

Bando di gara per progetti di ricerca di cui all'art. 10, comma 2, lettera b) del decreto 26 gennaio 2000
Decreto direttoriale 30 giugno 2014 - Ministero dello sviluppo economico

RELAZIONE FINALE del PROGETTO MAN-PREV

Codice Proposta	CCSEB_00106		
Titolo completo	<i>“Accessori intelligenti per cavi MT per il monitoraggio della rete elettrica”</i>		
Acronimo	<i>MAN-PREV</i>		
Tema di ricerca	<i>A.3 – Trasmissione e distribuzione dell’energia elettrica</i>		
Capofila	REPL ITALIA S.r.l.		
Data inizio progetto	02/05/2017	Data fine progetto	1/05/2020

COSTI E CONTRIBUTI

COSTO FINALE DEL PROGETTO APPROVATO		1.037.732,13 €
<i>di cui: Ricerca Industriale</i>	609.110,75 €	<i>Sviluppo sperimentale</i>
		428.621,38 €
CONTRIBUTO AMMESSO SENZA MAGGIORAZIONI		411.710,72 €
CONTRIBUTO AMMESSO COMPLESSIVO (incluse maggiorazioni)		463.597,33 €

SINTESI DEL PROGETTO

ITALIANO

Il progetto MAN-PREV si può inquadrare nell'ambito dell'approccio SMART alle reti di trasmissione e distribuzione dell'Energia Elettrica, ovvero nel processo più ampio attualmente in corso di introduzione all'interno delle reti di distribuzione di servizi, di componenti in grado di monitorare e controllare in maniera quasi autonoma la rete stessa.

Con questo progetto, (MAN-PREV è un acronimo derivante dal concetto di **MAN**utenzione **PRE**ventiva), è stato perseguito l'obiettivo di realizzare una nuova generazione di giunto di Media Tensione dotato di sensori al suo interno, atti a rilevare opportuni parametri del suo funzionamento.

Il risultato della ricerca e sperimentazione è lo REPL SMART JOINT, ovvero un giunto di media tensione di tecnologia autorestringente dotato al suo interno di un sensore di scariche parziali, il quale in abbinamento allo strumento REPL PD DETECTOR, permette di valutare la bontà della appena avvenuta installazione del giunto nella rete di distribuzione MT.

Oltre a questa indicazione a tempo zero, il monitoraggio nel tempo dei valori di scariche parziali provenienti dal giunto potranno permettere, nel momento in cui il loro valore fosse oltre soglia, una manutenzione preventiva con sostituzione del giunto prima che lo stesso cada in difetto di isolamento.

INGLESE

The MAN-PREV project can be framed in the SMART approach to the electricity transmission and distribution networks, or in the wider process currently being introduced in the service distribution networks of components capable to monitor and control the network itself almost autonomously.

*With this project, (MAN-PREV is an acronym deriving from the concept of **MAN**utenzione **PRE**ventiva - preventive maintenance in Italian Language), the aim was to achieve a new generation of Medium Voltage joint equipped with sensors inside, capable of detecting appropriate parameters of its operation.*

The result of research and experimentation is the REPL SMART JOINT, that is a medium voltage joint of self-shrinking technology equipped inside with a partial discharge sensor, which in combination with the REPL PD DETECTOR tool, allows you to evaluate the goodness of the just occurred installation of the joint in the MV distribution network.

In addition to this zero-time indication, the monitoring over time of the partial discharges values coming from the joint will allow, when their value is beyond the threshold, preventive maintenance with replacement of the joint before it falls into the insulation fault.

1. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO E OBIETTIVI

In base alle informazioni in possesso dello scrivente al momento della stesura del progetto MAN-PREV, (2015) non vi erano altre esperienze simili relativamente allo studio di accessori per cavo con sensori integrati di scariche parziali.

Negli ultimi anni sono state pubblicate diverse ricerche da parte di diverse Università Internazionali aventi ad oggetto lo studio del fenomeno delle scariche parziali nei cavi, e quindi nei loro accessori, con differenti strumenti. Ma, nello specifico, nessuna ricerca di cui siamo a conoscenza ha considerato l'introduzione di un sensore all'interno del giunto di media tensione come realizzato nel progetto MAN-PREV. Quasi sempre si tratta di sistemi di rilevamento da inserire sulla rete in un punto accessibile come nelle cabine secondarie, o in prossimità delle terminazioni di linea, ma non di sensori puntuali e dedicati al rilevamento delle scariche parziali nel giunto di Media Tensione.

L'obiettivo del progetto MAN-PREV è stato quello di realizzare un giunto di media tensione dotato di una tecnologia intrinseca in grado di valutare la bontà della esecuzione del lavoro di installazione dello tesso nella rete MT. La ragione di questa scelta si rivela opportuna se si pensa che è stato dimostrato che la maggior parte dei guasti nella rete MT è dovuta ai giunti, il componente più critico nelle linee di distribuzione di energia elettrica. E che questa criticità è dovuta a una serie di fattori legati al momento della loro installazione.

