile a vapore per far funzionare nelle località più ampie e caratteristiche delle Grotte allora aperte al pubblico 12 lampade ad arco di circa 1500 candele cadauna.

Nel 1901, l'impianto venne trasformato con carattere di stabilità, mercè l'installazione di una piccola centrale termo-elettrica in un fabbricato a circa 200 metri dall'ingresso principale. Le dinamo a corrente continua divennero due, ognuna azionata da un gruppo termico fisso a vapore di 50 cavalli. La tensione salì a 440 volt mantendo col terzo filo una tensione di 220 volt alle lampade ad incandescenza (ormai perfezionate) e ai gruppi di lampade ad arco. Una batteria di accumulatori era destinata alla riserva. L'impianto interno venne costituito con 36 lampade ad arco da circa 2000 candele alimentate con un cavo sotterraneo e con circa 1000 lampadine a filamento di carbone da 16 candele derivate sopra condutture aeree portate da isolatori fissati alle pareti rocciose (fig. 2, 3, 4, 5).

Nel 1906 l'impianto venne notevolmente modificato eliminando le condutture sotterranee per gli archi e allacciando il tutto a linee in rame nudo rinforzate. E fino agli ultimi anni l'impianto non subì modificazioni importanti nella sua struttura, pur avendo subìto ampliamenti e modificazioni a seconda delle necessità con eliminazione graduale degli archi, sostituiti poco a poco da lampade a incandescenza a forte intensità luminosa.

Nel 1928, dopo che la Società Anonima Costruzioni Elettriche Italia Orientale (SACEIO) giunse con le sue linee a Postumia, l'impianto generatore fu trasformato. La SACEIO fornì la corrente trifase per un gruppo convertitore asincrono-dinamo a corrente continua da 50 cavalli sussidiato da un gruppo termoelettrico a gas povero da 40 cavalli. Nulla fu innovato nella rete, ma la si estese portando l'illuminazione anche nella Grotta del Paradiso che potè così essere aperta alla ammirazione del pubblico.

Ma già dal 1926 la Grotta del Paradiso era stata fatta comunicare con la Grotta Nera mediante una galleria artificiale di circa 500 metri (Galleria Bertarelli), stabilendo così la continuità di accesso fino all'Abisso della Piuca lungo una strada artificiale ricavata in roccia sulla sponda destra del fiume sotterraneo che perduto — diremo così — subito dopo l'ingresso principale, ricompare spumeggiante dopo la Grotta Nera in un pauroso antro da tregenda e sempre sotterraneamente dopo un lungo percorso sbocca al Cavernone di Planina, avendo solo ricevuto un pallido raggio di luce diurna all'Abisso della Piuca, pauroso imbuto profondo circa 65 metri e superando il quale lungo la faticosa « Scala di Giacobbe » si riesce a rivedere l'azzurro del cielo, sbucando entro una fitta e fresca foresta di abeti e di faggi.

Volendo rendere accessibile al pubblico questa nuova parte delle Grotte fino all'Abisso della Piuca l'impianto elettrico esistente non bastava più; d'altra parte la maggiore ampiezza e ricchezza di varie nuove grotte aperte

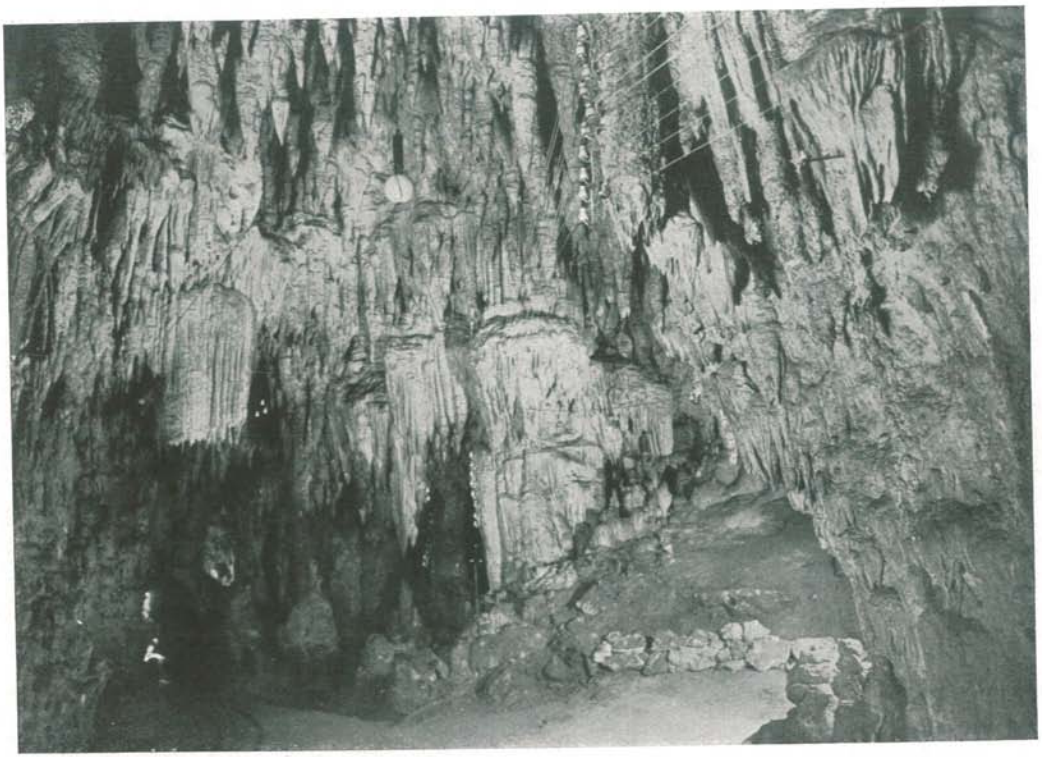


FIG. 2 - ASPETTI DEL VECCHIO IMPIANTO. - CONDUTTURE AEREE E LAMPADA AD ARCO NEL DUOMO GOTICO.

successivamente al pubblico, imponeva una intensificazione di illuminazione, meglio se questa poteva essere conseguita per via indiretta, togliendo nefasti effetti di abbagliamenti che obbligando la retina dell'occhio a contrarsi impedivano di godere in pieno quanto la luce illuminava. Per una seconda ragione l'impianto diventava insufficiente, l' illuminazione indiretta richiedendo intense sorgenti di luce.

Tante diverse esigenze determinarono la R. Amministrazione delle Grotte ad effettuare un impianto completamente nuovo, ispirato a criteri razionali dove l'estetica fosse rispettata al massimo e da eseguirsi pertanto a mezzo di cavi sotterranei eliminando per sempre le condutture aeree così poco gradevoli all'occhio in un ambiente di tanta suggestiva bellezza.

Esigenze cui l'impianto doveva soddisfare e difficoltà da superarsi

Trattasi di un impianto che non ha precedenti nella tecnica della illuminazione. A parte il fatto che nessuna altra grande grotta naturale nè in Italia nè all'estero è provveduta di un impianto fisso di illuminazione, occorre rilevare che in ambienti decisamente pregni di umidità, talvolta sotto stillicidio continuo, come gallerie e altre opere, esistono bensì installazioni stabili di luce elettrica, ma soltanto per ragioni di sicurezza e quindi, in potenza, sempre estremamente ridotte. Nè si effettuano manovre, tutto riducendosi alla sostituzione di lampade guaste. A Postumia invece occorreva mantenere il servizio di *illuminazione a zone* affidando al personale di guida di provvedere alla illuminazione della zona successiva a quella che la comitiva percorre, mentre viene soppressa l'illuminazione nella zona dalla comitiva già percorsa; ciò che deve risultare possibile senza che alcuna soluzione di continuità nella luce si presenti con la manovra di appositi interruttori effettuata dalle due guide, quella in testa alla comitiva e quella in coda. Questo per ragioni di evidente economia nell'esercizio normale. Ma in occasione delle grandi feste (Pentecoste e prima domenica di Settembre) le Grotte debbono restare tutte com-

FIG. 3 - ASPETTI DEL VECCHIO IMPIANTO. - CONDUTTURE AEREE USCENTI DA UNA CABINETTA DI MANOVRA.

pletamente illuminate per varie ore; donde particolari esigenze per le cadute di tensione lungo i conduttori di alimentazione principali.

L'umidità nell'ambiente è la massima possibile alla temperatura intorno ai 12° C. quasi stazionaria per tutto l'anno; ma in certe epoche, in molte località delle Grotte lo stillicidio dall'alto è anche notevole. Ricambio d'aria indubitatamente c'è; ma la vastità dell'ambiente che, come è noto, si prolunga per parecchi chilometri, con sezioni talvolta immense, con deviazioni innumerevoli attraverso grotte minori, in parte esplorate e in parte ancora inesplorate, fa sì che l'aria vi è praticamente stagnante; nè, diversamente, sarebbero state possibili le ben note meravigliose formazioni. Nessuna possibilità, dunque, in nessun punto di trovare condizioni meno inquietanti per la umidità. D'altro canto lo stillicidio, portando goccie d'acqua ricche di acido carbonico, è un potente distruttore; ferro e rame verniciati, dopo poco tempo risultano completamente denudati della vernice e la corrosione dei materiali procede rapidissima. Si dovette dunque partire dal concetto di *effettuare un impianto come se dovesse funzionare sotto pioggia continua.*

Avendosi ormai a disposizione della corrente alternata trifase non v'era ragione alcuna di persistere nell'idea di adoperare la corrente continua, ciò che avrebbe richiesto il mantenimento di una sottostazione all'esterno, con un convertitore o un raddrizzatore. E poichè l'estensione dell'impianto è notevole (il più breve percorso fra l'ingresso principale e l'Abisso della Piuca è di 3700 metri) e la potenza massima da distribuirsi circa 180 kilowatt, l'idea più semplice era quella di stendere un cavo sotterraneo a 2000 ÷ 3000 volt, disponendo nell'interno qualche cabina di trasformazione mascherandola opportunamente, derivando poi cavi a bassa tensione per alimentare le lampade.

