

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-83/48(NT)
12 Luglio 1983

C. Sanelli: STATO ATTUALE DELLA DISTRIBUZIONE DI
ENERGIA ELETTRICA. PROSPETTIVE FUTURE.

C. Sanelli: STATO ATTUALE DELLA DISTRIBUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA.
PROSPETTIVE FUTURE.

INTRODUZIONE

Nella prima parte si intende dare una panoramica dello stato attuale delle reti di distribuzione di energia elettrica dal punto di consegna ENEL in Alta Tensione ai quadri di Bassa Tensione da cui sono derivate le singole utenze.

Nella seconda parte saranno esposte le prospettive future a breve e lungo tempo sullo sviluppo che sarà necessario prevedere per questo tipo di impiantistica in base ad esigenze dei Laboratori e di adeguamento allo standard nazionale.

1. - STATO ATTUALE

I principali sistemi di distribuzione di energia elettrica sono di due tipi:

- a) radiale,
- b) a maglia.

Questi tipi sono sviluppabili a seconda delle varie esigenze in più sottotipi, ad esempio radiale doppio, radiale con due alimentazioni indipendenti, a maglia ad anello semplice, a maglia con due alimentazioni indipendenti, a maglia mista, ecc.

In Fig. 1 sono riportati gli schemi di principio della distribuzione radiale e a maglia.

In Fig. 2 è riportato lo schema di principio di un sistema di distribuzione.

Il sistema in uso presso i Laboratori è del tipo radiale semplice ed è essenzialmente costituito come in Fig. 2.

Un esempio di distribuzione a maglia è quello proposto per il LEP, e riportato in Fig. 3.

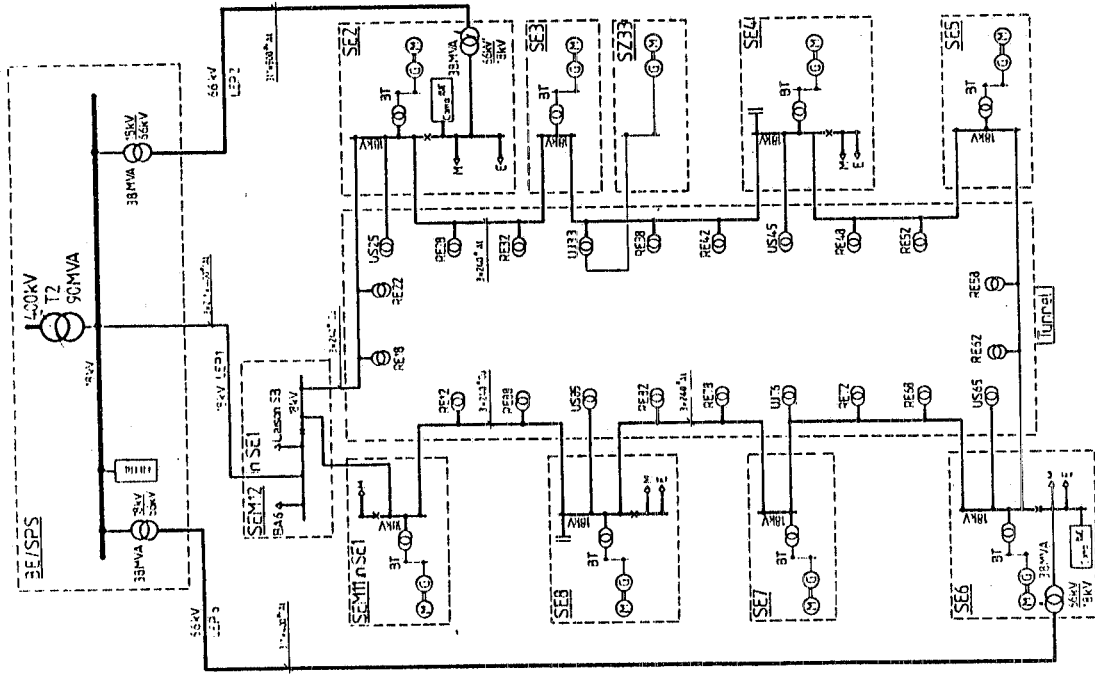


FIG. 3 - Sistema di distribuzione del LEP - Fase 1

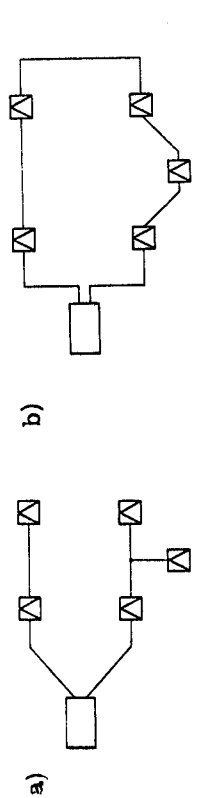


FIG. 1 - Schema di principio di una rete di distribuzione di tipo radiale (a) e ad anello (b).

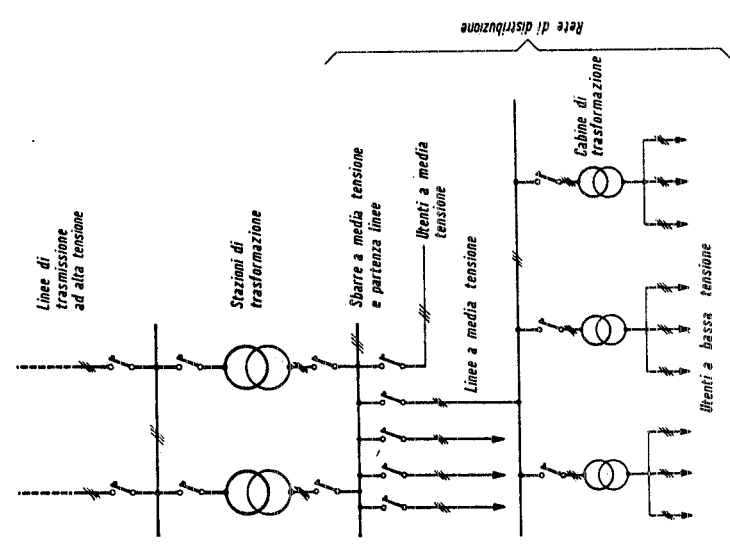


FIG. 2 - Schema generale di principio di un sistema di distribuzione.

1.1. - Stazione elettrica

La stazione elettrica è del tipo all'aperto, essa è alimentata tramite una linea aerea a 60 KV dall'ENEL, doppia terna, dalle Stazioni di Frascati da un lato e Cinecittà dall'altro.

I principali elementi costituenti la stazione sono:

- n. 2 stalli di arrivo linea;
- n. 1 sistema di sbarre di rinvio;
- n. 2 stalli di alimentazione trasformatori;
- n. 2 trasformatori 5 MVA, 60/3 KV.

