

ETDE-IT-93-147 ¹⁹⁹³

ENEL

IT93E0368

0300
0368

**DIREZIONE STUDI E RICERCHE
CENTRO DI RICERCA ELETTRICA**

**Relazione
410.112/3**

**LA RIDUZIONE DI INGOMBRO DELLE LINEE
DI TRASMISSIONE NEI CONFRONTI DEI
VINCOLI D'ELETTRICI E DEI DISTURSI
PER EFFETTO CORONA**

Autori:

**F. DEPONTI, G.P. FINI, A. PORRINO,
F. ROSA**

GIUGNO 1992

**93° RIUNIONE ANNUALE
AEI - 1992 - NARATEA**

MINISTERO DELLE ENERGIE E DEL MARE

ETDE-IT--93-149

DE93 784619

**LA RIDUZIONE DI INGOMBRO DELLE LINEE
DI TRASMISSIONE NEI CONFRONTI DEI
VINCOLI DIELETRICI E DEI DISTURBI
PER EFFETTO CORONA**

Autori:

**F. DEPONTI, G.P. PINI, A. PORRINO,
F. ROSA**

MASTER

GIUGNO 1992

**93° RIUNIONE ANNUALE
AEI - 1992 - MARATEA**

**DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
PURCHASE SALES PROHIBITED** *RB*

LA RIDUZIONE DI INGOMBRO DELLE LINEE DI TRASMISSIONE NEI CONFRONTI DEI VINCOLI DIELETTICI E DEI DISTURBI PER EFFETTO CORONA

F. Deponi, G.P. Fini, A. Porrino, F. Rosa

1 - INTRODUZIONE

La riduzione dell'ingombro delle linee elettriche di trasmissione è un elemento di notevole rilevanza dal punto di vista dell'impatto sul territorio del sistema elettrico. La salvaguardia dell'ambiente, unita alla crescente sensibilità della popolazione verso questo problema, impongono vincoli sempre più stringenti alla identificazione di nuovi corridoi di servizi degli elettrodotti. Un migliore sfruttamento dei corridoi già esistenti ottenuto mediante il riclassamento ad una tensione superiore delle linee ed il loro compattamento, consentirebbe in alcuni casi di rispondere alle esigenze suddette e, nello stesso tempo, di soddisfare la sempre crescente richiesta di energia da parte dell'utenza. Ovviamente la soluzione del compattamento potrebbe essere adottata anche per la costruzione di nuove linee o tratte di esse situate in zone di particolare rilevanza paesaggistica o ad alta densità di popolazione. In entrambi i casi il compattamento consente un aumento della potenza trasportata per unità di spazio occupato dalla linea, rispetto ad una soluzione di tipo tradizionale. L'ottenimento di un miglior impatto visivo sul territorio non deve comunque andare a scapito di altre esigenze ambientali, quali il contenimento dei livelli di campo elettrico e magnetico al suolo, di radiodisturbo e di disturbo acustico; esigenze rispettate dalle linee di trasmissione di tipo tradizionale.

La presente memoria si propone di verificare, in linea generale, quali margini esistano al compattamento delle linee di trasmissione a 380 kV dal punto di vista della tenuta degli isolamenti (a sovratensione di manovra, ad impulso atmosferico, ed a frequenza industriale in condizioni di inquinamento superficiale), e da quello dei livelli di radiodisturbo e di disturbo acustico.

p.i. F. Deponi, ing. G.P. Fini, dott. A. Porrino,
p.i. F. Rosa
ENEL-DIR Centro di Ricerca Elettrica
Cologno Monzese - MI.

2 - TENUTE DIELETTICHE FASE-FASE ALLE SOVRATENSIONI DI MANOVRA

Come noto, un fattore rilevante per il dimensionamento delle distanze di isolamento in aria di linee tradizionali a 380 kV dell'ENEL è la sovratensione di manovra [1]. Poiché in dette linee vi sono parti metalliche del sostegno tra le fasi, la caratteristica dell'isolamento a sovratensione di manovra può dirsi completamente rappresentata dalla tenuta fase-terra. Per il compattamento delle linee a 380 kV si suppone che venga utilizzata la soluzione con mensole isolanti e con i conduttori di una terza sovrapposti dallo stesso lato del sostegno. Detta soluzione è già stata utilizzata dall'ENEL per la costruzione di alcune linee compatte al livello di tensione suddetto [1], [2]. L'assenza di parti metalliche tra le fasi consente di ridurre la distanza tra i conduttori, quindi la caratteristica dell'isolamento a sovratensione di manovra è quella tipica di un isolamento fase-fase, nel quale anche una eventuale scarica verso terra di una fase è fortemente influenzata dalle sovratensioni presenti sulle altre due fasi.

L'ENEL-CREI, presso i laboratori del CESI, ha effettuato una indagine sulle tenute fase-fase a sovratensione di manovra di tipiche configurazioni di isolamento per linee compatte a 380 kV con mensole isolanti. In Fig. 1 viene mostrata una schematizzazione delle configurazioni provate, mentre nella fotografia di Fig. 2 si evidenzia l'intera struttura utilizzata, formata da un simulacro di testa di sostegno e da tre mensole isolanti con i rispettivi conduttori trinati ($\varnothing 31,5$ mm, interasse 400 mm). Gli elementi strutturali di ciascuna mensola, tirante e puntone, erano costituiti da isolatori compositi in materiale organico [3].

Le prove sono state effettuate applicando l'impulso di polarità positiva alla fase centrale, e gli impulsi di polarità negativa, aventi uguali valori di cresta U_c , alle due rimanenti fasi. Tale combinazione di sollecitazioni era risultata, in prove preliminari, leggermente più critica rispetto alle altre possibili (impulso positivo applicato alla fase inferiore o a quella superiore).