Ma un attento esame delle specialissime condizioni in cui questo impianto sarebbe venuto a trovarsi e il criterio di raggiungere una installazione ad *alto grado di sicurezza di funzionamento* ha condotto ad escludere l'alta tensione all'interno, limitando a tre o soltanto a due i posti di trasformazione all'esterno, uno all'ingresso principale, uno all'Abisso della Piuca ed un terzo eventualmente alla Grotta Ne-

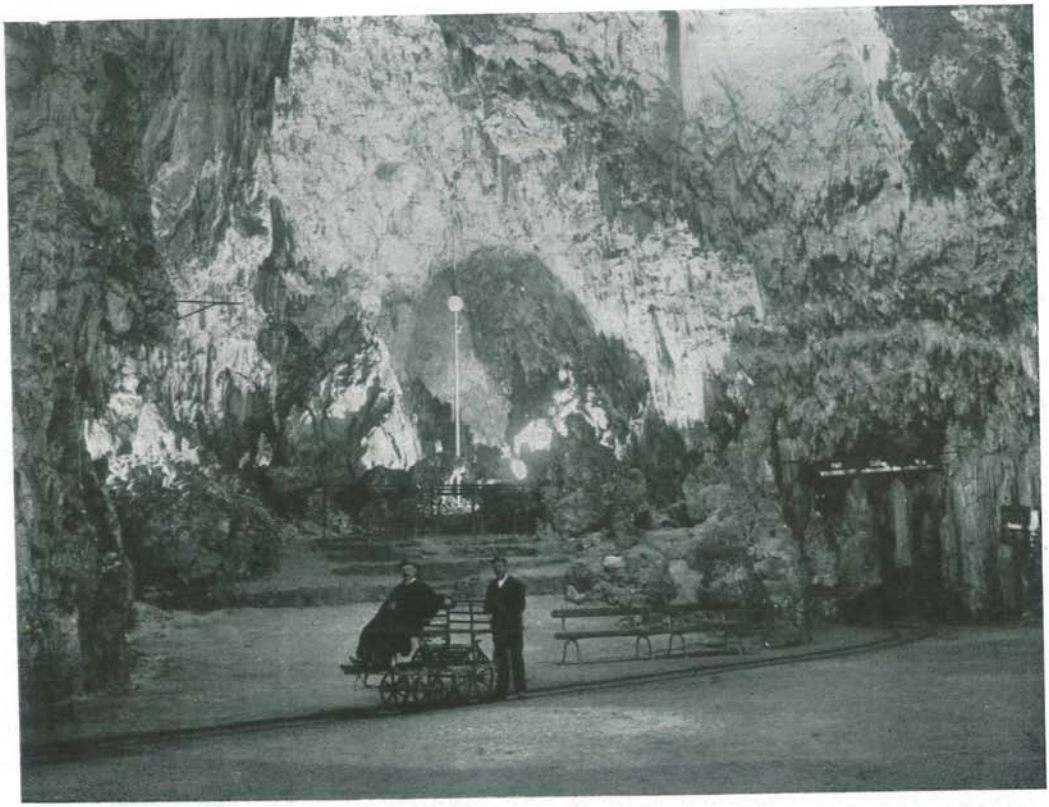


FIG. 4 - ASPETTI DEL VECCHIO IMPIANTO. - LA SALA DA BALLO ILLUMINATA CON LAMPADE AD ARCO.

ra, dove pure esiste una comunicazione naturale con l'esterno. D'altra parte fra la Grotta Nera e l'Abisso della Piuca non essendovi che un percorso di 1000 metri si è trovato opportuno in definitiva limitare a due soli i posti di trasformazione (vedasi tavola allegata).

Altro argomento dibattuto fu la scelta del sistema di *collegamento delle lampade in serie o in derivazione*. Anche ammesso di effettuare nell'interno una distribuzione a tensione moderata (fra 200 e 400 volt) l'uso di lampade in serie a forte intensità luminosa (lampade da $6{,}6 \div 20$ ampère e tensione proporzionale alla intensità luminosa; consumo specifico circa 1/2 watt per candela) sarebbe stato possibile. Ma allora, data la moderata tensione, diventava grandissimo il numero dei circuiti e per ognuno occorreva un trasformatore autoregolatore, non concepibile nell'interno delle Grotte. D'altra parte bisognava prevedere una larga possibilità di ampliamenti nel numero delle lampade, di modificazioni nella loro intensità luminosa, di spostamenti nella loro posizione ed una quasi uniforme distribuzione del carico sul circuito trifase; tutte cose cui il sistema in serie poco si presta. Ecco perchè fu definitivamente accordata la preferenza al sistema con lampade in derivazione, disponendole sui tre circuiti del trifase provvisto del filo neutro. Con ciò indubitatamente si arrivava al sistema comportante sezioni notevoli per le condutture di allacciamento alle lampade, ma si guadagnava in semplicità d'impianto e sicurezza di funzionamento.

Scelta del valore dell'alta tensione (all'esterno) e della bassa tensione (all'interno). Il problema delle cadute di tensione.

La Società Anonima Costruzioni Elettriche Italia Orientale (SACEIO) che con le sue linee provenienti dagli impianti idroelettrici di Gorizia (Isonzo) e Aidussina (Vippaco) provvede alla fornitura di energia a Postumia e

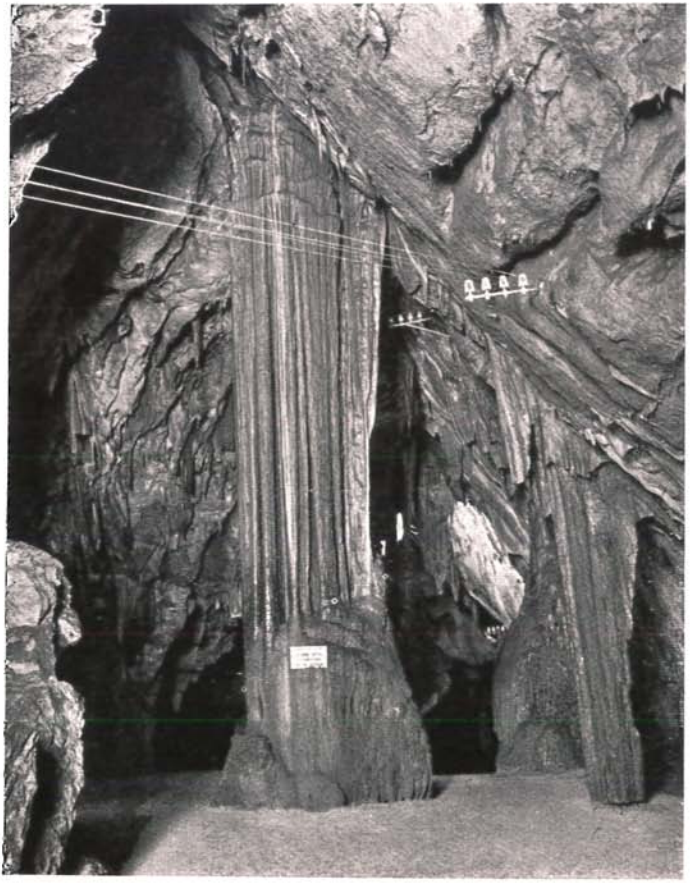


FIG. 5 - ASPETTI DEL VECCHIO IMPIANTO. - CONDUTTURE AEREE IN PROSSIMITÀ DELLA « COLONNA GOTICA ».

conseguentemente anche alle Grotte, adotta nella zona una tensione di 10.000 volt trifasi a 42 periodi per il trasporto della energia e una tensione di 380 volt con neutro per la distribuzione. Dal momento che l'alta tensione risultava localizzata all'esterno delle Grotte non v'era ragione alcuna di sceglierla diversa da 10.000 volt e questo valore fu adottato. Per la bassa tensione, invece, dovendo adottarsi lampade a 380: $\sqrt{3} = 220$ volt, qualche riflessione doveva farsi soltanto nei riguardi della sicurezza del personale destinato alle manovre e al ricambio delle lampade, tenute presenti le condizioni di particolare umidità dell'ambiente.

A 220 volt, con corrente alternata, un contatto netto con un conduttore di fase, col neutro a terra dove poggiano scarpe bagnate sopra un suolo saturo di umidità è quasi inevitabilmente mortale. Però lo può essere anche per una tensione di 110 volt; nè si poteva adottare una tensione tanto bassa da escludere ogni pericolo. Perciò si decise di eseguire l'impianto in modo che tutti i punti sotto tensione nelle piccole cabine di manovra fossero o in olio, o sotto miscela isolante; di effettuare tutte le derivazioni sotto cavo, senza alcuna eccezione; e quanto ai portalampade, che forzatamente non si possono proteggere, di avere due soli incaricati per il ricambio delle lampade guaste, ai quali fu fatta prescrizione di togliere la sicurezza dalla valvola che accompagna ogni singola lampada prima di accostarsi al riflettore. Le valvole sono tutte a portata di mano e la sicurezza è invariabilmente montata sul filo di tensione; le lampade possono essere invece parecchio lontane dalla valvola.

D'altra parte la scelta, anche per la bassa tensione, del valore adottato dalla SACEIO nella zona di Postumia era legittimata dal fatto che poteva bastare un solo trasformatore di riserva, perchè anche nella più sfavorevole ipotesi della fulminazione dei due trasformatori di una cabina, la sostituzione con altro trasformatore di fortuna diventava sempre possibile.

Oggetto di speciali considerazioni fu la questione delle cadute di tensione. Distribuire su circuito trifase con neutro a 380/220 volt, una potenza di 180 kilowatt (massima efficenza prevista) con circuiti derivati da un cavo principale lungo 3700 metri alimentato solo alle estremità, adottando lampade costruite tutte per una identica tensione, senza che vi fossero variazioni sensibili di splendore, sia che la illuminazione si facesse per zone, sia che tutte le lampade risultassero contemporaneamente accese, senza andare troppo al disotto di 1 amp./mm.^{2} nella densità di corrente nei cavi (e questo per ragioni economiche) diventava

decisamente impossibile, senza ricorrere ad un espediente che in pratica si è addimostrato perfettamente rispondente allo scopo: questo espediente fu *la adozione di autotrasformatori elevatori*. Questi apparecchi, inseriti là dove arriva un tronco di cavo principale e parte un successivo tronco, hanno la funzione di riportare la tensione praticamente al valore originario di 380 volt; oppure sono inseriti all'inizio di un determinato circuito derivato quando questo è molto lungo o molto caricato.

FIG. 6 - CABINA DI TRASFORMAZIONE T_1 (10.000/380 VOLT TRIFASI)

Tutte queste premesse giustificano le particolarità dell'impianto quale viene in appresso descritto.

Cabine principali di trasformazione e linea di allacciamento

La SACEIO tiene a Postumia una ragguardevole sottostazione di trasformazione che viene a trovarsi a circa un chilometro dall'imbocco delle Grotte, dove riceve l'energia dai suoi impianti idroelettrici a 26.000 volt e la trasforma a 10.000. Ivi tiene pure un impianto termoelettrico con Diesel e alternatore adeguato per il servizio di riserva della potenza di 80 cavalli e che può entrare in regolare servizio nello spazio di 3 minuti primi dall'avviso.

Da questa sottostazione parte una linea aerea trifase montata su pali di legno che lungo la strada camionabile di collegamento con l'Abisso della Piuca porta l'energia elettrica a 10.000 volt alle due cabine di trasformazione (in muratura): una T_1 situata subito sotto il piazzale del Restaurant delle Grotte (fig. 6) al di là della strada, l'altra T_2 alla estremità al detto Abisso, circa 3000 metri più in là (fig. 7).

Nulla di speciale presentano queste cabine di trasformazione. Esse sono provvedute ciascuna — momentaneamente — di un solo trasformatore della potenza di 120 kVA in olio 10.000/380-220 collegamenti stella-zig zag, con cassone raffreddato a mezzo di ventilatore; ma per la illuminazione normale delle Grotte a sezioni, il funzionamento del ventilatore può essere soppresso.