Il fabbricato comprende la sala comando, la sala quadri, il gruppo elettrogeno di soccorso, il quadro di rifasamento e la sala batterie adiacente all'area della stazione. Attualmente sono poste all'interno del fabbricato le seguenti apparecchiature:

- nella sala comando:
 - n. 1 quadro sinottico di comando;
 - n. 1 quadro di misura e protezione linea;
 - n. 2 quadri di misura e protezione trasformatori;
 - n. 1 quadro servizi ausiliari c. a. e c. c.;
 - n. 1 quadro segnalazioni ed allarmi;
- nella sala quadri:
 - n. 38 celle 3 KV, complete di interruttore in aria, allacciate su due sistemi di sbarre separati, di cui uno alimenta in linea provvisoria l'ENEA e l'altro l'INFN;
- in appositi locali attigui alla sala quadri sono installati:
 - n. 1 gruppo elettrogeno di soccorso 165 KVA, 220 V;
 - n. 1 quadro di rifasamento 450 KVAR, 3 KV;
 - batterie di alimentazione dei servizi ausiliari.

In Fig. 4 è riportata la planimetria della stazione elettrica. Come è possibile vedere in figura la stazione è progettata per poter ospitare tre stalli di alimentazione trasformatori e tre trasformatori anche se fin dalla sua messa in servizio ne sono stati installati solo due.

La struttura degli stalli di linea e dei trasformatori rappresenta una H dove il trattino centrale schematizza un sezionatore di congiunzione tra i due stalli.

Ciascun ramo della struttura è costituito dai seguenti elementi:

- a) n. 1 sezionatore di linea con sezionatore di terra, trifase;
- b) n. 3 trasformatori di tensione monofasi;
- c) n. 1 interruttore ad aria compressa a tre colonne;
- d) n. 3 trasformatori di corrente monofasi;
- e) n. 1 sezionatore come in a) senza sezionatore di terra;

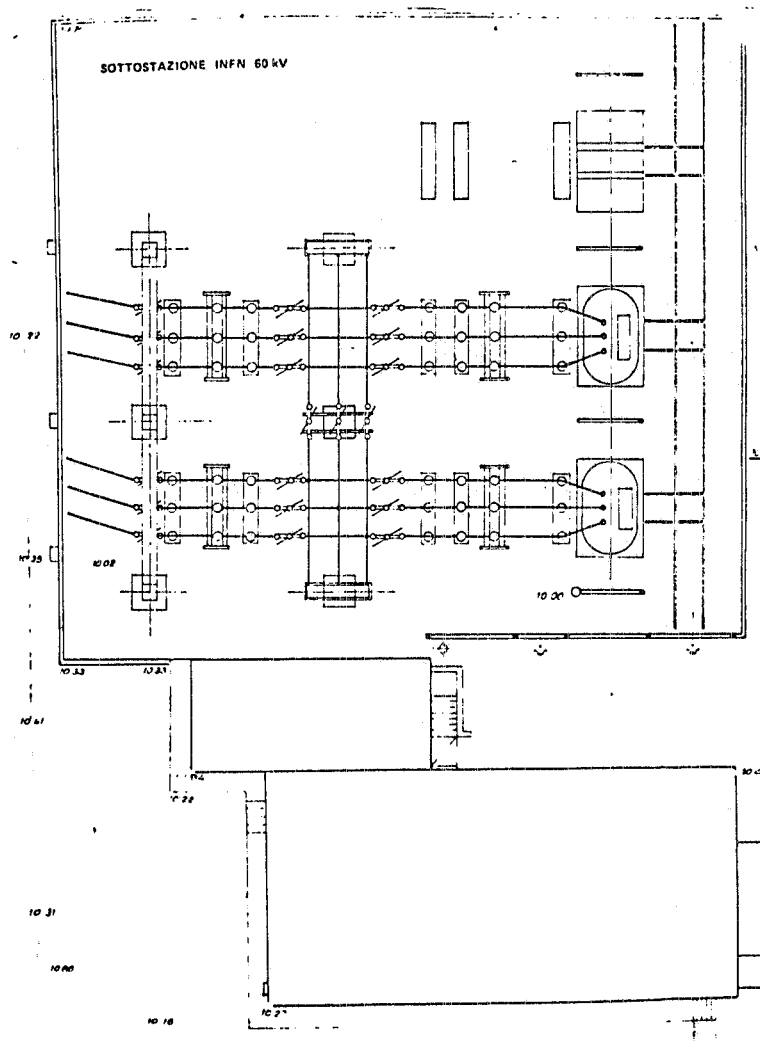


FIG. 4 - Planimetria stazione elettrica INFN.

- f) derivazione per sezionatore di congiunzione barre;
- g) n. 1 sezionatore come in e);
- h) n. 3 trasformatori di tensione come in b);
- i) n. 1 interruttore come in c);
- l) n. 3 trasformatori di corrente come in d);
- m) n. 3 scaricatori di tensione monofasi;
- n) n. 1 trasformatore 60/3KV, 5 MVA.

1.1.1. - I trasformatori 60/3 KV

Originariamente i due trasformatori gemelli facevano capo ad un unico sistema di barre di distribuzione 3 KV, ma a seguito della separazione dell'area tra INFN e CNEN, per ragioni legali, si è dovuto spezzare questo sistema in due; attualmente un

trasformatore alimenta le utenze già CNEN e l'altro le utenze INFN. Le caratteristiche di ciascun trasformatore sono:

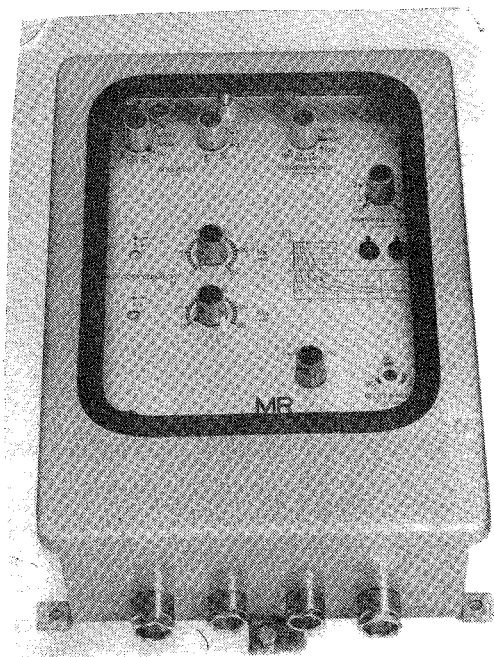
- Potenza	5000 KVA servizio continuo
- Tensione primario	60 KV \pm 9 x 800 V
- Collegamento primario	stella
- Tensione secondario a vuoto	3300 V
- Collegamento secondario	triangolo
- Frequenza	50 Hz
- Gruppo CEI	Yd 11
- Tensione di cortocircuito	8.27 %
- Cos φ di corto circuito	0.077
- Peso totale	24300 Kg
- Commutatore sotto carico tipo	JANSEN C III 200 λ
- Anno di costruzione	1965
- Ditta costruttrice	PIVI
- Raffreddamento	ONAN