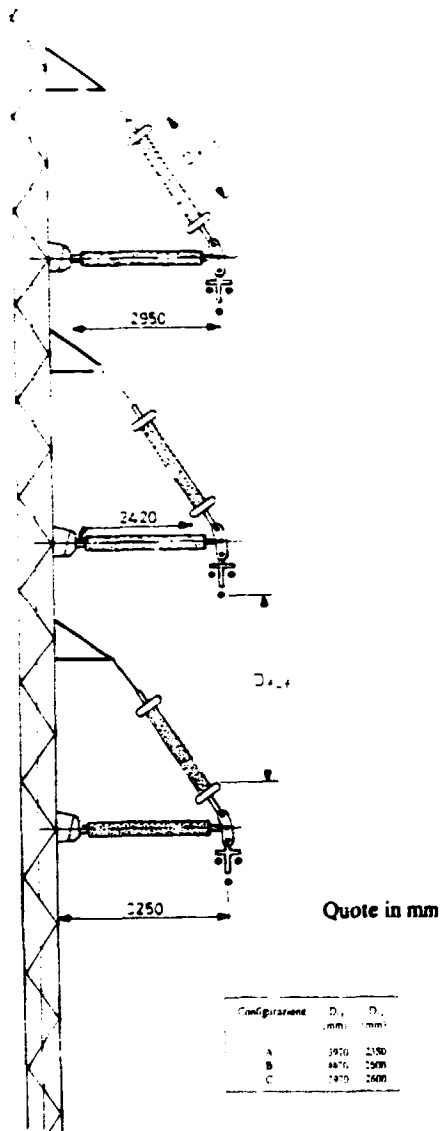


Fig. 1 - Schematizzazione delle configurazioni utilizzate per le prove a sovratensione di manovra.

È stata eseguita la ricerca della tensione di scarica 50% con metodo "up-and-down", facendo variare il valore di cresta, U^* , dell'impulso positivo e mantenendo costanti i valori di cresta di quelli negativi. Sono state utilizzate per entrambe le polarità le onde normalizzate 250/2500 μ s.

Sono state sottoposte a prova tre configurazioni aventi le seguenti distanze minime spinterometriche fase-fase, D_{ff} , e fase-terra (lungo il tirante) D_{fg} .

Configurazione	D_{ff} (mm)	D_{fg} (mm)	D_{ff}/D_{fg}
A	3970	2380	1,67
B	4470	2600	1,72
C	3970	2600	1,53

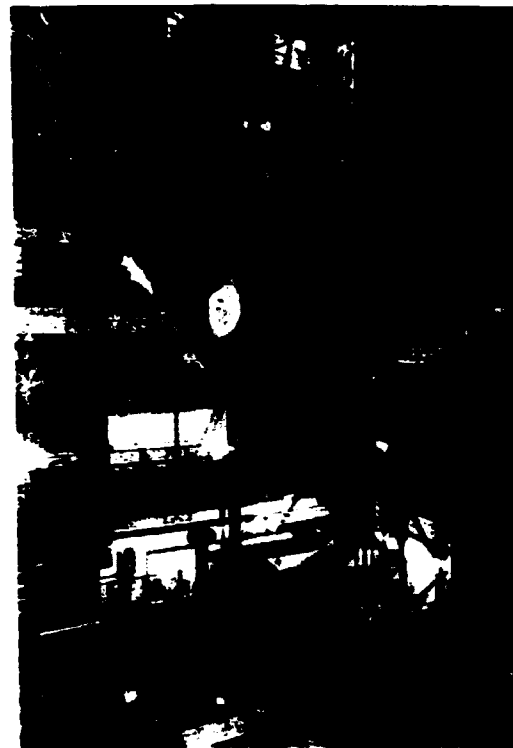


Fig. 2 - Fotografia della struttura utilizzata in laboratorio per le prove a sovratensione di manovra: simulacro di sostegno, mensole isolanti e conduttori trinati.

Alle distanze D_{ff} uguali a 3970 mm e 4470 mm, corrispondono rispettivamente le distanze di 5800 mm e 6300 mm fra i baricentri di due conduttori trinati contigui.

Nelle tre configurazioni in prova la distanza spinterometrica fase-terra lungo il puntone, pari a 2420 mm, è stata mantenuta costante, per ragioni pratiche.

Per ciascuna configurazione la ricerca della tensione di scarica è stata effettuata per diversi valori di U^* (il che equivale a dire per diversi valori del rapporto H fra U^* e $U_{50\%}^*$); nella Fig. 3 sono stati riportati i risultati ottenuti. Nella stessa figura, accanto ai singoli risultati, viene riportata la percentuale delle scariche fase-fase ottenute, rispetto al totale delle scariche. Come si può osservare per H uguale a 0, ($U^*=0$), le scariche sono state di tipo fase-terra; con l'aumentare di U^* aumenta generalmente la percentuale delle scariche fase-fase. Le scariche fase-terra hanno sempre interessato la mensola centrale il cui conduttore, come già osservato, era alimentato con l'impulso di polarità positiva. Le scariche fase-fase sono avvenute tra l'anello spinterometrico inferiore del tirante della mensola centrale ed il conduttore della mensola superiore.

Sulla base dei risultati ottenuti si possono fare le seguenti considerazioni.

Le caratteristiche di scarica delle configurazioni A e B sono molto simili tra di loro, sia per quanto riguarda l'aumento in funzione del rapporto H tra le componenti della sollecitazione, sia per quanto