Le cabine sono provvedute di tutti i soliti accessori con interruttore in olio provvisto di relais per l'apertura automatica con massima corrente. Da uno sportello esterno può essere manovrato un interruttore (collocato all'interno della cabina) per collegare il cavo principale che traversa le Grotte col secondario del rispettivo autotrasformatore.

Condutture principali trifasi a 380 volt e filo neutro

Le condutture principali trifasi in partenza da dette cabine sono allacciate ai rispettivi trasformatori mediante un interruttore tripolare in olio a massima per corrente di 400 ampère e procedendo verso l'interno delle Grotte hanno sezioni successivamente diminuenti da 150 a 120 e 100 mm^2. Queste sezioni furono determinate col calcolo in base ad una suddivisione del carico fra le due cabine T_1 e T_2 così prevista:

FIG. 7 - CABINA DI TRASFORMAZIONE T_2 (10.000/380 VOLT TRIFASI), E CASA DEL CUSTODE.

Cabine di trasformaz.	Potenza attuale	Ampliamenti futuri	Totale
T_1	kW. 65,20	kW 14,8	kW. 80.—
T_2	» 52,75	» 71,5	» 124,25
	kW. 117,95	kW. 86,3	kW. 204,25

e con una limitazione della massima caduta di tensione al 4 % (circa 9 volt) col servizio normale, senza impiego di autotrasformatori.

Il carico di kW 71,5 da addossarsi in futuro sulla cabina T_2 comprende almeno 50 kW che dovrebbero servire per illuminazione straordinaria durante l'esecuzione di spettacoli lirici da tenersi nel Cavernone dei Concerti. È pure previsto di fornire 10 kW di forza motrice per la installazione di un ascensore all'Abisso della Piuca per comodità dei visitatori. Complessivamente dunque il carico totale potrà in futuro aggirarsi al massimo intorno a 204,25 + 10 = 214,25 che arrotonderemo in 215 kW.

Se in caso di guasto ad una delle cabine T_1 o T_2 tutta l'energia di 215 kW dovesse essere erogata dall'altra cabina, ritenuto che il carico risulti ripartito sulle 3 fasi si avrebbe in partenza una corrente massima di

$$\frac{215.000 \text{ watt}}{3 \times 220} = 325 \text{ ampère}$$

Secondo le norme dell'Associazione Elettrotecnica Italiana non dovendo raggiungere una sopraelevazione di temperatura di 25° C. bisogna aggirarsi intorno a una densità di corrente di 2 amp/mm². Ciò giustifica la scelta della sezione massima di 150 mm² per il cavo principale all'uscita dalle cabine e le graduali diminuzioni a 120 e 100 mm².

Detto cavo è trifase, non armato là dove riposa entro terra, isolato in carta impregnata, costruito per la tensione di esercizio di 1000 volt, con protezione di tubo di piombo dello spessore di 2,7 mm. (e rispettivamente di 2,5 e 2,35 per le sezioni di 120 e 100 mm²); il tutto rivestito con juta asfaltata. In corrispondenza agli scavi in roccia il cavo è anche armato. Esaminando la tavola allegata che dà la distribuzione delle lampade e anche il loro consumo in watt quale risulta dalla sistemazione ora raggiunta e dove non sono contemplati gli ampliamenti futuri, si arriva col conteggio a stabilire per le successive sezioni i carichi indicati nella prima colonna qui sotto. Aggiungendo poi i presunti carichi futuri (2ª colonna) si arriva ai carichi totali massimi (3ª colonna).

Sezione	Carico attuale	Carico futuro in più	Carico totale massimo
AB	kW. 16,7	kW. 3,3	kW. 20,—
BC	» 19,7	» 3,3	» 22,—
CD	» 6,3	» 3,7	» 10,—
DE	» 3,—	» 2,—	» 5,—
EF	» 19,5	» 2,5	» 22,—
DF	» 15,—	» 3,—	» 18,—
FG	» 9,—	» 3,—	» 12,—
GH	» 6,5	» 4,5	» 11,—
HI	» 1,25	» —,—	» 1,25
IK	» 7,—	» 5,—	» 12,—
KL	» 11,—	» 4,—	» 15,—
LM	» 3,—	» 2,—	» 5,—
			Teatro 50,—
	kW. 117,95	kW. 36.3	
		Totale generale	kW. 203,25

cui sarebbero ancora da aggiungersi i 10 kW

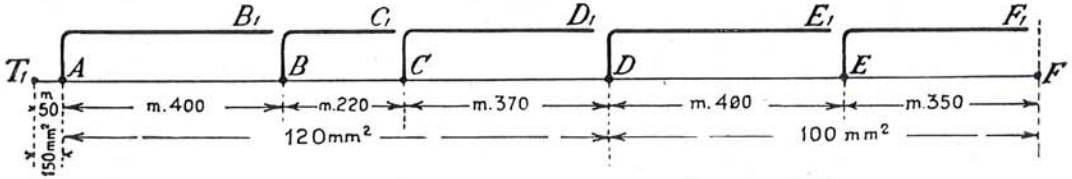


FIG. 8 - SCHEMA DELLA DISTRIBUZIONE DIPENDENTE DAL TRASFORMATORE T_1

per l'eventuale impianto di un ascensore all'Abisso della Piuca.

Allora se si suppone che le fasi risultino bilanciate, ciò che ci consente di trascurare le cadute di tensione sul filo neutro, costituito da una treccia di rame nudo della sezione di 50 mm², e si calcolano le cadute di tensione per i due casi: una sola sezione funzionante (caso del servizio normale) oppure tutte le sezioni funzionanti (caso del servizio eccezionale delle grandi feste) si trovano i seguenti valori per le cadute di tensione (vedasi schema fig. 8):

La sezione accesa è quella che si distacca	Caduta in volt	Caduta in volt a sezioni tutte accese
dal nodo A	in A 0,18 volt	in A 0,73 volt
» B	» B 2,34 »	» B 6,23 »
» C	» C 1,50 »	» C 8,90 »
» D	» D 1,18 »	» D 10,36 »
» E	» E 7,65 »	» E 12,88 »

E poichè le altre sezioni successive al punto F vengono normalmente alimentate dal trasformatore T_2 possiamo limitare le nostre considerazioni alle prime cinque. Vediamo che se il trasformatore T_1 avesse al suo secondario invariabilmente la tensione di 220 volt per fase, la caduta di tensione in E per funzionamento a sezioni singole sarebbe ancora inferiore al 4 % (220 × 0,04 = 8,8 volt). Invece con le sezioni tutte accese la caduta di tensione sarebbe eccessiva (12,88 pari al 5,8 % di 220 volt). Se ne deduce che l'impiego di un autotrasformatore elevatore, mentre potrebbe essere evitato per la illuminazione normale, sarebbe invece indispensabile per la illuminazione di carattere straordinario.

FIG. 9 - AUTOTRASFORMATORE

FIG. 10 - AUTOTRASFORMATORI NELL'INTERNO DI UNA CABINETTA

Ma non è pensabile che senza uno speciale regolatore la tensione al secondario del trasformatore sia invariabilmente costante. Infatti la SACEIO ha incluso nel suo contratto di fornitura uno spallo di ± 5 % sul valore normale della tensione (380/220 volt): da ciò si deduce subito la opportunità di poter valersi degli autotrasformatori per far sì che la energia venga distribuita entro le Grotte a tensione praticamente costante con una massima caduta di tensione non superiore al 4 %.

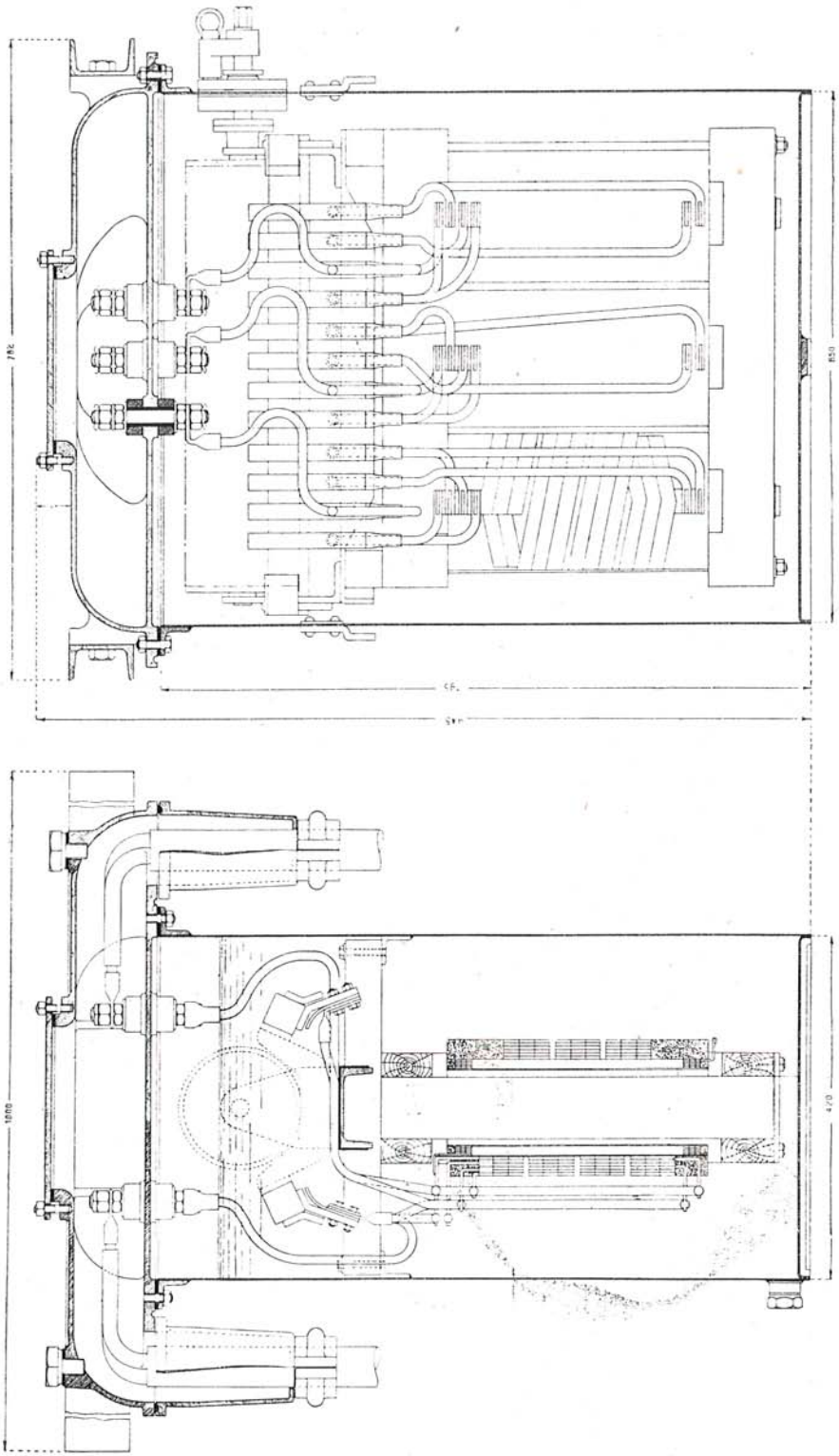
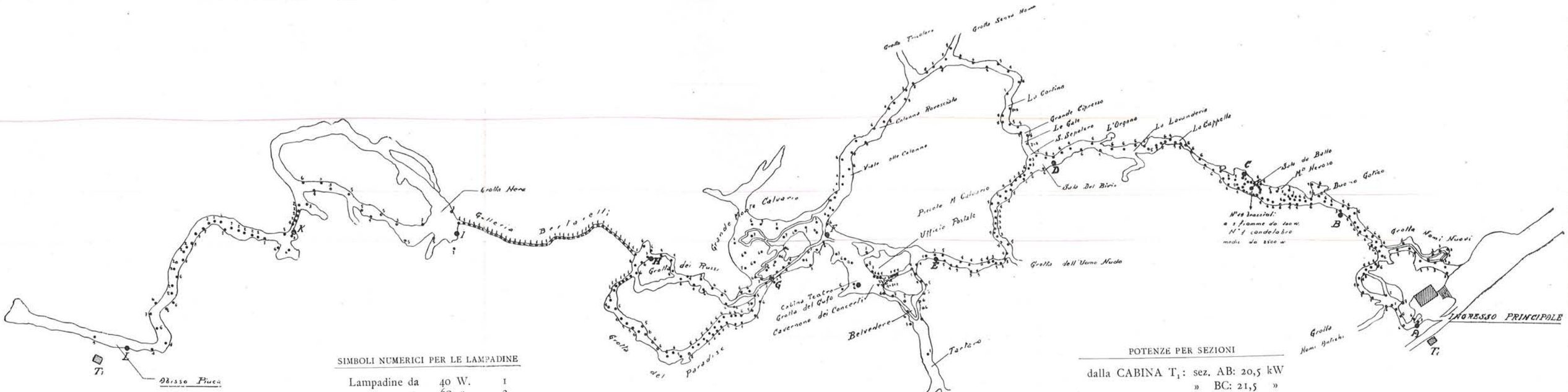