I trasformatori sono dotati di commutatori sotto carico del tipo JANSEN C III che permettono una regolazione automatica sul primario nel range 52.8-67.2 KV, per un totale di 19 gradini, permettendo quindi di contenere variazioni della tensione di linea del \pm 12 % sul primario entro l'1.5 % sul secondario. Essi sono in servizio permanente dal 1967 circa con un egregio funzionamento, anche se in questi ultimi anni si sono manifestate alcune avarie, quali le perdite di isolamento dei cavi PYROTENAX di segnalazione ed allarme, la rottura di alcune parti meccaniche dei commutatori sotto carico; incidenti di per sè non seri, ma aggravati dal fatto che oggi non è possibile usare i due trasformatori uno di riserva all'altro, per la separazione sopra detta, rendendo altresì problematica la necessaria e periodica manutenzione a cui dovrebbero essere soggetti.

Nella Tabella I sono riportate le principali manutenzioni che dovrebbero essere effettuate e la relativa frequenza.

TABELLA I - Schema delle manutenzioni di un trasformatore di distribuzione in olio.

Tipo di ispezione	Frequenza di ispezione					quando la rigidità del dielettrico è bassa
	settimanale	mensile	trimestrale	annuale	biennale	
Filtraggio olio					x	x
Rigidità dielettrica				x		
Posizione aste spinterometriche				x		
Pulizia isolatori		x				
Intervento Buchholz			x			
Valvola di sicurezza	x					
Sali essicatori	x					
Livello olio	x					



Nella Fig. 5 è riportato il regolatore di tensione per il comando del commutatore sotto carico che recentemente è stato sostituito per ciascuna unità di trasformazione.

FIG. 5 - Il regolatore elettronico di tensione MK 20.

1.1.2. - Interruttori 60 KV

Gli interruttori 60 KV appartengono alla serie di interruttori rapidi ad olio ridotto della MAGRINI (Scarpa e Magnano) delle seguenti caratteristiche tecniche:

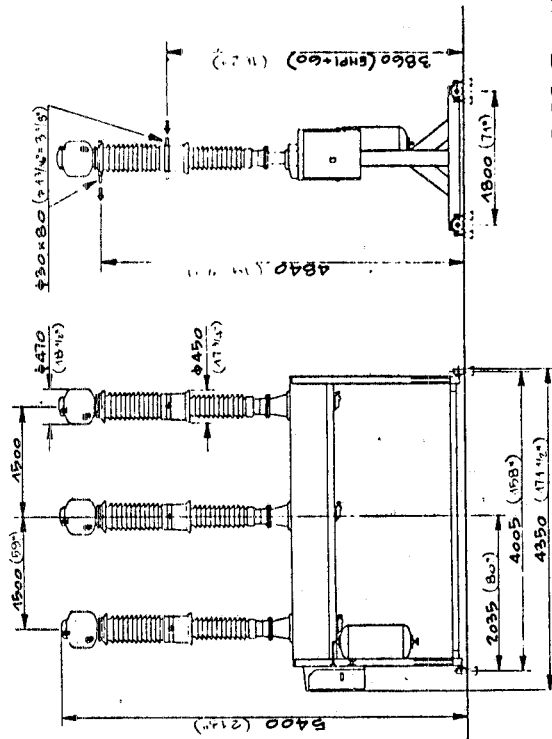
- Tipo	AT 100
- Tensione nominale	80 KV
- Tensione massima	100 KV
- Corrente nominale	1250 A
- Potere di interruzione simmetrico a tensione nominale	18 KA
- Potere di interruzione nominale	2500 MVA
- Potere di chiusura	45 KA
- Tempo di apertura nominale	0,065 sec
- Tempo di interruzione nominale	0,1 sec
- Tempo di chiusura nominale	0,2 sec
- Tensione di prova per 1' sottopiovvia	185 KV
- Peso totale	2430 Kg
- Anno di costruzione	1964
- Comando	Aria compressa

Gli interruttori tripolari AT 100 sono costituiti da tre colonne montate su un unico carrello di sostegno al quale è pure fissato il comando elettropneumatico. Detto comando è unico per tutti e tre i poli ed è del tipo ad aria compressa per la chiusura e libero per l'apertura. Durante la corsa di chiusura vengono caricate le molle di apertura dell'interruttore.

Pur essendo dispositivi che effettuano un limitato numero di manovre annue, questi interruttori devono essere soggetti a manutenzioni periodiche che, per le stesse ragioni indicate per i trasformatori, sono attualmente limitate alle parti non in tensione. Nella Tabella II sono riportate sommariamente le manutenzioni e relative frequenze. Nella Fig. 6 è riportato un disegno di massima degli AT 100 e nella Fig. 7 una sezione di questi interruttori.

TABELLA II - Schema delle manutenzioni di un interruttore A.T. per esterno.

Tipo di ispezione	settimanale	mensile	trimestrale	annuale
Sostituzione olio				X
Rigidità dielettrica				X
Pulizia isolatori		X		
Svuotamento condensa	X			
Livello olio	X			



INTERRUTTORE Tipo "AT 100".
CIRCUIT BREAKER Type "AT 100".
30 kV - 900/1350 A.

FIG. 6 - Prospetto ed ingombri di un AT 100.

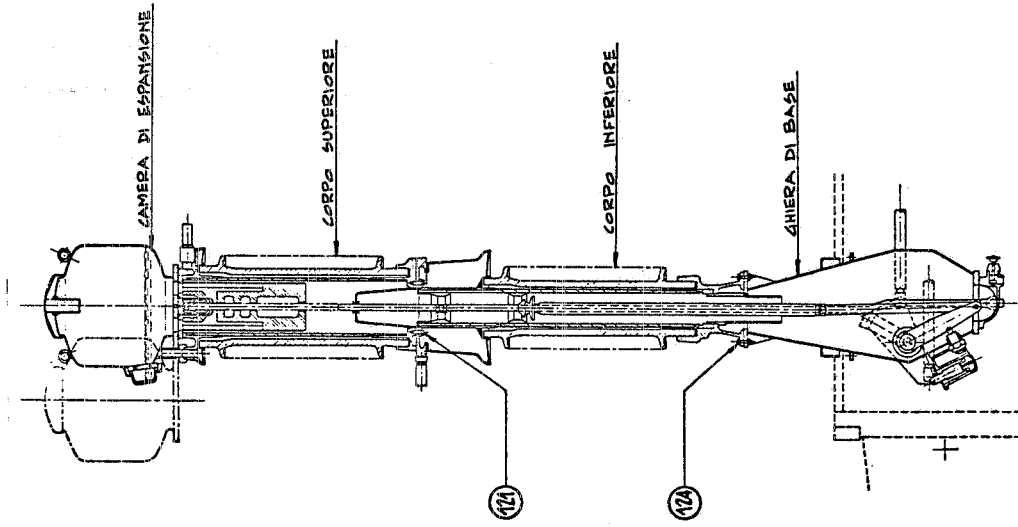


FIG. 7 - Sezione di un interruttore AT 100.