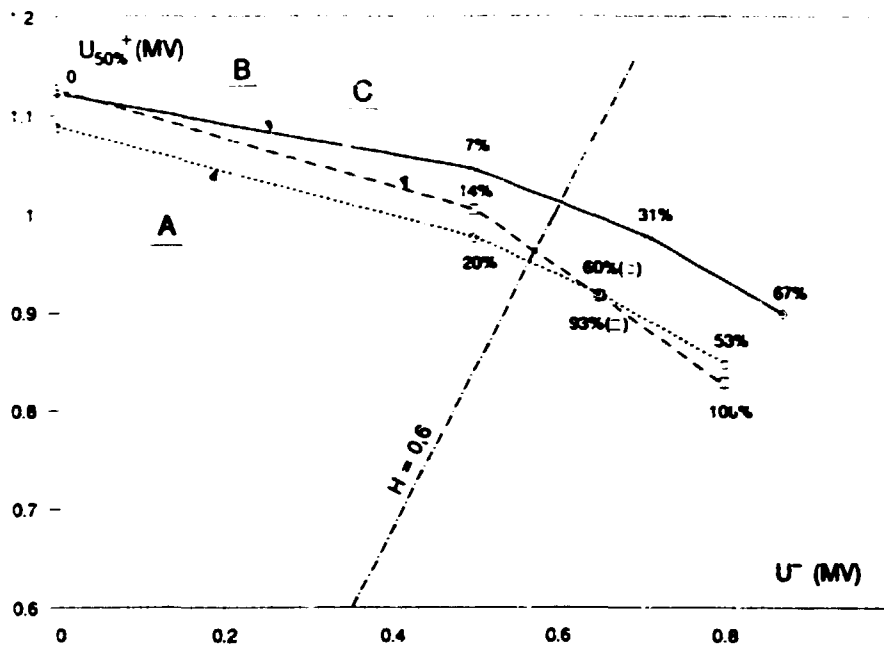


Fig. 3 - Caratteristiche di tenuta fase-fase a sovratensione di manovra per le tre configurazioni A, B e C indicate in Fig. 1. Valori della tensione di scarica 50% dell'impulso positivo, $U_{50\%}^+$, in funzione del valore di cresta dell'impulso negativo, U^- . Vengono indicate le percentuali delle scariche tra le fasi, rispetto al totale delle scariche ottenute. H: rapporto tra U^- e $U_{50\%}^+$.

riguarda il valore percentuale di scariche fase-fase rispetto al totale. Questo risultato rispecchia il fatto che i rapporti tra $D_{f,t}$ e $D_{t,t}$ sono molto prossimi tra di loro. Ovviamente la configurazione B, avendo delle distanze $D_{f,t}$ e $D_{t,t}$ maggiori di quelle della configurazione A, presenta anche valori di $U_{50\%}^+$ superiori rispetto a quelli di quest'ultima.

La caratteristica della configurazione C è intermedia rispetto a quelle delle altre due configurazioni. In particolare, quando la componente negativa è nulla, ($H=0$), essa coincide con la caratteristica della configurazione B, poiché si hanno solo scariche fase-terra e le distanze fase-terra, $D_{f,t}$, delle configurazioni C e B sono uguali fra loro. Quando la componente negativa diventa significativa rispetto a quella positiva, aumentano le scariche fase-fase e la caratteristica diventa praticamente coincidente con quella della configurazione A, che ha la medesima distanza fase-fase, $D_{f,f}$. Per i valori di H uguali a 0 e 0,5 alcune scariche fase-terra hanno interessato il percorso in aria lungo il puntone e precisamente tra l'anello spinterometrico inferiore del tirante e la terminazione metallica lato sostegno del puntone. Il loro numero non ha però mostrato una dipendenza significativa dalla distanza fase-fase, $D_{f,f}$, e da quella fase-terra lungo il tirante, $D_{f,t}$. Nell'ambito delle prove effettuate, le distanze $D_{f,t}$ e $D_{t,t}$ si possono perciò ritenere significative per l'identificazione della configurazione di isolamento.

Quanto detto sopra vale nel caso che la distanza spinterometrica lungo il puntone (e quindi la lunghezza del puntone) non vari sostanzialmente rispetto a quella utilizzata nelle prove.

Le seguenti espressioni consentono di interpolare le caratteristiche di tenuta 50% per le configurazioni A, B e C in funzione della minima distanza fase-terra $D_{f,t}$ (lungo il tirante) e della minima distanza fase-fase $D_{f,f}$ nei punti in cui H è uguale a 0 e 0,6 rispettivamente. Il punto della caratteristica di tenuta $U_{50\%}^+$ per H uguale a 0,6 risulta di particolare interesse, come si mostrerà in seguito, dal punto di vista del coordinamento dell'isolamento.

$$U_{50\%}^+ = k \cdot 500 \cdot D_{f,t}^{0,6} \quad \begin{cases} U^- = 0 \\ H = U^- / U_{50\%}^+ = 0 \\ k = 1,28 \end{cases}$$

$$U_{50\%}^+ = k \cdot 500 \cdot D_{f,t}^{0,6} \quad \begin{cases} U^- = U_{50\%}^+ \cdot 0,6 \\ H = U^- / U_{50\%}^+ = 0,6 \\ k = 0,83 \end{cases}$$

($D_{f,t}$ e $D_{f,f}$ in metri, $U_{50\%}^+$ in kV)

Le stesse espressioni possono essere anche utilizzate per stimare le caratteristiche di tenuta fase-fase di configurazioni omotetiche a quelle provate, A, B, C, in un ragionevole intervallo di variazione delle dimensioni.

3 - COORDINAMENTO DELL'ISOLAMENTO ALLE SOVRATENSIONI DI MANOVRA FASE-FASE

Il livello di sovratensione fase-fase rappresentativo delle sollecitazioni dielettriche dovute a manovra degli interruttori di linea viene convenzionalmente indicato nel seguito per mezzo del livello di sovratensione $U_{2\%}$ fase-terra assumendo un rapporto tra la sovratensione fase-fase e quella fase-terra pari a 1,6 [4] (il livello di sovratensione $U_{2\%}$ è il livello che viene superato nel 2% dei casi). Questa convenzione ha il vantaggio di consentire un facile riferimento al più usuale coordinamento dell'isolamento fase-terra. A tale proposito è utile ricordare che l'isolamento delle linee a 380 kV dell'ENEL, aventi configurazioni di isolamento tradizionali (con parti metalliche tra le fasi), è stato progettato con riferimento a un livello di sovratensione $U_{2\%}$ fase-terra di 2,5 p.u..