FIG. 11 - AUTOTRASFORMATORE TRIFASE REGOLATORE « CEMSA » TO/318-85 TIPO BLINDATO, POTENZA VERA 13 KVA 42 - 380/380 - 385 - 390 - 395 - 400 - 410 VOLT
PER ELEVARE LA TENSIONE NELLE CONDUTTURE PRINCIPALI.

DISPOSIZIONE DELLE LAMPADE



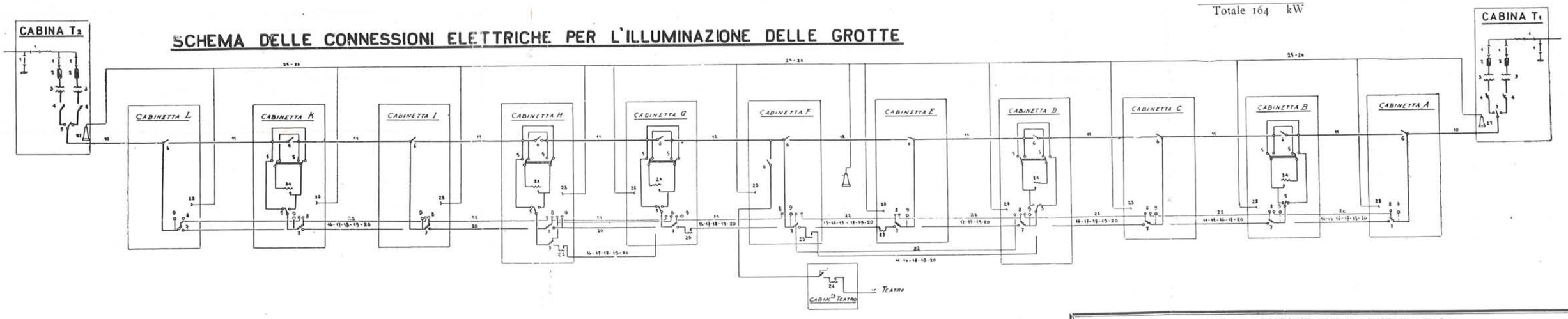
SIMBOLI NUMERICI PER LE LAMPADINE

Lampadine da	40	W.	1
» »	60	»	2
» »	100	»	3
» »	200	»	4
» »	300	»	5
» »	500	»	6
» »	1000	»	7
» »	1500	»	8
» »	2000	»	9

POTENZE PER SEZIONI

dalla CABINA T_1:	sez. AB:	20,5 kW
	» BC:	21,5 »
	» CD:	10,5 »
	» DE:	9 »
	» EF:	24 »
dalla CABINA T_2:	sez. FD:	15 »
	» GF:	18,5 »
	» HG:	25 »
	» IH:	2 »
	» KI:	6,5 »
	» LK:	11,5 »
Totale	164	kW

SCHEMA DELLE CONNESSIONI ELETTRICHE PER L'ILLUMINAZIONE DELLE GROTTE



IL NUOVO IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE ELETTRICA NELLE R. R. GROTTE DEMANIALI DI POSTUMIA

SPECIFICAZIONE DEI VARI MATERIALI

1	Coltelli separatori tipo 15.000 V. 100 amp.	15	Cavotrifase 3 × 16 m/mq. isolato a 1000 V.
2	Valvole a patrona tipo 15.000 V.	16	» » 3 16 » » »
3	Trasformatore 10.000/380 ÷ 5% 100 kW.	17	» » 3 × 12,6 » » »
4	Interruttori trip. olio B. T. di massima - 500 amp.	18	» » 3 × 10 » » »
5	Commutatori tripolari in aria - per 400 amp.	19	» » 3 × 8 » » »
6	Interruttore » » »	20	» » 3 × 4 » » »
7	» trip. in olio di mass. comando a dist. 100 A.	21	» tetrafase 4 × 4 » » » (per com.)
8	Pulsante tipo in olio	22	» bifase 2 × 4 » » » »
9	Presa di corr. con coperchio a chiusura stagna	23	Autotrasformatore elevatore in olio tipo 65 amp. 9 V.
10	Cavo trifase 3 × 150 m/mq. isolato a 1000 V.	24	» » » » 250 » 16 »
11	» » 3 × 120 » » »	25	Cavo bifase 2 × 19/10 per telefoni
12	» » 3 × 100 » » »	26	» » 2 × 2 per segnalazioni telefoniche lum.se
13	» » 3 × 35 » » »	27	Posto telefonico fisso alla cabina T_1 e T_2
14	» » 3 × 25 » » »	28	Prese telefoniche con lampad. di segnalaz. per chiamata

Autotrasformatori e loro funzioni

Gli autotrasformatori, collocati nelle piccole cabine interne alle Grotte e da cui si distaccano i singoli circuiti derivati AB_1 BC_1 CD_1 DE_1 EF_1 ecc. (vedasi tavola allegata) hanno il compito di iniettare nelle condutture principali delle piccole tensioni, registrabili a piacimento con opportuna manovra, in guisa da poter elevare la tensione di un determinato % per compensare le cadute di tensione. E poichè può avvenire che tutta la illuminazione si debba fare dalla cabina principale T_1 qualora fosse guasto il trasformatore della cabina principale T_2, oppure completamente dalla T_2 verso la T_1, è indispensabile che la inserzione dei detti autotrasformatori si possa fare tanto in un senso come in senso opposto, in modo da elevare la tensione procedendo da T_1 verso T_2 oppure procedendo da T_2 verso T_1.

Con la scelta opportuna dei valori delle tensioni da iniettarsi e ricorrendo allo stesso provvedimento anche per qualcuna delle derivazioni secondarie più caricate o più lunghe come le EF, FD (zona laterale della «Cortina») FG_1 e HG_1 («Paradiso») è stato possibile contenere la caduta di tensione massima, tanto nel funzionamento a sezioni singole (normale), come nel funzionamento di carattere straordinario, entro il limite del 4 %, cioè praticamente effettuare un *impianto a tensione uniforme,* con una tensione di distribuzione non esagerata e usando ragionevoli sezioni di condutture pur avendosi due sole sottostazioni di alimentazione alle estremità distanti tra loro 3700 metri.

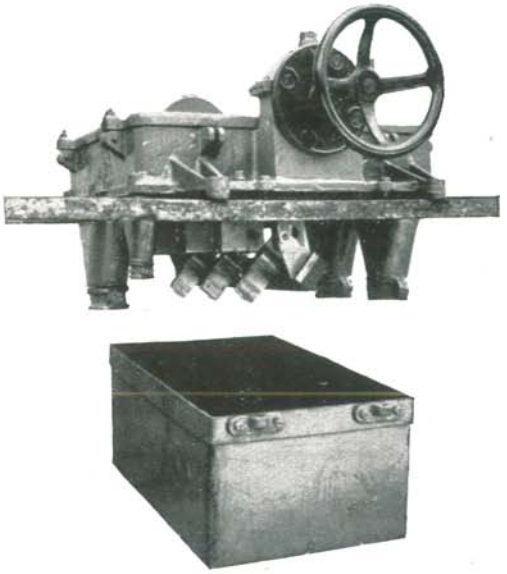


FIG. 12 - COMMUTATORE

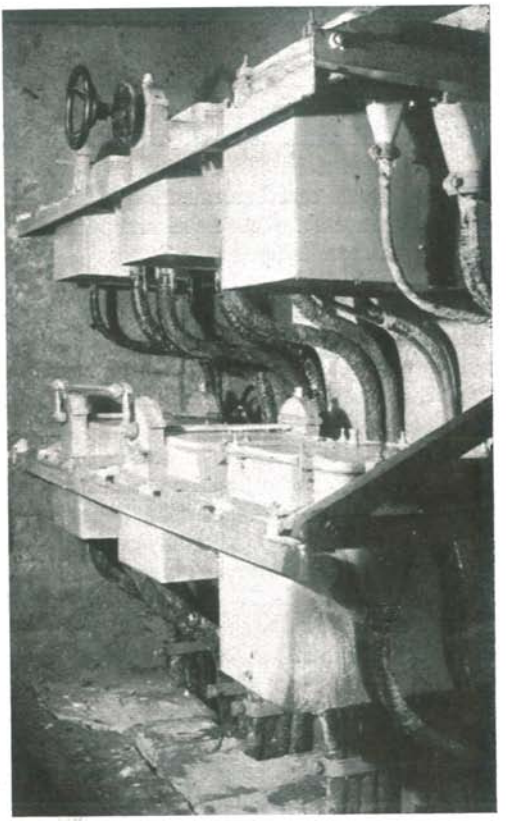


FIG. 13 - INTERNO DI UNA CABINETTA. - IN ALTO, I COMMUTATORI MANOVRABILI DALL'INTERNO; IN BASSO, GLI INTERRUTTORI MANOVRABILI DALL'ESTERNO.