1.1.3. - Interruttori M. T.

Immediatamente a valle di ciascun trasformatore è presente un interruttore di Media Tensione generalmente indicato come "arrivo generale TR"; da esso si diparte il sistema di barre da cui sono derivate tutte le linee di distribuzione della energia elettrica, ciascuna delle quali è protetta in partenza da un interruttore dello stesso tipo di quello generale. Riepiloghiamo le principali caratteristiche elettriche della rete in questo punto del sistema di distribuzione:

- Tensione nominale a vuoto	3300 V
- Corrente nominale massima	960 A
- Frequenza	50 Hz

adoperando la seguente formula per il calcolo della corrente di corto circuito:

$$I = \frac{1.1 \cdot P(\text{MVA})}{\sqrt{3} \cdot \epsilon \cdot V(\text{KV})} \quad (\text{KA}) \quad (1)$$

dove:

il coefficiente 1.1 considera il caso pessimistico di una sovratensione del 10%;

P(MVA): Potenza del trasformatore immediatamente a monte, 5 MVA;

ϵ : Tensione di corto circuito del trasformatore = 0.0827 (8.27%);

V: Tensione nominale in KV = 3.0 KV.

Si ottiene

$$I \cong 13 \text{ KA}$$

a cui corrisponde un potere di interruzione simmetrico nominale pari a:

$$P_{c.c.} = \sqrt{3} V(\text{KV}) I(\text{KA}) \quad (\text{MVA})$$
$$P_{c.c.} \cong 67 \text{ MVA} .$$

Gli interruttori impiegati sono della Sace ed hanno le seguenti caratteristiche elettriche:

- Tipo	SACE DIARC 7.2
- Tensione nominale	7.2 KV
- Livello di isolamento nominale	12 KV
- Corrente nominale	1250 A
- Tensione di tenuta per 1'	35 KV
- Tensione di tenuta ad impulso	75 KV
- Corrente di corto circuito	29 KA
- Potere di interruzione simmetrico	150 MVA
- Potere di chiusura	90 KA
- Tempo di apertura	0.05 sec
- Tempo di interruzione	0.065 sec
- Tempo di chiusura	0.075 sec
- Anno di costruzione	1965

Le camere di interruzione sono a deionizzazione magnetica dell'arco. Due bobine di soffio inserite sul percorso dell'arco, creano il campo magnetico che spinge l'arco stesso in alto verso le piastre isolanti ceramiche a base di ossido di zirconio. Il comando degli interruttori è del tipo a molle precaricate, la carica è eseguita automaticamente per mezzo di un motore o, in caso di emergenza, manualmente.

Al termine della manovra il dispositivo permette di recuperare l'energia eccedente e di riutilizzarla per una parziale ricarica delle molle di chiusura. In Fig. 8 è riportato l'interruttore SACE DIARC 7,2.

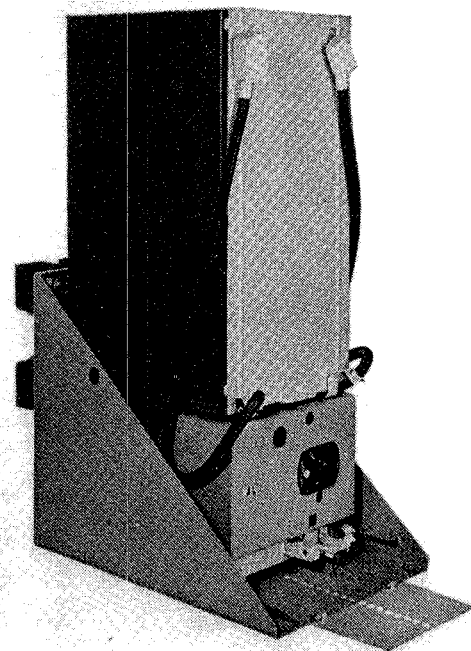


FIG. 8 - Interruttore DIARC.

1. 1. 4. - Rifasamento

Il sistema di rifasamento in uso è del tipo statico in Media Tensione, ossia un banco di condensatori di rifasamento è collegato al sistema di barre di distribuzione a 3 KV.

Con provvedimento n. 35 del 25/9/1979 il Consiglio dei Ministri imponeva l'elevazione del fattore di potenza medio mensile, $\cos \varphi$, a 0,85 a decorrere dal Dicembre 1979 ed a 0,9 dal Dicembre 1981. In conseguenza di ciò si è provveduto al rinnovamento del banco di condensatori ormai obsoleto passando da una potenza installata di 200 KVAR a 300 KVAR fissi, con la possibilità di inserzione di altri 150 KVAR durante i periodi di più gravoso funzionamento dei Laboratori.

Ciò è stato effettuato con la sostituzione del vecchio banco di condensatori monofasi disposti a triangolo con tre unità di rifasamento trifasi ciascuna della potenza di 150 KVAR. Come detto, due unità sono costantemente inserite sulla linea, la terza è inseribile tramite un contattore di media tensione quando l'operatore in Stazione elettrica ne rileva la necessità. In Fig. 9 è riportato lo schema elettrico di massima del sistema di rifasamento.

1. 1. 5. - Gruppo elettrogeno

Il gruppo elettrogeno di soccorso ha il compito di sopperire alle mancanze di energia elettrica dovute principalmente ad interruzioni ENEL.

Funzionamento del gruppo: data l'esigua potenza a disposizione le utenze dei Laboratori sono divise in due gruppi, "carichi normali" e "carichi privilegiati". Alla prima categoria appartengono la maggioranza delle utenze, cioè quelle che vengono

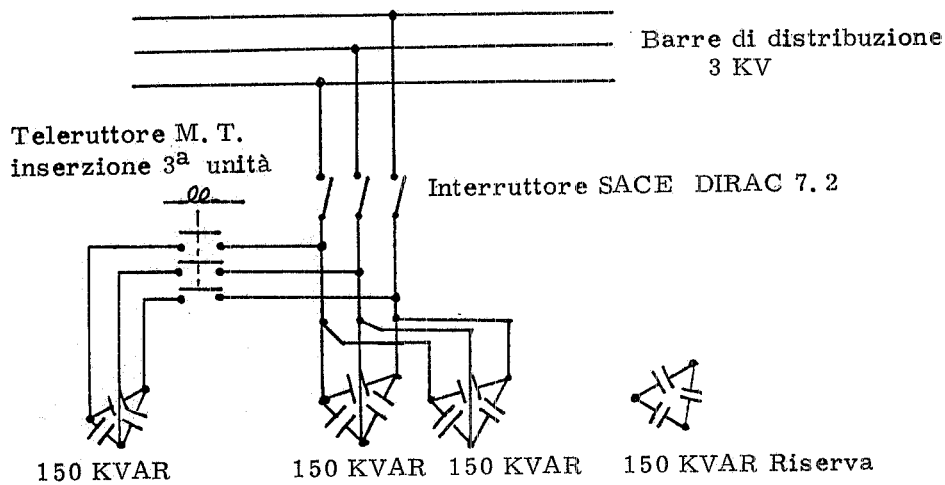


FIG. 9 - Schema impianto di rifasamento.

alimentate esclusivamente tramite la rete ENEL. Alla seconda un ristretto numero che, o per ragioni di sicurezza o per motivi di funzionamento degli impianti, debbono essere alimentate anche durante i periodi di black-out nella fornitura di energia.