Le sovratensioni di manovra che risultano più critiche per l'isolamento delle linee compatte non sono quelle con il più elevato valore di sovratensione positiva fase-terra, come per le linee tradizionali, ma quelle le cui componenti U^+ e U^- vengono a trovare più vicine alla caratteristica di tenuta 50% indicata in Fig. 3. Il rapporto H tra le componenti U^+ e U^- per le sovratensioni di manovra più gravose risulta essere all'incirca pari a 0,6 [5]. Una prima conseguenza di questa osservazione è che l'utilizzo di una configurazione di isolamento di tipo C del paragrafo precedente anziché una di tipo A (C è uguale ad A tranne che per una maggior lunghezza della distanza fase-terra lungo il tirante) non comporta una diversità di rilievo nel comportamento a manovra della linea poiché nella zona di interesse ($H=0,6$) le caratteristiche di tenuta fase-fase sono praticamente coincidenti, come già osservato nel paragrafo precedente. Ovviamente la soluzione C potrebbe essere sfruttata per aumentare la tenuta a frequenza industriale del solo tirante in condizioni di contaminazione superficiale.

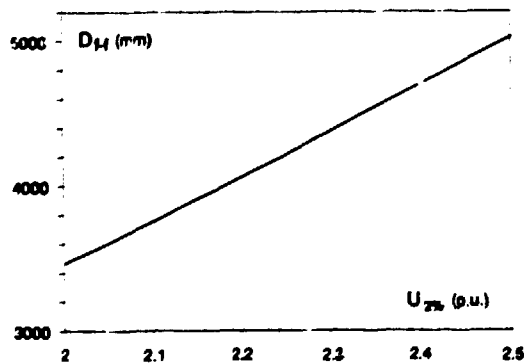


Fig. 4 - Valore della distanza minima fase-fase $D_{f,f}$ di configurazioni omotetiche rispetto a quelle A e B provate in laboratorio, che garantisce un rischio di cedimento dell'isolamento per manovra $R=10^2$, in funzione del livello di sovratensione identificato dal valore fase-terra $U_{2\%}$ (è stato assunto un rapporto di 1,6 tra la sovratensione tra le fasi e quella verso terra).

Sulla base dei risultati di laboratorio e di un approccio statistico semplificato [5], per configurazioni omotetiche a quelle A e B è stata calcolata la minima distanza fase-fase, $D_{f,f}$, che garantisce un rischio di cedimento dell'isolamento per manovra $R=10^2$, in funzione del livello di sovratensione fase-terra $U_{2\%}$. Allo scopo sono state utilizzate le espressioni indicate al paragrafo precedente che danno i valori $U_{50\%}$ in funzione della distanza minima fase-fase $D_{f,f}$ e fase-terra $D_{f,t}$. I risultati ottenuti sono mostrati in Fig. 4.

4 - SOVRATENSIONI AMMISSIBILI IN RETE E LIVELLI MINIMI DI DIMENSIONAMENTO A MANOVRA

Le distanze in aria fase-terra delle linee di trasmissione a 380 kV unificate dell'ENEL sono state progettate sulla base di un livello di sovratensione di manovra $U_{2\%}$ di 2,5 p.u.. Con queste distanze si possono effettuare manovre di messa in tensione e di richiusura monofase, con un rischio accettabile di scarica per manovra di 10^2 , su linee caratterizzate da un livello di sovratensione di 2,5 p.u. Solo le linee lunghe circa 300 km, valore elevato per la rete italiana, presentano un livello di sovratensione pari a quello di progetto; sulle linee più corte si hanno livelli di sovratensione inferiori. Ricorrendo a mezzi per il contenimento delle sovratensioni quali le resistenze di preinserzione sugli interruttori o gli scaricatori in linea, si possono ottenere livelli di sovratensione piuttosto contenuti anche su linee lunghe.

Una valutazione di massima dei livelli di sovratensione, per manovre di messa in tensione e di richiusura monofase, in funzione della lunghezza di linea, è data in Fig. 5. Nella stessa figura si riporta anche il risultato di misure del livello di sovratensione (simbolo \bullet), inferiore a 2 p.u., su una linea lunga 270 km, per

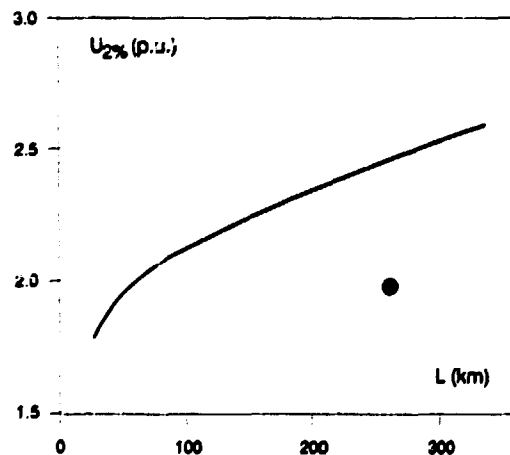


Fig. 5 - Andamento dei livelli di sovratensione di manovra $U_{2\%}$ in funzione della lunghezza L di una linea a 380 kV, per messa in tensione e richiusura monofase della stessa. (\bullet) risultato di misure di livello di sovratensione su una linea lunga 270 km per messa in tensione con interruttori dotati di resistenze di preinserzione di 500 ohm.

manovre di messa in tensione con interruttori dotati di resistenze di preinserzione di 500 ohm. Si può osservare che, con tali mezzi di controllo delle sovratensioni, su una linea di 270 km si ottiene un livello di sovratensione paragonabile a quello tipico di una linea di circa 50 km, senza resistenze di preinserzione.

Considerando l'efficacia delle resistenze di preinserzione e il fatto che il sistema di trasmissione dell'ENEL è divenuto molto interconnesso (il 50 % delle linee a 380 kV ha una lunghezza inferiore a 50 km e il 90% di esse una lunghezza inferiore a 150 km) si potrebbe adottare anche un livello di sovratensione di progetto inferiore a 2,5 p.u. e di conseguenza distanze di isolamento inferiori a quelle delle linee attuali.