Questi autotrasformatori (fig. 9 e 10) in cassa d'olio e con coperchio per passanti entro miscela, sono di due tipi e dovettero essere espressamente studiati: uno per le condutture principali da 250 ampère e fino a 16 volt; l'altro per le condutture secondarie, da 65 ampère e fino a 9 volt. La elevazione di tensione è graduabile dall'esterno della cassa d'olio mediante apposita manovella asportabile.

Delle undici cabinette interne di sezionamento A B C, ecc. (vedi tavola allegata) soltanto cinque (e precisamente le B D G H K) sono provvedute di elevatori principali, e solo cinque autotrasformatori del tipo più piccolo sono inseriti nelle condutture di derivazioni secondarie (E - F - H - Teatro).

La fig. 11 mostra questi autotrasformatori in sezione. La fig. 9 ne mostra la vista esterna.

La loro inserzione in un senso o nell'altro a seconda del senso di arrivo della energia, si effettua mediante appositi commutatori (fig. 12 e 13) del tipo in olio e miscela, opportunamente collegati meccanicamente allo scopo di evitare inconvenienti per false manovre. Sono visibili in alto nella fig. 13.

La fig. 14 dà lo schema di inserzione degli elevatori di tensione. Superiormente è visibile il cavo principale di alimentazione nella sua entrata nella cabinetta e nella sua uscita attraverso l'interruttore principale 6. A monte e a valle di questo sono effettuate due derivazioni tripolari che servono tanto per l'autotrasformatore principale 24 come per i circuiti secondari, visibili in basso della figura, dove pure sono indicati (23) degli autotrasformatori.

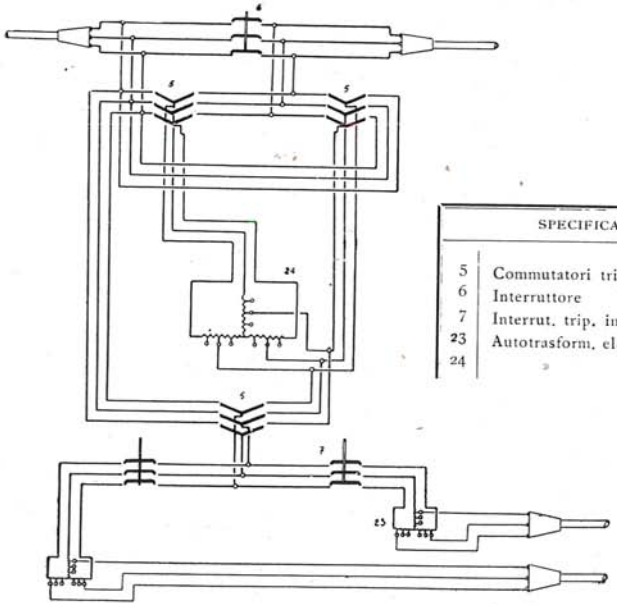
Allora se l'interruttore 6 è chiuso, i due commutatori 5 sono aperti: l'energia proveniente o dalla destra o dalla sinistra non subisce alcuna elevazione di tensione. I circuiti secondari (in basso) sono alimentati dalla derivazione visibile in alto a sinistra e pel commutatore tripolare 5 inferiore, chiuso verso sinistra, l'energia attraverso gli interruttori tripolari 7 va ai circuiti secondari subendo qui una elevazione di tensione o no mediante gli autotrasformatori 23 a seconda della preventiva registrazione che di essi sarà stata fatta.

Indipendentemente da questa alimentazione si vede che se si apre l'interruttore 6 l'energia, per procedere da sinistra a destra, deve passare per i commutatori tripolari 5 (in alto). Chiudendo i commutatori (meccanicamente collegati) verso sinistra, l'energia, attraverso l'autotrasformatore 24 viene sopraelevata di tensione e immessa nella conduttura principale a valle dell'interruttore principale, aperto.

Ma se, ferma restando l'alimentazione da sinistra, i due commutatori 5 (in alto) fossero chiusi verso destra, allora l'energia sarebbe condotta attraverso l'autotrasformatore 24 in senso inverso, per continuare poi la sua strada come prima; la tensione dell'autotrasformatore verrebbe in tal caso inserita in senso opposto e quindi si avrebbe una diminuzione della tensione della linea anzichè un aumento.

Il commutatore 5 inferiore consente poi di prelevare dalla linea principale energia elevata di tensione o no a seconda della sua posizione.

Si vedrà poi più avanti come questi autotrasformatori inseriti nelle cabinette servano ottimamente per contenere convenientemente il carico nella unica sottostazione alimentatrice quando una delle due, per un guasto, dovesse andare fuori di servizio (illuminazione di fortuna).



SPECIFICAZIONE DEI MATERIALI	
5	Commutatori tripolari in aria per 400 amp.
6	Interruttore » » » »
7	Interrut. trip. in olio di mass. com. a dist. 100 amp.
23	Autotrasform. elevatore in olio tipo per 65 A. 9 V.
24	» » » » 250 » 16 »

FIG. 14 - SCHEMA D'INSERZIONE DEGLI ELEVATORI NELLE CABINETTE

Comandi a distanza e segnalazioni telefoniche

Fu già avvertito che ogni sezione come CD_1 (fig. 8) nel servizio normale delle Grotte deve essere accesa tempestivamente da uno dei guardiani che accompagnano la comitiva e rispettivamente deve essere spenta, quando più non occorra, la illuminazione nella sezione precedente a quella che la comitiva sta percorrendo. Se questa è la BC_1 può essere spenta la sezione AB_1. Occorre pertanto poter manovrare a distanza gli interruttori 7 dello schema 14. Tutte le cabinette sono interconnesse con un cavo bifase 2×4 mm.^{2} (numero 22 della tavola allegata) destinato esclusivamente ai comandi. Girando un volantino viene azionato nel senso della chiusura l'elettromagnete, con movimento a mascella, di un interruttore posto nella cabinetta della sezione prossima. Tutti gli interruttori dei circuiti secondari (figg. 13 e 15) sono costruiti per scatto a massima corrente a tre relais. L'interruttore è parimenti provvisto di un pulsante per la manovra in posto.

Le cabinette G ed H sono interconnesse con un cavo tetrapolare (21) con sezioni 4×4 mm.^{2} destinato a sostituire due cavi da 2 mm.^{2} necessari ai comandi.

Con i pulsanti inerenti agli interruttori sono installate pure due prese di corrente per lampade spia da inserirsi in caso di lavori occasionali in vicinanza dei punti estremi delle sezioni. Ed ancora una presa di corrente per l'inserzione sulla linea telefonica di servizio dell'apparecchio portatile telefonico di cui le guide sono sempre munite. La segnalazione di chiamata telefonica è ottenuta mediante una lampadina rossa corrispondente ad un occhio luminoso sulla parete esterna della cabina. Tutti i comandi sono entro nicchia, chiusa regolarmente da portina in ferro, di cui tutte le cabinette sono provvedute.

Gli schemi elettrici delle figg. 16 e 17 dimostrano le connessioni dei diversi apparecchi installati nelle cabinette di manovra.

Altri dettagli costruttivi

Tutti i cavi sono internati in cunicoli ricavati nel terreno di riporto o in roccia a mezzo scavo sotto il piano del pavimento alla profondità di $30 \div 35$ cm. Essi riposano entro cassette di legno catramato che furono poi completamente riempite di pece. Sulle cassette sono disposti in modo contiguo dei mattoni di protezione: indi la fossa è tutta riempita di sabbia per una altezza di circa 10 cm. Fatto seguire il riempimento la terra fu battuta superficialmente in modo da rimettere in pristino la strada.

Per i tratti dove lo scavo è risultato in pura roccia, per limitare la profondità a $20 \div 25$ cm. soltanto, si è fatto ricorso a cavo armato con nastro di ferro protetto da juta catramata. La posa è identica come per i cavi non armati.

Il neutro è decisamente a terra; costituito da un conduttore di rame nudo in treccia per i circuiti principali, è disposto nella fossa parallelamente ai cavi stessi ed esternamente ai canali di legno. In corrispondenza ad ogni cabinetta il neutro è poi connesso con una « *terra* » accuratamente costruita e addirittura immersa nell'acqua ove questa è presente o per lo meno poco lontana.