Il quadro di comando e controllo del gruppo elettrogeno, recentemente rinnovato, "sente" la presenza di energia elettrica tramite un trasformatore di tensione a valle del trasformatore di potenza da 5 MVA; nel caso di interruzione nella fornitura di energia il quadro di comando fa aprire l'interruttore di parzializzazione, in Fig. 10 indicato come 24, separando fisicamente i due gruppi di carichi, ed immediatamente dopo avvia il gruppo elettrogeno. Il quadro di controllo è mantenuto sempre in servi-

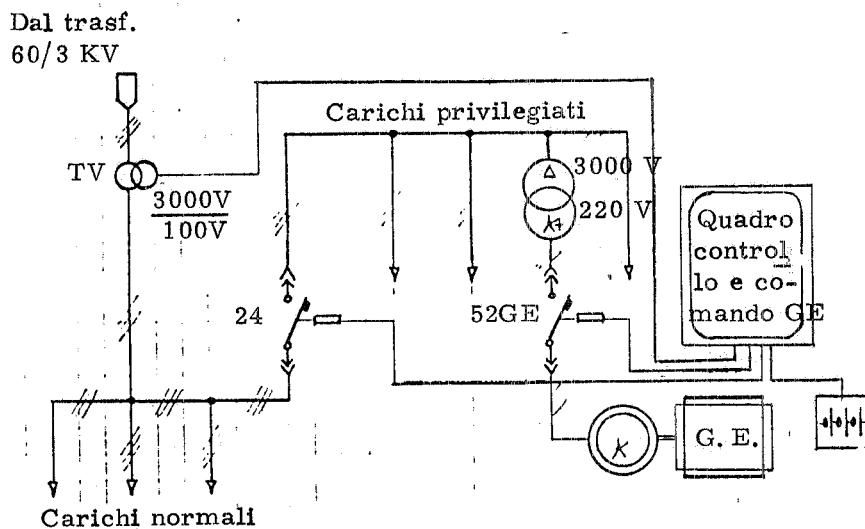


FIG. 10 - Schema elettrico inserzione gruppo elettrogeno.

zio grazie ad un banco di accumulatori da 24 V. Non appena il gruppo ha raggiunto le condizioni nominali di funzionamento, 220 V - 50 Hz, viene chiuso l'interruttore 52GE che per mezzo di un trasformatore 3000/220 V alimentato al contrario, ripristina la fornitura di energia elettrica. Sia durante la fase di inserzione che disinserzione del gruppo resta comunque un black-out totale, di circa due minuti, nella prima fase. Il quadro di controllo è ovviamente protetto da false mancanze di rete ed è in grado di intervenire anche nel caso in cui la tensione scenda al di sotto di una certa soglia, circa l'80% del valore nominale.

Le caratteristiche del gruppo sono:

Gruppo Diesel:

- Costruttore	DORMAN
- Potenza	195 HP
- Giri	1500

Eccitatrice:

- Costruttore	PELLIZZARI
- Potenza	1.5 KW
- Tensione	60 V
- Giri	1500

Generatore sincro 3 fase:

- Costruttore	PELLIZZARI
- Tensione	220/127 V
- Potenza	165 KVA
- Collegamento	Stella con neutro
- Giri	1500
- Frequenza	50 Hz
- Anno di costruzione	1965

In Fig. 10 è riportato lo schema elettrico di inserzione del gruppo elettrogeno sulla rete.

1.2. - Distribuzione M. T.

Come detto, nella stazione elettrica sono presenti 38 celle allacciate al sistema di distribuzione in barra a 3 KV. Di queste:

- n. 2 sono gli arrivi generali dai TR 60/3 KV;
- n. 8 sono riservate alle linee alimentanti il CNEN/ENEA;
- n. 26 sono riservate alle linee alimentanti i LNF;
- n. 1 è un parzializzatore di carichi (normali - privilegiati);
- n. 1 è di parallelo delle barre 3 KV.

Questo ultimo è oggi inutilizzabile a causa della separazione fisica delle barre a 3 KV, tra INFN ed ENEA.

Attualmente le linee in partenza sono così distribuite:

- n. 7 linee alimentanti l'ENEA;
- n. 21 linee alimentanti l'INFN;

si ha quindi una disponibilità in celle-interruttori di 6 unità, di cui una per l'ENEA e 5 per l'INFN.

Complessivamente si dipartono dalla Stazione elettrica cavi per una lunghezza di circa 8 Km.

Le sezioni di maggior impiego sono le seguenti:

1 x 400 mm ² ;	3 x 25 mm ² ;
3 x 50 mm ² ;	3 x 120 mm ² ;
3 x 240 mm ² .	

Il cavo impiegato ha le seguenti caratteristiche elettriche:

- Tensione nominale	6 KV
- Tensione massima di riferimento	7.2 KV
- Grado di isolamento	11
- Temperatura normale di lavoro	90°C
- Temperatura di emergenza	130°C
- Temperatura di corto circuito	250°C
- Conduttore	Rame ricotto
- Resistenza (a seconda della sezione)	0.92 - 0.09 Ω/Km
- Reattanza (a seconda della sezione)	0.25 - 0.18 Ω _s /Km
- Resistenza di isolamento (a seconda della sezione)	1150 - 520 MΩ · Km
- Capacità elettrostatica	0.19 - 0.42 μF/Km

Si ritiene opportuno aprire una parentesi sulla vita media dei cavi per energia. Le argomentazioni che seguono interessano principalmente i cavi in bassa tensione ($V < 1000 V$), per i quali è possibile trovare in letteratura dati statistici per il largo e diffuso impiego che questi tipi di cavi hanno nell'impiantistica elettrica. In particolare ci si riferisce a cavi isolati in gomma butilica (G 5) a base di EPR ed a cavi in PVC. L'uso di cavo in EPR ed in PVC dipende essenzialmente dalla affidabilità nel tempo che si vuole ottenere, come si vedrà in seguito, e dalle condizioni più o meno gravose di funzionamento.