Nel caso delle linee compatte si possono fare, a titolo di esempio, le seguenti considerazioni. La configurazione di isolamento di tipo A provata in laboratorio e caratterizzata da una distanza minima fase-fase di 3970 mm, è compatibile con livelli di sovratensione U_{50} di poco inferiori a 2,2 p.u. come si può evincere dalla Fig. 4. Tale livello di sovratensione, vedasi Fig. 5, si ha per linee lunghe circa 130 km, non dotate di mezzi di limitazione delle sovratensioni. Una configurazione di isolamento omotetica alla configurazione A, ma caratterizzata da una distanza minima fase-fase di 3500 mm, è compatibile con un livello di sovratensione di 2 p.u., vedasi Fig. 4, e quindi si può adottare su linee lunghe fino a circa 60 km, vedasi Fig. 5, senza mezzi di controllo delle sovratensioni, o, addirittura, su linee lunghe fino a circa 270 km, dotando gli interruttori di resistenze di preinserzione.

5 - DIMENSIONAMENTO DELLA TENUTA SUPERFICIALE A FREQUENZA INDUSTRIALE DEGLI ISOLATORI IN CONDIZIONI DI CONTAMINAZIONE.

Dal punto di vista della tenuta superficiale a frequenza industriale in condizioni di inquinamento, l'elemento più critico di una mensola isolante risulta essere, generalmente, il puntone (*).

Per tale motivo, si farà riferimento nel seguito alla tenuta superficiale dei puntoni, sia in porcellana, sia in materiale organico, anziché a quella dei tiranti.

Nella Fig. 6 è stato riportato l'andamento stimato della salinità di tenuta di puntoni in porcellana in funzione della loro lunghezza totale L_p (lunghezza isolante più parti metalliche) e per due rapporti Q (2,5 e 3) tra la linea di fuga e la suddetta lunghezza.

Il diametro del puntone è stato fatto variare con la lunghezza in modo da mantenere costante lo sforzo massimo di trazione in presenza di un carico di punta di 120/2,5 kN (**), ed in concomitanza della massima eccentricità dell'isolatore ammessa dalle norme IEC 168 e di carichi trasversali concordi con tale eccentricità (peso proprio più spinta del vento di 800 N/m²). In queste ipotesi il diametro risulta circa proporzionale alla lunghezza elevata a 0,7. Come valore indicativo un puntone in porcellana della lunghezza di 3000 mm dovrebbe avere il diametro del fusto di 86 mm. La variazione del diametro con la lunghezza è la causa della concavità delle curve mostrate in Fig. 6.

Gli andamenti della salinità di tenuta in funzione dei parametri dimensionali (lunghezza e diametro) sono stati

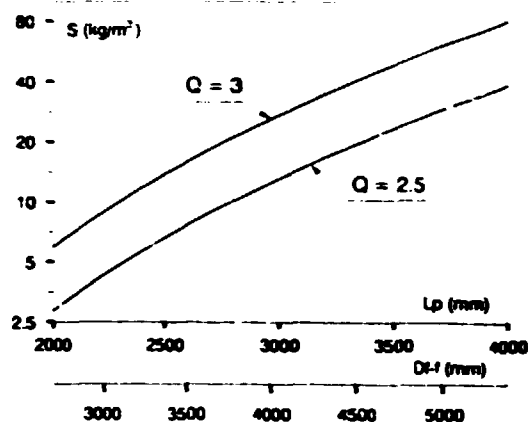


Fig. 6 - Andamento stimato della salinità di tenuta S , di puntoni in porcellana per linee a 380 kV in funzione della loro lunghezza totale, L_p , per due diversi rapporti Q tra linea di fuga e lunghezza totale (lunghezza isolante più parti metalliche). Corrispondenza tra la lunghezza totale L_p e la minima distanza spinterometrica fase-fase, $D_{f,p}$, per configurazioni di isolamento omotetiche alla configurazione A (Fig. 1).

valutati sulla base di leggi di variazione ottenute su isolatori portanti con profilo unificato ENEL, provati in posizione verticale. Per tener conto della posizione orizzontale dei puntoni, la salinità di tenuta è stata diminuita di mezzo gradino.

Per quanto riguarda la soluzione con isolatori in materiale organico, c'è da rilevare che questi ultimi, dopo un certo periodo di esercizio, presentano generalmente una diminuzione delle caratteristiche di tenuta superficiale rispetto a quelle rilevabili da nuovi [6]. Tale diminuzione è messa in evidenza anche dopo prove di invecchiamento accelerato elettrico-ambientale in

(*) Nel caso di tirante realizzato con catene di isolatori cappa e perno, e puntone in porcellana, sul tirante si può realizzare una linea di fuga per unità di lunghezza superiore, utilizzando per esempio isolatori cappa e perno di tipo antiinquinamento. Anche nel caso di lunghezze a disposizione del tirante inferiori del 10-15% rispetto a quelle per il puntone, si riescono ancora ad ottenere sul tirante linee di fuga superiori [2].

Nel caso di mensole isolanti con elementi in materiale organico, anche se si riesce a realizzare per il puntone un profilo uguale a quello del tirante (e quindi una linea di fuga totale praticamente uguale) il puntone risulta svantaggiato a causa del maggior diametro del fusto. Infatti un incremento del diametro di circa il 60% comporta una diminuzione della salinità di tenuta, a parità di altre condizioni, di circa mezzo gradino (mezzo gradino corrisponde a un rapporto tra i valori di 2^{1/2}).

Per entrambe le soluzioni costruttive, infine, il puntone è penalizzato per la sua posizione orizzontale, rispetto a quella obliqua del tirante.

(**) 120 kN è il carico di rottura nominale specificato a trazione e a compressione da verificare con una apposita prova in presenza di eccentricità dovuta alle tolleranze sulla costruzione e alla presenza di carichi trasversali.

laboratorio [7], [8]. Le valutazioni sulle tenute superficiali andranno pertanto fatte con riferimento a isolatori adeguatamente invecchiati.