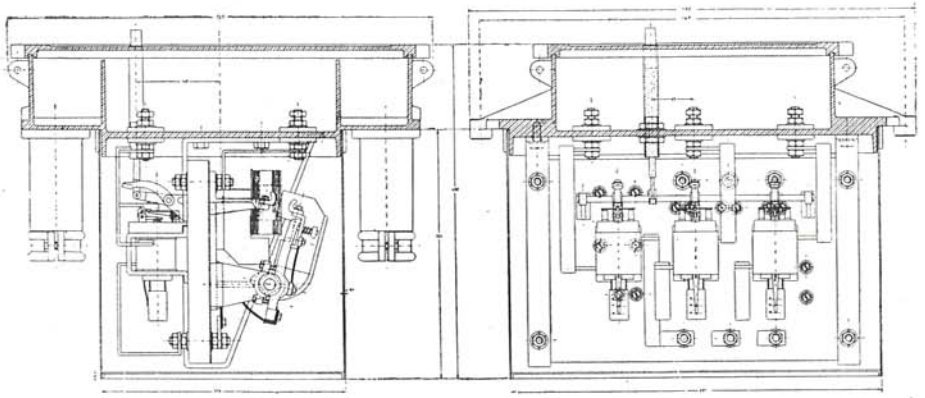


FIG. 15 - INTERRUTTORE DI MASSIMA PER COMANDO A DISTANZA, IN OLIO E MISCELA ISOLANTE

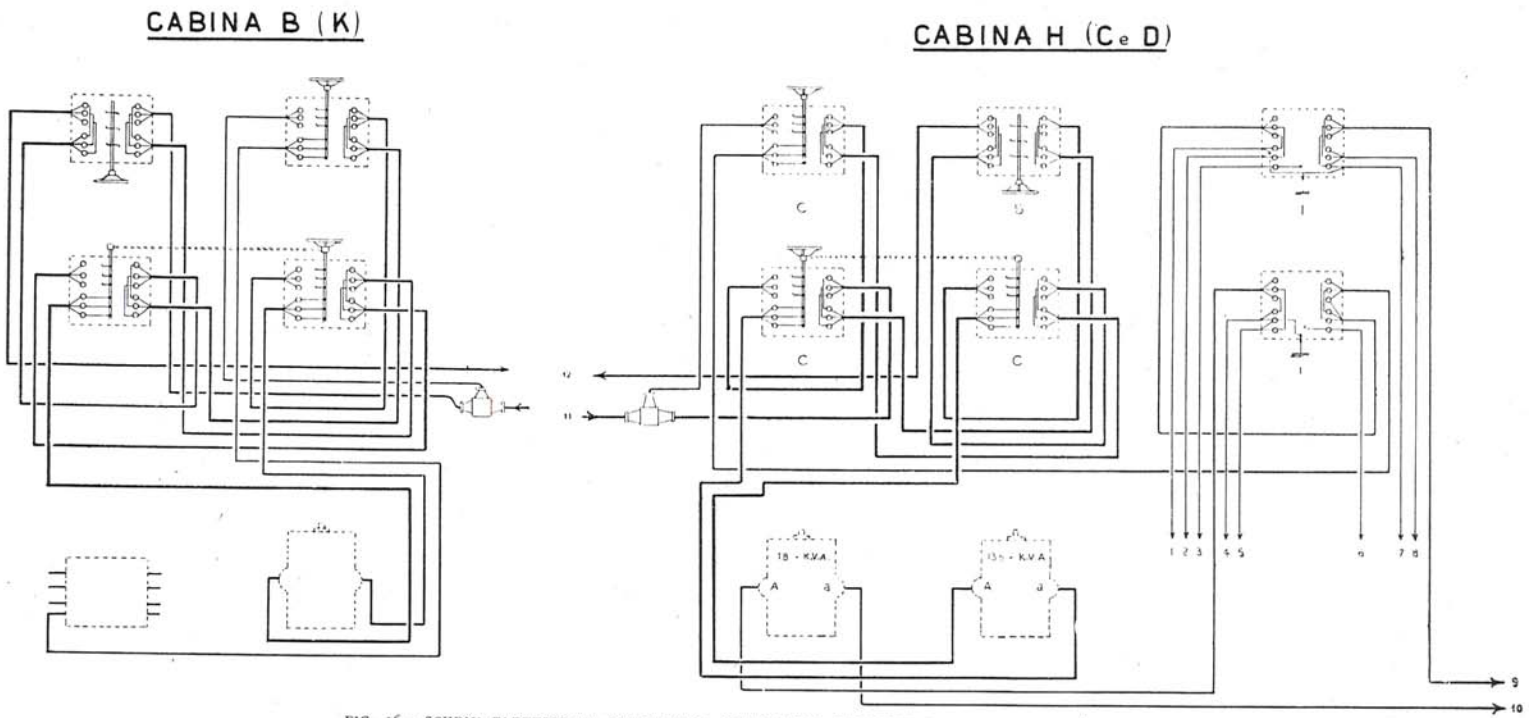


FIG. 16 - SCHEMI ELETTRICI DI CONNESSIONE NELLE VARIE CABINETTE DI MANOVRA PER L'ACCENSIONE.

1 - Conduttura in cavo 2×2 - Alle lampade interno cabina.
2 - Conduttura in cavo 2×2 - Alla presa lampade portatile.
3 - Conduttura in cavo 1×4 - Al deviatore comando in sito.
4 - Conduttura in cavo 2×2 - Alle lampade esterno cabina.
5 - Conduttura in cavo 2×4 - Ad una lampada esterno cabina.
6 - Conduttura in cavo 2×4 - Al deviatore comando in sito.
7 - Conduttura in cavo 2×4 - Ad una lampada esterno cabina.
8 - Conduttura in cavo 3×7 - Alimentazione circuito ausiliario.
9 - Conduttura in cavo 3×8 - Alimentazione circuito 1°.
10 - Conduttura in cavo 3×25 - Alimentazione circuito 2°.
11 - Conduttura in cavo 3×120 - Conduttura principale da T_1.
12 - Conduttura in cavo 3×120 - Conduttura principale da T_2.
A - Alimentazione dell'autotrasformatore.
a - Erogazione dall'autotrasformatore.
C - Commutatore in olio e miscela da 400 amp./500 V.
S - Sezionatore in olio e miscela da 400 amp./500 V.
I - Interruttore automatico di massima per comando a distanza da 100 amp./500 V.

I cavi principali essendo stati ordinati delle lunghezze prescritte (quando inferiori al metraggio normale) per partire da una cabinetta e raggiungere la successiva hanno un minimo di giunzioni intermedie. Anche i cavi secondari di distribuzione partono dagli interruttori nelle cabinette, e la loro posa è identica a quella dei cavi principali, ma su di essi sono fatte tutte le derivazioni alle lampade in numero di circa 300. Queste derivazioni sono fatte tutte a mezzo di cassette in ghisa (due tipi) a tenuta ermetica e per riempimento con miscela isolante fusa. Il disegno 18 illustra una di queste derivazioni. Queste cassette sotterranee sono poi affogate completamente col catrame colato entro appositi pozzetti di cemento, cassette alle quali fanno capo i vari cavi mediante terminali in miscela.

Il cavetto di

derivazione prima di giungere alla lampada passa attraverso una scatola, in bronzo fuso, a tenuta, contenente il fusibile, facilmente asportabile, levato che sia il coperchio, fissato con viti e provvisto di guarnizione di gomma (figura 19).

Anche i piccoli cavetti di derivazione alle lampade sono tutti sotto piombo ed internati entro solchi praticati nelle rocce e poi opportunamente mascherati (fig. 19).

Le cabinette nell'interno delle Grotte e collocate entro rientranze delle rocce in modo da essere discretamente mascherate, sono tutte in muratura di cemento con lunghezza e larghezza diversa a seconda del numero degli apparecchi che devono contenere (dimens. massime 2,50 × 1,50) e tutte di metri due di altezza. Esse sono provvedute di una portina laterale di accesso in ferro e di una finestra sul davanti, aprendo la quale con chiave si presentano i volantini (a loro volta montati su lastre metalliche) che devono essere manovrate dalle guide (vedi figure 10 e 20).

Merita qui di essere ripetuto che nell'interno di queste cabinette non vi è alcun terminale libero perchè tutto fu predisposto per poter colare della miscela fusa isolante dopo effettuate (e provate) le connessioni.

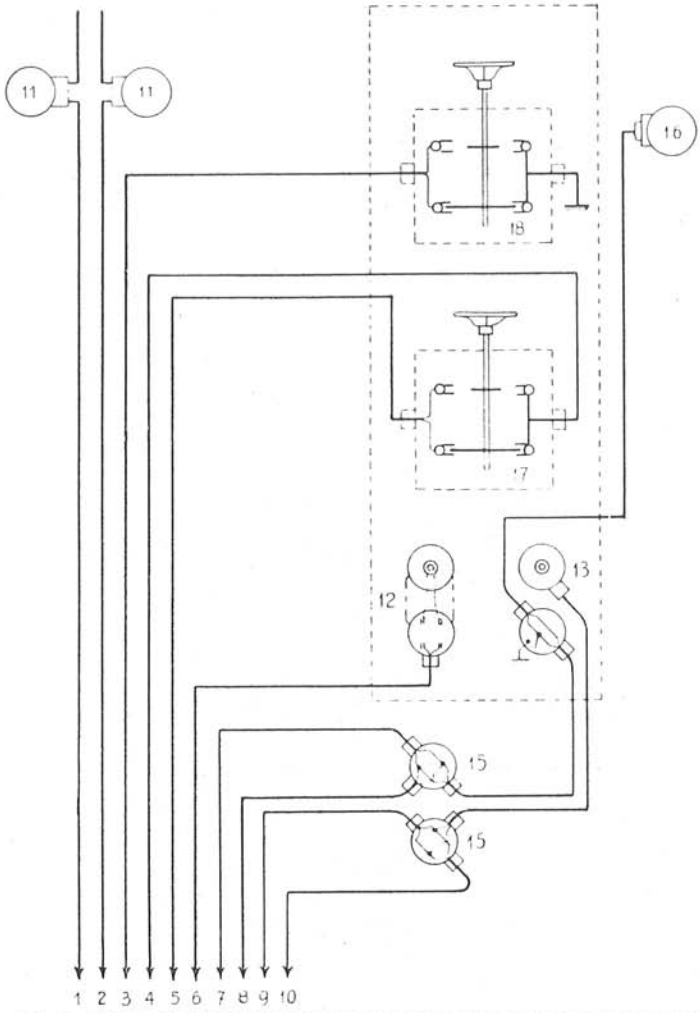


FIG. 17 - SCHEMA ELETTRICO DEGLI APPARECCHI DI MANOVRA INSTALLATI NELLE VARIE CABINETTE.

1 - Conduttore in cavo 2×2 - Alle lampade interno cabina.
2 - Conduttore in cavo 2×2 - Alle lampade esterno cabina.
3-5 - Conduttore in cavo 2×4 - Comando accensione.
4 - Conduttore in cavo 1×4 - Comando accensione.
6 - Conduttore in cavo 2×2 - Per lampada portatile.
7-8 - Conduttore in cavo 2×2 - Cavo telefonico segnalazione.
9-10 - Conduttore in cavo 2×12/10 - Cavo telefonico.
11 - Cassettine portavalvole a chiusura stagna.
12 - Presa di corrente con valvola per lampada portatile.
13 - Presa di corrente per telefono portatile.
14 - Interruttore per chiamata telefono.
15 - Cassettine di derivazione a chiusura stagna.
16 - Lampadina per segnalazione - chiamata telefono.
17 - Deviatore per accensione (comando in sito).
18 - Deviatore per accensione (comando alla cabina successiva).

Apparecchi di illuminazione e lampade

Dovendo effettuarsi dappertutto una illuminazione indiretta furono adottati degli apparecchi a riflettore, visibile in sezione nella fig. 21. Un ricettacolo di bronzo fuso per il portalampade a pan l'attacco delle conduttore sostiene un corpo foggiato ad imbuto leggermente convesso verso l'alto, costituito da lastra di rame robusta di 12/10 mm. fortemente stagnato, verniciato in grigio esternamente, in bianco internamente. Il ricettacolo presenta dei fori per lo smaltimento dell'acqua di condenscione e per la aerazione. Sul fianco è adat-

tata una scatola di bronzo per l'arrivo del cavetto di alimentazione, a tenuta stagna.

Dove lampade di piccola intensità sono da installarsi al soffitto, come in corrispondenza delle gallerie, furono adottati apparecchi illuminanti a chiusura perfettamente stagna.