La vita di un cavo può essere espressa analiticamente con la legge di Arrhenius, che si è dimostrata applicabile molto bene per i cavi in PVC, essa però prende in considerazione la degradazione dei materiali dovuta alla sola ossidazione termica. La formula è del tipo:

$$L = A e^{k(1/\theta)}$$

dove:

L = vita del materiale;

θ = temperatura assoluta;

A, k = costanti tipiche del materiale.

Nella Fig. 11 sono riportati gli andamenti per EPR e PVC, in base alle seguenti assunzioni:

- a) Si considera il materiale al termine della vita quando il suo carico di rottura scende sotto 1N/mm^2 od il suo allungamento a rottura scende sotto il 50%.
- b) Per i cavi in PVC è posto un limite superiore di temperatura a 160°C per tempi di 5 s (corto circuito), limite oltre il quale il materiale termoplastico rammolisce con possibilità di spostamento del conduttore rispetto l'isolante.
- c) Per i cavi in EPR, il limite superiore di temperatura è posto a 250°C .

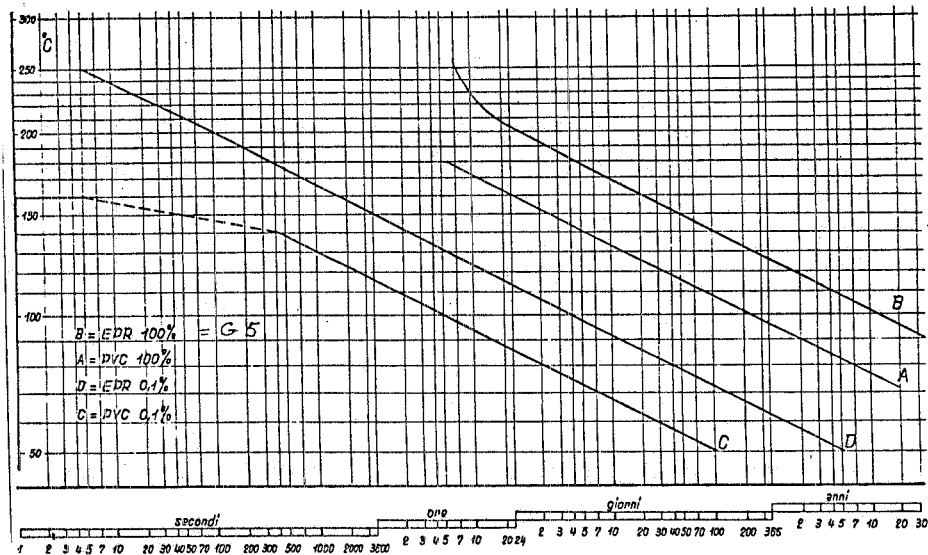


FIG. 11

Per l'isolante in gomma G 5 (EPR) viene di solito fissata una temperatura di esercizio di 90°C e dalla figura si vede che la vita prevedibile è di circa 30 anni; per l'isolante in PVC la temperatura d'esercizio è di 70°C a cui corrisponde una durata di 15/20 anni.

I dati appena riportati vanno però rivisti in funzione di altre considerazioni, ad esempio per i cavi in EPR va tenuto presente che il rivestimento esterno è in PVC, cosa questa che a parità di temperatura di esercizio riduce la vita del cavo; i dati forniti inoltre non tengono in considerazione gli effetti di sovratemperatura dovuta a corto circuiti o sovraccarichi.

Nell'ipotesi che durante l'intera vita del cavo si verificano un centinaio di surriscaldamenti per corto circuiti o sovraccarichi, ciascuno dei quali riduca di un mil

lesimo la vita del cavo, le curve C e D di Fig. 11 danno le coppie di valori temperatura/durata di sovraccorrente ammissibile che comportano tale perdita di vita.

Oltre alla temperatura, altre cause determinano un invecchiamento dei materiali, tra queste ricordiamo:

Umidità: Generalmente si ammette una umidità relativa del 50%, ma spesso le condizioni di esercizio superano tale valore, determinando un decadimento delle proprietà dielettriche sia superficiali che di volume con aumento delle correnti di dispersione.

Agenti chimici corrosivi: Tra questi il più deleterio è lo zolfo, sotto forma di vari composti, la cui influenza riguarda principalmente le parti metalliche delle terminazioni dei cavi.

Vibrazioni: Trasmesse attraverso fondazioni o pavimenti, spesso sono amplificate dalle strutture metalliche degli armadi o dei quadri. Normalmente non superano 0.5 g. Possono dar luogo a disserraggio di connessioni.

Conclusione: Se si tiene presente che la maggior parte della caveria sia in M. T. che in B. T. è in servizio pressochè continuativo dal 1965 in poi, che la quasi totalità dei cavi in M. T. sono in PVC ed in parte in EPR, in base alle statistiche dovremmo essere vicini alla soglia vista di vita media di un cavo. Alcuni incidenti in questi ultimi tempi sono un chiaro campanello di allarme.

1.3. - Cabine di trasformazione

Il sistema di distribuzione dell'energia dei Laboratori di Frascati dell'INFN vede attualmente in servizio n. 7 cabine secondarie di trasformazione M. T. -B. T. con complessivamente 24 trasformatori abbassatori.

1.3.1. - Denominazione, composizione e funzione di ciascuna cabina

Cab. 3 : Cabina Area Alte Energie. - Tale cabina è composta di due trasformatori da 315 KVA, 3000/220/127 V in connessione triangolo stella; essa alimenta l'edificio e l'area omonima.

Cab. 9 : Alimentazione e servizi LINAC. - Essa è costituita da n. 4 trasformatori da 550 KVA, 3000/480 V in connessione triangolo stella; n. 2 trasformatori da 315 KVA, 3000/220/127 V in connessione triangolo stella; n. 1 autotrasformatore da 250 KVA, 220/206/120 V. La cabina provvede alla alimentazione degli impianti di potenza e servizi del LINAC e zona adiacente, più alcune utenze quali l'edificio LADON, il Laboratorio ed il bunker LELA per la parte di potenza dell'esperimento.