Le prime esperienze acquisite in laboratorio su puntoni in materiale organico condizionati con prove di invecchiamento consentono di affermare che, a parità di linea di fuga specifica, essi possono presentare, nell'ipotesi più cautelativa, una salinità di tenuta uguale a quella di puntoni in porcellana aventi all'incirca lo stesso diametro del fusto. Si può peraltro ipotizzare, in base alla più vasta esperienza acquisita sugli isolatori di sospensione, che alcuni tipi di materiali organici potrebbero consentire una migliore salinità di tenuta dei puntoni quantizzabile anche in più di un gradino (un gradino di salinità corrisponde a un rapporto tra i valori di 2).

In base a quanto detto sopra, le curve di Fig. 6, in attesa di ulteriori risultati sperimentali, possono essere ritenute valide anche per puntoni in materiale organico aventi all'incirca le stesse caratteristiche dimensionali e nell'ipotesi di non avere nessun vantaggio sulla salinità di tenuta derivante dal tipo di materiale superficiale.

A proposito delle caratteristiche dimensionali è utile rilevare che, dimensionando i puntoni in materiale organico in base ad un carico critico di punta uguale al carico di rottura nominale specificato dei puntoni in porcellana (120 kN nell'esempio della Fig. 6), i diametri dei fusti, per le due soluzioni, risultano praticamente uguali.

Dall'esame di Fig. 6 si possono fare le seguenti considerazioni preliminari.

- Con puntoni in porcellana di circa 4000 mm di lunghezza totale, e con un rapporto Q tra linea di fuga e lunghezza totale di 2,5, si può ottenere una salinità di tenuta di 40 kg/m², realizzando così delle soluzioni che possono coprire con adeguati margini di sicurezza zone definibili a inquinamento medio secondo la Pubblicazione IEC 815. Per zone definibili a inquinamento leggero o nullo sono sufficienti puntoni di lunghezza totale di 2800 mm circa che presentano una salinità di tenuta di 10 kg/m². Si ritiene difficile poter realizzare, con isolatori in porcellana, dei rapporti Q più elevati di 2,5 mantenendo pienamente efficiente la linea di fuga stessa.
- Con puntoni in materiale organico, nell'ipotesi di non aver nessun vantaggio dal tipo di materiale superficiale, valgono le considerazioni fatte per i puntoni in porcellana. Qualche incremento del rapporto Q potrebbe essere realizzato, mantenendo ancora efficiente la linea di fuga. Un incremento di Q da 2,5 a 3 potrebbe comportare un incremento di poco più di un gradino di salinità. Questo consentirebbe di ottenere, con un puntone di circa 3000 mm, una salinità di tenuta di 28 kg/m², e di coprire così una parte delle zone classificate ad inquinamento medio. Ulteriori vantaggi potrebbero derivare da un miglior comportamento dovuto al tipo di materiale superficiale.

A conclusione di quanto detto sulla tenuta superficiale in ambiente contaminato, occorre

sottolineare che la scelta della soluzione per un determinato ambiente è molto più critica per le linee compatte che per le linee tradizionali. In queste ultime esiste infatti spesso la possibilità di aumentare, entro certi limiti, la tenuta superficiale aumentando il numero degli isolatori delle catene, mentre per le linee compatte una scelta della tenuta superficiale che si rivelasse inadeguata porrebbe problemi decisamente più gravi.

Nella Fig. 6 è stata inserita in ascissa anche la minima distanza tra e-fase, $D_{e,p}$, corrispondente ai diversi valori indicati per la lunghezza totale L_p del puntone, per configurazioni di isolamento omoetiche alla configurazione A provata in laboratorio. La Fig. 6, insieme alla Fig. 4, che dà il livello di sovratensione fase-terra $U_{s,p}$, ammissibile in funzione di $D_{e,p}$, permette così di confrontare, in via preliminare, l'effetto sul progetto della linea dei vincoli dovuti alle sovratensioni di manovra e di quelli dovuti alla tenuta superficiale a frequenza industriale in condizione di inquinamento.

Esempi pratici dell'utilizzo delle suddette figure per gli scopi indicati vengono riportati in Appendice.

5. COMPORTAMENTO AL FULMINE DI LINEE COMPATTE

Il compattamento delle linee elettriche aeree comporta diverse modifiche della forma della linea che hanno effetti contrastanti sul comportamento al fulmine della linea stessa.

La riduzione dei livelli di isolamento a impulso atmosferico comporta tendenzialmente un peggioramento del comportamento al fulmine della linea, sia per quanto riguarda i difetti di schermatura (scariche in linea per fulminazione diretta dei conduttori), sia per quanto riguarda le scariche inverse (fulminazione dei sostegni e scariche conduttore-struttura).

In senso contrario agiscono altri elementi dimensionali. La minor lunghezza media delle campate porta ad un miglioramento del comportamento alle scariche inverse poiché le messe a terra di pali contigui a quello colpito dal fulmine possono meglio contribuire a limitare l'impedenza del sistema. La maggior vicinanza tra le fasi contribuisce ad un miglior accoppiamento tra fune di guardia e conduttore, riducendo così la differenza di tensione tra struttura e conduttore. La minor altezza dei pali porta, a parità di angolo di schermatura tra fune di guardia e conduttore, ad una minor esposizione del conduttore alle fulminazioni dirette e comporta quindi una sensibile riduzione del numero di difetti di schermatura.

Gli elementi suddetti consentono, anche se non sono ancora stati eseguiti studi specifici di comportamento al fulmine delle linee compatte, di prevedere un miglioramento complessivo del comportamento al fulmine di tali linee rispetto a quelle tradizionali, o, nell'ipotesi più sfavorevole, un comportamento analogo.

In margine a quanto detto occorre tra l'altro rilevare che la riduzione dei livelli di isolamento a impulso atmosferico della linea, porta ad un miglioramento della efficacia della protezione degli isolamenti delle sottostazioni da parte degli scaricatori.