In altre posizioni dove le lampade sono disposte verso il basso in modo da rendere visibile la strada oppure per dare buon effetto di visibilità a qualche particolarità delle Grotte, come ad esempio la « Cortina » furono adottate robuste sospensioni in porcellana con lampade a filamento rettilinee aggrappate alla roccia o direttamente o a mezzo di intelaiature.

la zona di Postumia, è battuta da violenti temporali e frequentissime sono durante l'estate le scariche atmosferiche. Si hanno pertanto rapide e violente variazioni nel gradiente del potenziale atmosferico e di conseguenza fenomeni cospicui di elettrizzazioni di oggetti metallici più o meno bene isolati dal suolo. L'interno delle Grotte di Postumia non va esente da questi fenomeni; è accaduto qualche rara volta di risentire una piccola scossa montando con un piede sul binario della piccola ferrovia cha fa servizio internamente per i visitatori (le rotaie sono assicurate a traversine di legno molto ben impregnato al carbolineum) mentre l'altro

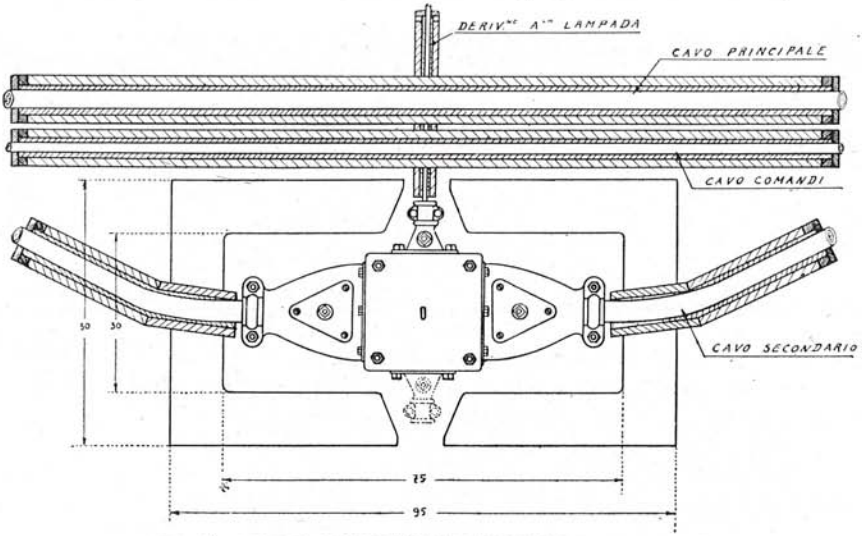


FIG. 18 - CASSETTA SOTTERRANEA DI DERIVAZIONE ALLE LAMPADE

L'efficenza in lampade dell'attuale impianto, suscettibile di notevoli ampliamenti, è la seguente:

40	lampade da	40	watt	=	1.600	watt
50	»	60	»	=	3.000	»
136	»	100	»	=	13.600	»
50	»	200	»	=	10.000	»
75	»	300	»	=	22.500	»
128	»	500	»	=	64.000	»
35	»	1000	»	=	35.000	»
3	»	1500	»	=	4.500	»
5	»	2000	»	=	10.000	»
			Totale		164.600	watt

Tutte le lampade sono del tipo a 1/2 watt a gas compresso.

Protezioni contro le sovratensioni

La regione carsica intorno al Monte Re, che si erge maestoso sopra l'altipiano dove trovasi

piede è a contatto col suolo pregno di umidità.

Quando l'impianto di illuminazione è funzionante, ogni sopraelevazione di potenziale per effetto di cariche statiche si può ritenere possa immediatamente dileguarsi inoffensivamente a terra attraverso le lampade essendo queste connesse tutte al filo neutro, non isolato, anzi bene connesso con la terra. Ma possono esservi sezioni di conduttori secondari del tutto isolate; e quando l'impianto non funziona, tutto il cavo principale trifase è isolato, nè il mantello di piombo può proteggere i conduttori interni al cavo in via assoluta, potendo questi trovarsi connessi al trasformatore senza esserlo ai circuiti secondari comprendenti le lampade.

Riflettendo a queste circostanze e alla natura dell'ambiente si è deciso di limitare le pro-

tezioni all'impiego di *scaricatori autovalvola* disposti entro olio senza esagerare nel numero (15 in totale). Poichè i cavi principali e così quelli secondari sono costruiti per una tensione di esercizio di 1000 volt, mentre invece essa non supera mai i 380 + 5 % ≅ 400 volt, furono scelti scaricatori autovalvola adescantisi ad una tensione di 500 volt, molto inferiore dunque a quella di sicurezza (oltre 2000 volt). Il tipo fornito dalla CEMSA della Westinghouse americana costituito da una serie di intervalli tra opportuni elettrodi ha le caratteristiche di una valvola, nel senso che esso si rimette in condizioni di protezione immediatamente dopo aver funzionato per una avvenuta sovratensione. Esso presenta all'onda di tensione perturbante una impedenza sufficentemente bassa per non richiedere notevoli sovratensioni prima dell'adescamento; nè la sua presenza ha mai portato il minimo disturbo all'impianto. Esso funziona compleamente immerso nell'olio.

Linea telefonica di servizio

Per poter agevolmente comunicare con le cabine per ragioni di servizio, tanto per la illuminazione come per qualunque altro scopo riguardante l'esercizio delle Grotte, è stata predisposta (come fu già avvertito) una linea telefonica in cavetto bipolare, facente capo a tutte le cabinette con le prese già accennate ed esistenti sui quadretti metallici entro le finestrine.

Una conduttura parallela, pure in cavo, serve per la segnalazione luminosa di chiamata ai vari posti in corrispondenza alle cabinette.

Illuminazione di fortuna

Fu detto in principio che i trasformatori T_1 e T_2 collocati nelle sottostazioni ai due imbocchi delle Grotte possono provvedere largamente al carico complessivo inerente alle illuminazioni di carattere straordinario purchè siano messi in funzione due ventilatori, di regola inattivi. Se in una di queste occasioni un trasformatore dovesse guastarsi, con scatto del relativo interruttore, essendo i cavi principali che si distaccano dalle sottostazioni tra di loro connessi in corrispondenza alla cabinetta F oppure E, tutto il carico si riverserebbe sopra l'altro trasformatore e poichè il relais di massima è tarato per 120 kilowatt, esso funzionerebbe togliendo, con lo scatto dell'interruttore, la tensione all'impianto. E con la folla esistente nell'interno (parecchie migliaia di persone) potrebbero succedere dei serissimi guai. Occorre assolutamente che in queste condizioni il carico venga automaticamente ridotto a 120 kilowatt per impedire lo scatto dell'interruttore in corrispondenza al trasformatore rimasto in servizio e per il quale in pochi minuti si potrà mettere in attività il ventilatore di raffreddamento.

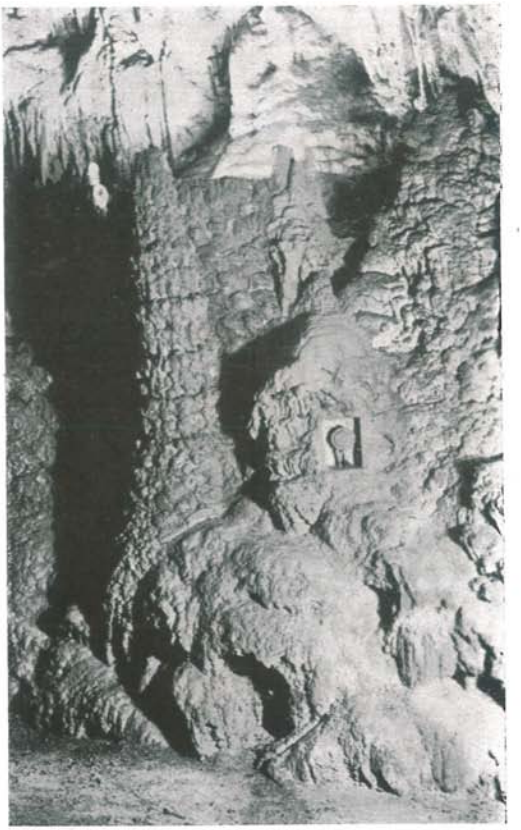


FIG. 19 - VALVOLA CON FUSIBILI, INTERNATA NELLA ROCCIA.

Questo risultato si ottiene automaticamente in virtù degli autotrasformatori i quali, nelle giornate in cui la illuminazione è completa, sono inseriti nel senso di elevare la tensione quando la energia fluisce dal trasformatore T_1 verso il centro delle Grotte e analogamente avviene per il trasformatore T_2. Le cose vengono regolate in modo che in corrispondenza alla cabinetta F le tensioni risultino praticamente uguali ed il carico risulti perciò equamente

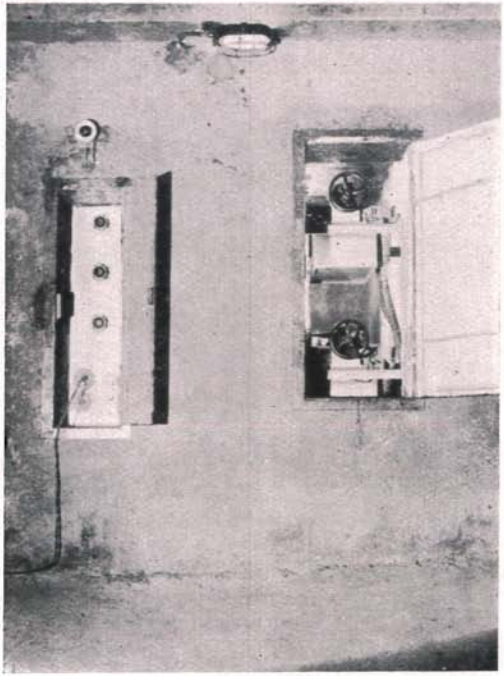


FIG. 20 - PARETE ESTERNA DI UNA CABINETTA CON GLI SPORTELLI IN FERRO APERTI.

ripartito fra i due trasformatori effettuando in F il parallelo delle due reti.

Se però, per una qualunque causa, va fuori di servizio uno di essi, T_2 per esempio, allora tutti gli autotrasformatori compresi fra F e T_2 risultano inseriti a rovescio: essi deprimono le tensioni anzichè rialzarle e conseguentemente influiscono nel senso di diminuire il carico ed in modo sensibile, tanto da contenere il carico del trasformatore rimasto in servizio entro i limiti imposti dalla taratura del relais di scatto dell'interruttore automatico posto nella sottostazione.

La Stazione bio-speleologica

È quasi superfluo osservare che col nuovo impianto si è anche provveduto ad una razionale illuminazione della Stazione bio-speleologica, di cui le RR. Grotte di Postumia si sono recentemente arricchite per lo studio minuzioso ed accurato di tutta la flora e la fauna cavernicola in generale e di quella delle Grotte di Postumia in particolare.

Anche qui, date le condizioni dell'ambiente, si dovettero adottare speciali dispositivi per la sicurezza degli studiosi ammessi alla Stazione nonchè del personale inserviente, corrispondendo in pari tempo a tutte le esigenze tecniche che i varii ambienti richiedono, costituiti del resto da una grotta laterale e cieca che si riscontra poco dopo l'ingresso.