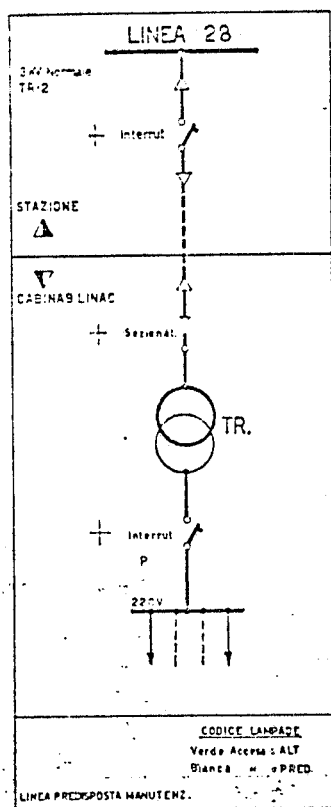
- Cab. 10: Alimentazione Adone A. T. - E' costituita da due trasformatori da 2500 KVA per l'alimentazione degli impianti raddrizzatori Marelli ed Ansaldo per magneti e quadrupoli di Adone. Inoltre ci sono tre linee in M. T. per l'alimentazione degli impianti a R. F.
- Cab. 11: Alimentazione Adone B. T. - E' composta da tre unità di trasformazione da 315 KVA, 3000/220/127 V in connessione triangolo stella, e da una unità da 630 KVA, stesso rapporto di trasformazione e connessione. La cabina è destinata alla alimentazione di tutti i servizi di Adone in B. T. e di alcune utenze di gruppi sperimentali quali il PULS, il PWA, il LADON.
- Cab. 11 bis: MEA - La cabina è composta da un trasformatore da 2500 KVA alimentante il raddrizzatore Marelli già destinato al MEA ed oggi utilizzato per l'Ondulatore, il Wiggler e magneti in prova in sala MEA.
- Cab. 12: Area Laboratori Adone. - Composta da due trasformatori da 315 KVA, 3000/220/127 V in connessione triangolo stella; alimenta attualmente gli edifici dove ha sede la Direzione ed Amministrazione dei Laboratori, gli uffici del personale della Divisione Tecnica e Macchine, l'officina meccanica, il laboratorio di vuoto, i laboratori di elettronica e radiofrequenza, nonché i servizi ausiliari della stazione elettrica 60 KV.
- Cab. 13: Alimentazione e servizi LEALE. - E' costituita da cinque trasformatori di potenza 300 KVA circa per l'alimentazione dei raddrizzatori alimentanti i magneti e da un trasformatore da 315 KVA, 3000/220/127 V in connessione triangolo stella, per l'alimentazione dei servizi in B. T. del LEALE.

Principali caratteristiche dei trasformatori per servizi:

- Tensione primaria e vuoto	3300 V
- Regolazione a vuoto della tens. primaria	± 5%
- Potenza	315/630 KVA
- Tensione di corto circuito	4%
- Tensione secondaria	220/127 V
- Connessione	triangolo-stella
- Stato del neutro	diretto a terra

1. 3. 2. - Costituzione standard di una linea

Il cavo in M. T. proveniente dalla Stazione elettrica arriva ad un sezionatore sotto carico con fusibili, a valle del quale è posto il trasformatore abbassatore. All'uscita del TR è posto il quadro elettrico di B. T. di cabina da cui si dipartono le linee che fanno capo alle singole utenze. In Fig. 12 è riportato lo schema unifilare di tale costituzione.



Applicando la formula (1) per il calcolo della corrente di corto circuito si ottengono i seguenti valori immediatamente a valle del trasformatore (lato 220 V):

Potenza	315 KVA	630 KVA
Corrente di c. c.	18,5 KA	37 KA.

Per la manutenzione dei trasformatori vale quanto già detto per i trasformatori della Stazione elettrica.

FIG. 12 - Costituzione standard di una linea.

L'interruttore generale di arrivo del trasformatore M. T. -B. T. è della ditta SACE tipo Otomax, delle seguenti caratteristiche:

- Tensione nominale	500 V a. c.
- Corrente nominale	800/1600 A
- Potere di interruzione simmetrico	45 KA
- Frequenza	50 Hz
- Potere di chiusura nominale	125 KA
- Corrente ammissibile per 1"	45 KA
- Durata totale interruzione	0,035 sec
- Tempo di chiusura	0,04-0,05 sec.

1.3.3. - Distribuzione in bassa tensione

A valle dell'interruttore generale di arrivo dei trasformatori si dipartono i cavi per la distribuzione in bassa tensione. Il sistema maggiormente in uso è quello TN, in cui il neutro del TR è messo a terra ed inoltre neutro e masse metalliche sono collegate allo stesso impianto di terra, ma il collegamento delle masse è effettuato mediante un conduttore separato dal neutro (distribuzione a 5 conduttori). La Fig. 13 mostra lo schema di principio di tale sistema di distribuzione.

Ciascuna linea è dotata in arrivo di interruttore di protezione magnetotermico SACE, normalizzato nei Laboratori, della serie Modul. In questi ultimi anni si af-

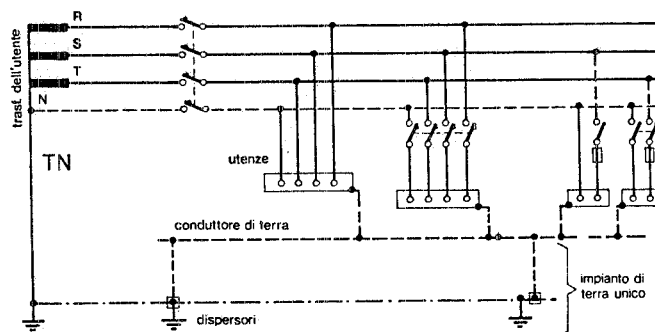


FIG. 13 - Schema di principio del sistema TN.

fianca a tale interruttore un interruttore differenziale per la protezione delle macchine e del personale contro guasti verso terra e contatti accidentali, con sensibilità di 300 mA per la protezione di macchine e 30 mA per quella del personale.

Le linee in B. T. vengono dimensionate in modo tale da mantenere la caduta di tensione di linea entro il 3% del valore nominale alla massima potenza.

2. - PROSPETTIVE FUTURE

Si suddividono le prospettive future in prospettive a breve tempo e prospettive a lungo tempo, intendendosi per le prime quelle che per ragioni che verranno elencate dovrebbero essere portate a termine nel giro di qualche anno ed il cui costo è in un certo senso "limitato"; mentre per le seconde si intendono quelle di costo assai più elevato, la cui realizzazione è anche legata alle prospettive dei Laboratori nei prossimi anni, nonché alla necessità di una programmazione degli sviluppi futuri.

2.1. - Prospettive a breve tempo

- a) Di primaria importanza è il ripristino della continuità del sistema in distribuzione in barra a 3 KV di cui si è precedentemente parlato. Tale necessità è dovuta essenzialmente a ragioni tecniche di sicurezza di funzionamento, in quanto una tale operazione permetterebbe di operare con i due trasformatori 60 KV in parallelo e quindi di poterli usare indistintamente uno di riserva all'altro, permettendo di effettuare tutte le periodiche manutenzioni già descritte. Ciò significherebbe riportare la Stazione elettrica alle condizioni originarie con il non trascurabile vantaggio di un migliore funzionamento e con la possibilità di far fronte ad eventuali guasti sul lato 60 KV senza interrompere la continuità del servizio.
- b) Successiva al punto a) è la necessità di sistemazione delle linee a 3 KV che partono dalla Stazione elettrica, riordinando in maniera organica le celle di distribuzio

ne o bonificando i cavidotti, ormai sovraccarichi, da linee non più utilizzate; ciò anche al fine di avere un aggiornamento degli schemi della Stazione elettrica che, risalendo agli anni 1964-1965, necessitano di essere rifatti, in alcuni casi addirittura fatti, perchè mancanti.