7 - EMISSIONE DEI DISTURBI DOVUTI ALL'EFFETTO CORONA

Il compattamento delle linee elettriche comporta un avvicinamento dei conduttori tra di loro e, in taluni casi, un avvicinamento dei conduttori al terreno; ciò comporta un aumento dei gradienti superficiali sui conduttori e conseguentemente un aumento del campo di radiodisturbo e del disturbo acustico dovuto all'effetto corona.

Allo scopo di verificare gli effetti del compattamento sono stati confrontati i livelli del campo di radiodisturbo e del disturbo acustico di una linea compatta a 380 kV, assunta come base, con i livelli delle linee elettriche a 380 kV di tipo tradizionale (a semplice e doppia terna, con conduttore trinato del diametro 31,5 mm e interasse 400 mm), che hanno dimostrato di essere largamente compatibili con le esigenze di protezione dell'ambiente [9].

Essendo alcuni parametri della linea compatta ancora allo studio, come la distanza orizzontale e verticale tra i conduttori, è stata esaminata la loro influenza sui disturbi corona rispetto ad una configurazione base avente le seguenti caratteristiche:

- linea a doppia terna con fasi omologhe affiancate
- conduttore 3φ31,5/400 mm
- distanza orizzontale tra i conduttori 8 m
- distanza verticale tra i conduttori 6 m
- freccia dei conduttori 6 m
- franco minimo verso terra 10 m

I livelli del campo di radiodisturbo alla frequenza di 500 kHz e del disturbo acustico della linea compatta base, risultano, a parità di condizioni, leggermente più elevati delle linee unificate; in particolare, a 15 m dalla proiezione del conduttore esterno, i valori 50% sotto picchia del campo di radiodisturbo e del disturbo acustico sono di circa 3-4 dB superiori.

Nella Fig. 7 vengono messe in evidenza le variazioni del campo di radiodisturbo "RI" e del disturbo acustico "AN", al variare della distanza orizzontale (Do) e della distanza verticale (Dv) tra i conduttori, rispetto alla configurazione base; come si può notare la distanza

verticale ha una influenza rilevante mentre la distanza orizzontale è poco significativa.

Avendo le linee unificate tradizionali a 380 kV degli ampi margini di compatibilità ambientale sia per il campo di radiodisturbo che per il disturbo acustico si può affermare che il compattamento delle linee ad alta tensione è possibile in tutto il campo di variazione dei parametri considerati. Talune soluzioni, come quelle con più elevata tenuta alle sovratensioni di manovra, alle quali si possono applicare le correzioni riduttive dei livelli riportate in Fig. 7, sarebbero caratterizzate da livelli di campo di radiodisturbo e di disturbo acustico dell'ordine di quelli delle linee unificate.

8 - CONCLUSIONI

Le prove di laboratorio sulle tenute a sovratensioni di manovra tra le fasi di configurazioni di isolamento tipiche di linee compatte a 380 kV con mensole isolanti, consentono di valutare i requisiti minimi di tenuta alle sovratensioni di manovra. Nel caso di linee con lunghezze non superiori a 50 km (che costituiscono circa il 50 % delle linee del sistema elettrico dell'ENEL), si possono adottare delle distanze minime tra le fasi di circa 3,5 m, per configurazioni di isolamento omotetiche a quelle provate in laboratorio. Tali distanze minime sono accettabili anche per linee più lunghe se si introducono mezzi per limitare le sovratensioni di manovra (resistenze di preinserzione etc.).

Più critici risultano i requisiti di tenuta superficiale in condizioni di contaminazione. Ad esempio, con puntoni in porcellana di 3000 mm di lunghezza totale si possono realizzare su inità di tenuta superficiale di circa 14 kg/m². Questa soluzione potrebbe consentire di soddisfare i normali requisiti dell'ENEL per le zone definite ad inquinamento leggero o nullo. Per ottenere i 40 kg/m² richiesti per le zone definite ad inquinamento medio occorre realizzare puntoni di lunghezza pari a circa 4000 mm. Le soluzioni con puntoni in materiale organico non necessariamente comportano un miglior comportamento rispetto a quelli in porcellana. L'eventuale vantaggio può derivare da una maggiore linea di fuga per unità di lunghezza e soprattutto dalla capacità del materiale di

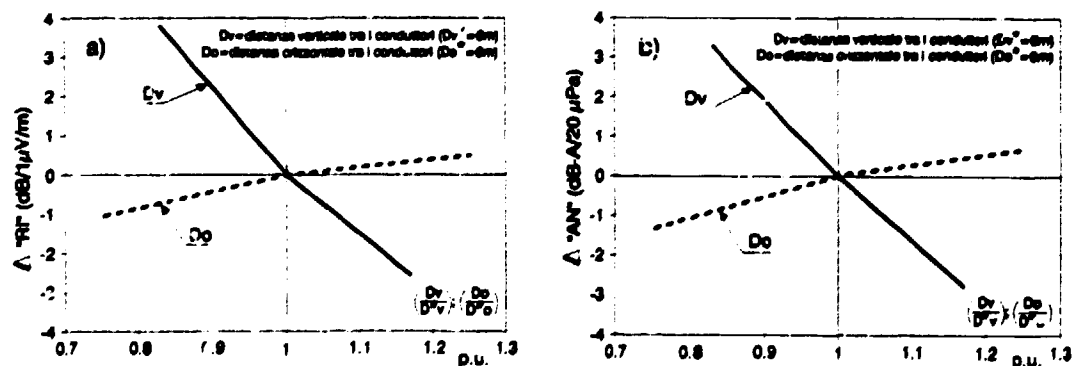


Fig. 7 - Variazioni del campo di radiodisturbo "RI" a) e del disturbo acustico "AN" b), al variare delle distanze verticali "Dv" e orizzontali "Do" tra i conduttori rispetto alla configurazione base (valori a 15 m dalla proiezione del conduttore laterale).

mentare, in esercizio, almeno in parte, le proprie caratteristiche superficiali di idrorepellenza. Esperienze di laboratorio effettuate su isolatori di sospensione in materiale organico invecchiati artificialmente indicano che il vantaggio derivante dalle qualità superficiali del materiale può arrivare, in alcuni casi, anche a superare un gradino di salinità.