Risultati raggiunti

I lavori di costruzione dell'impianto furono affidati alla ditta ingg. Bourelly & Zurhaleg di Milano; iniziati nell'autunno del 1929 furono completi verso la fine del 1930 senza che il minimo incidente abbia turbato questa singo-

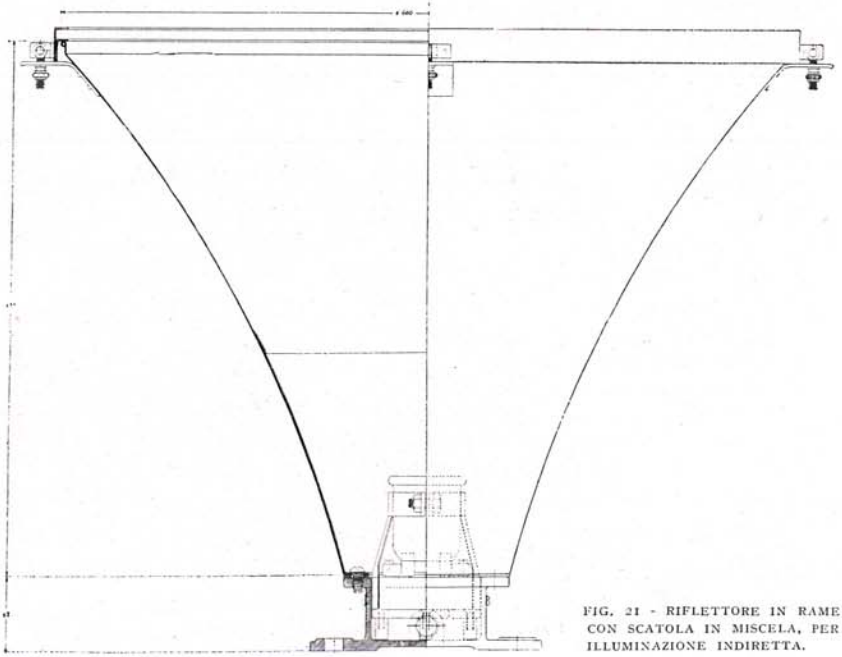


FIG. 21 - RIFLETTORE IN RAME CON SCATOLA IN MISCELA, PER ILLUMINAZIONE INDIRETTA.

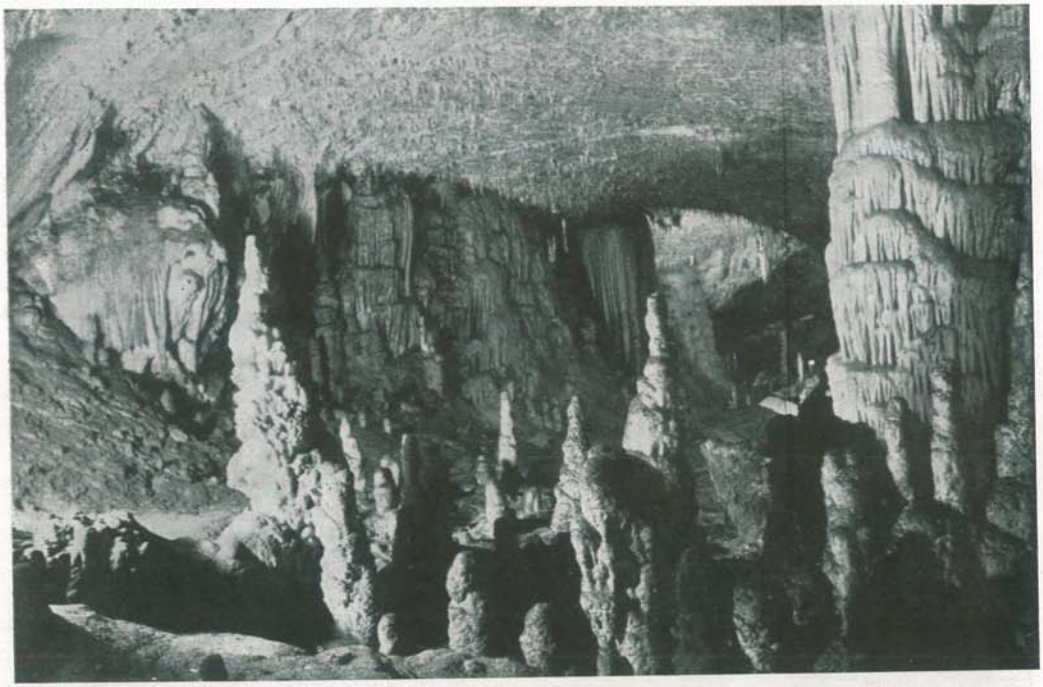


FIG. 22 - GROTTA DEL PARADISO - INGRESSO - ILLUMINAZIONE INDIRETTA (ESPOSIZONE DELLA LASTRA 10 MINUTI).

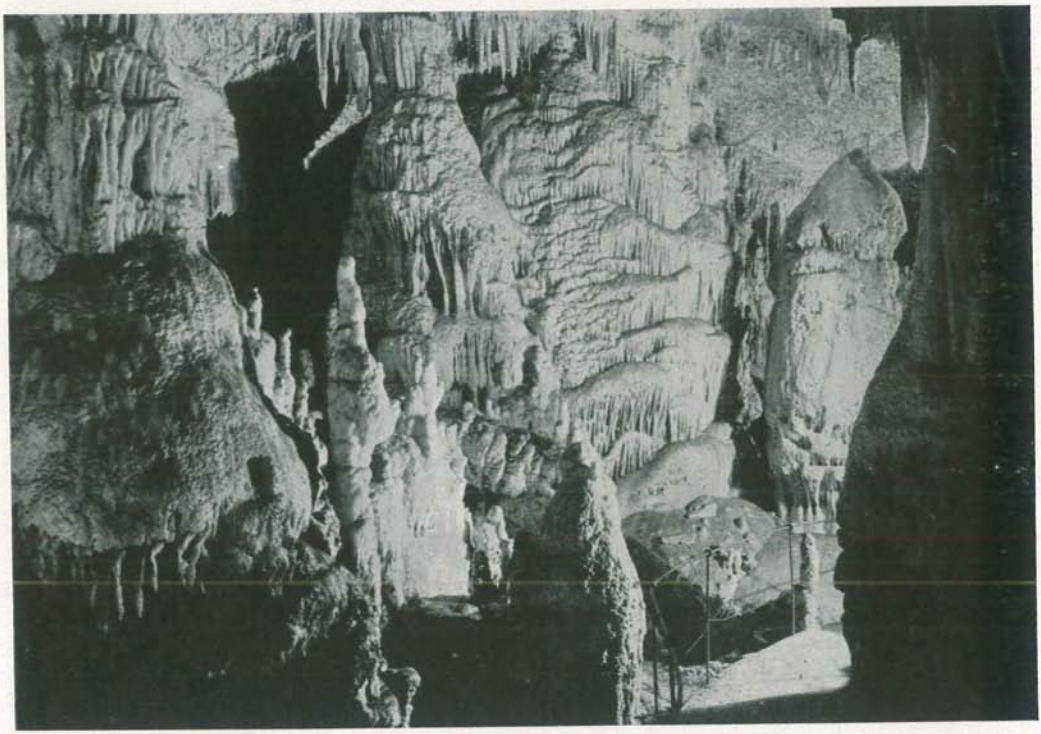


FIG. 23 - GROTTA DEL PARADISO - PARETE. - ILLUMINAZIONE INDIRETTA (ESPOSIZIONE DELLA LASTRA 15 MINUTI).

FIG. 24 - GROTTA DELLA PIUCA - UN LAGHETTO (EFFETTI DI ILLUMINAZIONE INDIRETTA)

lare impresa sviluppata nelle tenebre più profonde, rotte soltanto dalla luce delle lampade ad acetilene. Complessivamente furono distesi trenta chilometri di cavo.

Alla sistemazione dei proiettori, per conseguire i più completi e perfetti effetti luminosi, provvide personalmente il Direttore delle RR. Grotte, cav. G. A. Perco che fu infaticabile nel provare e riprovare; nè altro poteva farsi per raggiungere l'intento (figg. 22, 23, 24, 25).

I lavori condotti con molta cura da personale specializzato furono di continuo controllati in modo che non dovessero esserci amare sorprese nell'isolamento a lavori ultimati. Infatti tutta la conduttura principale costituita da 12 tronchi, entrando e uscendo da 11 cabinette con incluse solo le derivazioni ai contattori di 6 cabinette, presenta nella sua lunghezza complessiva di circa 4000 metri un isolamento di 700.000 ohm fra ogni fase e la terra, mentre includendo le derivazioni ai contattori di tutte le 11 cabinette l'isolamento scende a 450.000 ohm. Nel primo caso risultano inclusi con i relativi deviatori di comando dei circuiti secondari (due per ogni circuito, in totale 12) anche 3000 metri di cavetto 2×4 mm.^{2} per i comandi. Nel secondo caso risultano inclusi 25 deviatori di comando e tutti i relativi circuiti con un totale di 4150 m. di cavetto 2×4 mm.^{2} e 280 m. di cavetto 4×4 m.^{2}; questo caso corrisponde alle condizioni in cui trovasi il circuito primario con tutti i suoi apparecchi accessori inseriti all'atto di iniziare l'accensione delle lampade.

I circuiti secondari furono provati levando tutti i fusibili delle lampade che ad ognuno di essi corrispondono. L'isolamento varia evidentemente in dipendenza della estensione del relativo circuito; nella media esso è risultato di 400.0000 ohm.

Fu detto in principio che trattasi di un impianto che non ha precedenti nella tecnica della illuminazione elettrica. Se questo è vero per quanto concerne i dettagli tecnici di carattere elettrico lo è anche altrettanto — è forse più — per quanto riguarda i dettagli intesi a trarre dalla luce elettrica i più completi effetti dovuti alla illuminazione indiretta. Con le sorgenti di luce completamente schermate l'occhio vede ogni piccolo dettaglio senza esserne mai affati-

FIG. 25 - LE RAPIDE DELLA PIUCA, A MONTE DELL'ABISSO DELLA PIUCA (EFFETTI DI ILLUMINAZIONE INDIRETTA)

cato; le vastità e le altezze hanno i loro giusti risalti senza risultarne apparentemente sproporzionate nelle dimensioni; giuochi d'ombre, quando le luci sono sapientemente disposte, metteno in rilievo i candori alabastrini delle stallatiti dei soffitti, nei raggi riflessi scintillano le concrezioni cristalline con i colori dell'iride; per trasparenza illuminate rivelano all'occhio attonito le loro più belle colorazioni le trine e le frange drappeggiate da una mano di fata. Gli specchi d'acqua assumono tinte verdognole, quasi irreali e il fiume Piuca che scorre impetuoso all'ingresso e poi laggiù verso quel pauroso Abisso della Piuca da cui si « torna a riveder le stelle » col suo tortuoso corso, dà all'insieme un aspetto da tregenda, con effetti di luce e di ombre strane, come fosse un gorgo da cui la mente si ritrae impaurita.

Valeva pur la pena che per quest'opera fantastica della Natura cui non bastarono milioni d'anni, la tecnica prestasse i suoi migliori mezzi per esaltarne le caratteristiche: nè sembri paradosso il dire che l'acqua, così assidua per secoli a produrre l'antro immenso per eccellenza si adopera oggi a fornire quella energia da cui le meraviglie da essa create si rivelano all'uomo in tutta la loro suggestiva bellezza.

Ing. Prof. GIUSEPPE SARTORI