- c) Nuove cabine di trasformazione M. T. -B. T. - In questi ultimi anni sono sorti nei Laboratori alcuni edifici ex novo, quali laboratorio PULS, la Sala Sperimentale PULS, la Sala Sperimentale LADON, il Laboratorio Lela, e sono in corso di ultimazione l'ampliamento dei Laboratori Adone, le Aree attrezzate, la Sala Sperimentale PWA, il Laboratorio LADON, la nuova Sede Centrale. E' ovvio che le utenze già in servizio sono andate a gravare direttamente sul sistema esistente che al contrario non ha avuto alcuno sviluppo. E' perciò necessario prevedere in fretta la creazione di nuove cabine di trasformazione sia per far fronte alle nuove richieste sia perchè alcune aree dei Laboratori sono completamente "vergini" dal punto di vista dell'impiantistica, quali quelle in cui stanno sorgendo la nuova Sede Centrale, le Aree attrezzate, il Laboratorio LADON. Conviene cominciare a pensare in tempo a cosa fare per non incappare in seguito in brutte sorprese.
- d) Infine si vuole ricordare la necessità di adeguarsi alla normativa vigente; ci si riferisce in particolare alle cabine di distribuzione M. T. -B. T. dove le linee da esse partenti debbono essere munite di interruttore di protezione cosa che viene fatta per le nuove linee, e che significherebbe in pratica rifare completamente i quadri di cabina, anche alla luce del fatto che quanto installato circa vent'anni or sono non è più in produzione ed il pur minimo inconveniente sul più banale componente comporta un notevole lavoro in quanto non si tratta più di una semplice sostituzione ma di una reinstallazione.

2.2. - Prospettive a lungo tempo - Rifacimento nuova Stazione elettrica

Già nel 1975 l'allora CNEN provvedeva, anche di fronte all'esigenza di nuovi sviluppi, a realizzare una nuova stazione a 150 KV. I Laboratori di Frascati dell'INFN hanno continuato ad andare avanti con l'esistente, ma è opinione di chi scrive che non si potrà proseguire per lungo tempo a questo modo, sia perchè il livello di tensione di 60 KV è considerato dall'ENEL un fuori-standard, essendo le A. T. normalizzate 150 - 220 - 380 KV (tanto che l'ENEL sta provvedendo alla sostituzione e smantellamento delle linee a 60 KV), sia perchè se i Laboratori sono destinati ad avere una qualsiasi forma di sviluppo, sarà necessario aumentare la potenza installata in A. T.

Un primo studio di fattibilità nel passaggio 60 - 150 KV è già stato fatto; si è visto che è possibile mantenere parte dell'attuale sistema di distribuzione a 3 KV,

rinnovando per intero le apparecchiature in A. T. e prevedendo nuovi sviluppi con un livello di tensione in M. T. a 20 KV, anche qui per necessità di standard. Questo primo studio completato alla metà del 1982 indicava un costo di ristrutturazione di circa 1.500 MLit, con l'esclusione di tutte le opere murarie.

Come accennato la soluzione studiata prevede una distribuzione mista in M. T. a 3 e 20 KV; anche su questo punto bisogna far presente che il livello di 3 KV in Italia è ormai un fuori-standard essendo ormai da tempo normalizzato a 20 KV, come pure è un fuori-standard il livello di B. T. 220 - 127 V, essendo quello standard 380 - 220 V. Questo ultimo fuori-standard è quello che più viene sentito dagli utenti; ormai quasi tutte le macchine elettriche trifasi sono della tensione normalizzata, così come per le apparecchiature monofasi la tensione di 127 V è caduta in disuso (eccetto alcune apparecchiature provenienti dagli USA), tanto che in questi ultimi tempi si è visto un proliferare di trasformatori innalzatori di tensione da 220 - 380 V. E' necessario incominciare a pensare per i prossimi anni ad una massiccia opera di trasformazione dei livelli di B. T. ai nuovi valori standard, cosa che l'ENEA ha già avviato da tempo, per non trovarci un domani più o meno lontano ad avere un sistema di distribuzione in B. T. a 220 - 127 V immediatamente rievato a 380 - 220 V con notevole aggravio di spesa.

Per terminare il quadro delle prospettive future, si potrebbero apportare alcune modifiche per migliorare l'efficienza del servizio, quali l'installazione di sistemi di rifasamento automatico locali, migliorando il $\cos \varphi$ dei singoli utenti o gruppi di utenti, diminuendo le correnti reattive e quindi le perdite in gioco nonché le cadute di tensione lungo le linee.

Un'altra possibilità sarebbe quella di inserire un gruppo statico di continuità in aggiunta al Gruppo Elettrogeno, in modo tale da garantire la completa assenza di interruzione nella fornitura di energia elettrica per quelle utenze definite "privilegiate".

3. - CONCLUSIONI

Dalla pur stringata panoramica fatta si possono trarre alcune conclusioni:

- a) La stragrande maggioranza dei componenti del sistema di distribuzione di energia elettrica è stata realizzata quasi venti anni or sono ed è in servizio continuativo da oltre quindici. L'invecchiamento dei materiali è una realtà con la quale sempre più spesso ci troviamo e ci troveremo di fronte.
- b) Rinnovare, oltre che significare il ripristino del livello di affidabilità ed il miglioramento del servizio, vuol dire anche prevedere e programmare. Ma la program

mazione è strettamente connessa ai programmi dei Laboratori e non è pensabile prevedere una qualsiasi forma di sviluppo senza parallelamente potenziare il sistema di distribuzione dell'energia e le infrastrutture in generale.

Infine, andando un attimo fuori tema, non è possibile gestire una tale quantità di impianti con soltanto due operatori elettricisti ed un perito elettrotecnico. E' indispensabile che si vada in tempi brevi al completamento e ad un realistico potenziamento dell'organico, se si vuole che un bene così importante dei Laboratori possa essere conservato al meglio nel futuro.

BIBLIOGRAFIA

- (1) - Lep. Note 415
- (2) - Sgalletta e Tomazzolli, Trasformatori di distribuzione per impianti industriali, L'Elettrotecnica, Nov. 1982.
- (3) - Bossoli e Sesto, Impianti elettrici (Ed. Delfino).
- (4) - Giussani e Guglielmetti, Esigenze dei cavi per bassa tensione dal punto di vista delle sovraccorrenti, Memoria presentata alle "Giornate di Studio dell'INTEL 78".
- (5) - Andrietti, Lanteri e Nozza, Caratteristiche dei componenti in relazione alle condizioni di installazione, Memorie presentate alle "Giornate di Studio dell'INTEL 80".