Le soluzioni in materiale organico, potrebbero pertanto dimostrarsi adatte ad impieghi in zone ad inquinamento medio o medio-pesante, senza ricorrere a lunghezze eccessive di traliccio e mensole, una volta che fosse dimostrata adeguatamente la loro capacità di mantenere nel tempo tale vantaggio.

Il dimensionamento degli isolamenti superficiali delle linee compatte, al contrario di quello per le linee tradizionali, non consente margini di errore in fase di progetto. Questo fatto potrebbe indurre a richiedere maggiori margini sulle salinità di tenuta di quanto non si faccia normalmente per le linee tradizionali (dove è sempre possibile in genere allungare le catene di isolatori), oppure potrebbe richiedere, in alternativa, delle verifiche molto più precise dei livelli ambientali di contaminazione dei siti ove installare le linee compatte stesse.

Dall'esame dei vincoli elettrici effettuato nella presente memoria si deduce che esistono delle possibilità rilevanti di compattamento delle linee a 380 kV. L'analisi degli effetti di tale compattamento sui livelli del campo di radio-disturbo e di disturbo acustico ha dimostrato che esso è praticabile nel rispetto dei vincoli ambientali normalmente accettati. La soluzione compatta può pertanto contribuire a ridurre l'impatto ambientale totale del sistema elettrico di trasporto poiché consente di ridurre il rapporto tra potenza trasportata e occupazione dell'ambiente.

APPENDICE

La presente Appendice fornisce alcuni esempi di applicazione dei risultati indicati nelle Figg. 4 e 6 per un confronto tra i requisiti di tenuta a sovratensioni di manovra e quelli di tenuta superficiale in condizioni di inquinamento.

Si assuma per esempio come valore di progetto una salinità di tenuta superficiale dei puntone di 56 kg/m^2 , che consente un esercizio con adeguati margini di sicurezza in tutte le zone caratterizzate da inquinamento medio e in alcune caratterizzate da inquinamento medio-pesante.

Nel caso che si abbia a disposizione un puntone in materiale organico che abbia un rapporto tra linea di fuga e lunghezza, Q , uguale a 3, occorrerà in base al diagramma di Fig. 6 una lunghezza di puntone uguale a circa 3700 mm ed una distanza fase-fase, D_{ff} , di circa 5600 mm. Dal diagramma di Fig. 4 si può osservare che alla distanza D_{ff} suddetta corrisponde un livello di sovratensione di man. vra U_{25} di circa 2,5 p.u., che è il valore di progetto per linee a 380 kV tradizionali. Pertanto si potrà sviluppare una lunghezza di linea di circa 300 km senza mezzi limitativi delle sovratensioni di manovra (v. Fig. 5).

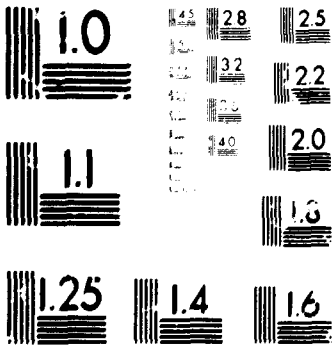
Si supponga ora di avere a disposizione un puntone che per le caratteristiche del materiale organico sviluppi una salinità di tenuta di un gradino e netto superiore

rispetto al precedente. In questo caso per il livello di salinità richiesto di 56 kg/m^2 occorrerebbe una lunghezza del puntone di circa 2800 mm ed una distanza D_{ff} di 3600 mm. A quest'ultima distanza corrisponde un livello di sovratensione di manovra di 2,1 p.u. e pertanto, senza mezzi limitativi delle sovratensioni di manovra, si potrà sviluppare una lunghezza massima di linea di 40 km.

I due esempi precedenti hanno messo in evidenza come esista una correlazione tra livello di salinità di tenuta richiesto e il livello di sovratensione di manovra U_{25} compatibile con l'isolamento fase-fase. Questa correlazione passa attraverso le caratteristiche di tenuta superficiale dei puntone prescelti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. BONI - B. A. CAUZZILLO - E. CECCHETTI - P. PAOLI - A. PORRINO - L. SARTORE: Soluzioni compatte adottate dall'ENEL per linee di alta tensione - Giornate di Studio "Le linee elettriche ..."; AEI - CIREN, 15-16 Novembre 1988 - Milano.
- [2] P. PAOLI - R. RENDINA - F. TAVANO - U. ZANETTA: L'evoluzione delle tecnologie costruttive per la realizzazione delle linee ad altissima tensione - Giornate di Studio "Le linee elettriche ..."; AEI - CIREN, 15-16 Novembre 1988 - Milano.
- [3] G.P. FINI: Composite insulators for transmission overhead lines - 2as jornadas de aislamiento electrico - 17-18 Ottobre 1989 - LABEIN - BILBAO.
- [4] Pubblicazioni IEC 71-1, 1976 e 71-3, 1982.
- [5] CIGRE W.G. 33-02 - Phase to phase insulation coordination - Electra n. 64, Maggio 1969.
- [6] G. P. FINI - G. MARRONE - F. GALLUCCI - A. PIGINI - Field experience and laboratory ageing tests on composite insulators for overhead lines - L'Energia Elettrica n. 7-8 1984.
- [7] G. P. FINI - G. MARRONE - F. GALLUCCI - R. REALI - Salt fog tests and low resistivity rain tests on new and aged units of composite insulators - 5th I.S.H. Braunschweig 1987.
- [8] G. P. FINI - G. MARRONE - A. PORRINO - Componenti di nuova concezione per linee elettriche realizzati in materiale organico. Prove di invecchiamento accelerato - Riunione Annuale AEI 1989.
- [9] E. COMELLINI - D. DELL'OLIO - M. SFORZINI - L'inserimento ambientale delle linee aeree - Giornate di Studio "Le linee elettriche ..."; AEI - CIREN, 15-16 Novembre 1988 - Milano.



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)