Infatti, a parte i giunti che vengono installati nelle prime stesure delle linee, ove il tempo a disposizione e le caratteristiche ambientali possono essere modificate senza troppi problemi, la maggior parte delle installazioni di giunti MT avvengono in condizioni di emergenza per la riparazione di guasti.

E questo significa installazioni eseguite in fretta, spesso da personale non altamente qualificato per eseguire tale lavoro, in condizioni ambientali critiche come presenza di vento e pioggia, e ancora più frequentemente di notte, all'interno di una buca nella strada con l'acqua piovana che entra al suo interno.

Si comprende quindi come l'elemento umano in tale situazione sia predominante rispetto alla qualità intrinseca dell'accessorio. Ecco perché un sistema in grado di valutare la bontà della installazione appena eseguita, grazie alla valutazione del livello di scariche parziali nello stesso a tempo zero, pareva una soluzione ad un problema mai affrontato prima in termini misuristici.

Oltre a questo aspetto di evidenza immediata, la futura connessione dello SMART JOINT a un sistema diffuso di monitoraggio della rete con analisi centralizzata dei valori provenienti da più SMART JOINT inseriti in rete, avrebbe dato luogo nella visione progettuale più ampia legata al progetto MAN-PREV, ad un sistema di controllo delle scariche parziali di una intera linea, dando modo così di intervenire in maniera preventiva alla sostituzione del giunto il cui livello di scariche parziali avesse superato una soglia prefissata.

2. RISULTATI RAGGIUNTI

Le attività svolte nella realizzazione del progetto si possono schematizzare nei seguenti passaggi:

1. Analisi della problematica e messa in evidenza della criticità dei guasti sui giunti MT;
2. Studio della correlazione tra livello di scariche parziali in un giunto e sua vita attesa;
3. Studio dello strumento più idoneo per la rilevazione delle scariche parziali in un giunto MT;
4. Realizzazione dei primi prototipi e validazione dell'ipotesi di progetto;

Analisi della problematica e messa in evidenza della criticità dei guasti sui giunti MT

In prima approssimazione, la consistenza della rete MT in Italia realizzata in cavo interrato, appartenente indifferentemente a e-distribuzione o alle altre aziende di distribuzione di energia elettrica, ammonta a circa 150.000 km.

Le linee in cavo interrato sono realizzate interponendo ogni 300/500 metri, in funzione della sezione del cavo e della lunghezza dell'unità di commercializzazione dello stesso, una terna di giunti che vengono interrati subito dopo la loro installazione.

In base alla lunghezza stimata della rete in cavo interrato e alla frequenza di installazione dei giunti, si può stimare con buona approssimazione che nel territorio italiano siano installati circa 6 giunti a chilometro, per un totale di circa 900.000 giunti.

Con i macro-dati sulla frequenza di guasto ottenuti dalle aziende elettriche, si può stimare un tasso medio di guasto pari a circa 8 guasti ogni 100 km ogni anno. Questo significa che a livello nazionale ci si attendono circa 12.000 guasti all'anno sulla rete MT in cavo interrato. Focalizzando l'attenzione sulla numerosità dei guasti sui giunti si arriva a stimare che, su tutto il territorio nazionale, ogni anno si presentino circa 9.000 guasti sui giunti.

La distribuzione geografica dei guasti è particolarmente significativa, con notevoli differenze tra nord e sud Italia. Anche la stagionalità influisce sul tasso medio di guasto incrementando, soprattutto nelle regioni meridionali, il tasso di guasto sui giunti nella stagione estiva. Nelle regioni del Nord Italia si hanno tassi medi annui di guasto pari a circa 4 guasti ogni 100 km, mentre in alcune regioni del Sud Italia si arriva a 10 guasti ogni 100 km ogni anno.

Si deve tener conto che circa il 50% della rete di distribuzione in cavo interrato è stato realizzato da oltre 40 anni, ed è in buona parte realizzato con cavi a isolamento in carta impregnata. La restante parte è realizzata in cavo a isolamento estruso, in polietilene reticolato o in gomma etilenpropilenica.

La variabilità delle tipologie di cavo e delle modalità di installazione ha da sempre richiesto l'adozione di maestranze altamente specializzate per la realizzazione degli accessori per cavo. Tali accessori, ed in particolare i giunti, rappresentano una soluzione di continuità nelle linee di distribuzione dell'energia elettrica, e quindi un punto altamente critico per le stesse.

È stato acclarato che, ove la realizzazione dei giunti e degli accessori per cavo in genere non sia eseguita da maestranze specializzate della stessa compagnia di distribuzione, cosa che avviene ormai per la quasi totalità delle aziende medio grandi, la gran parte dei disservizi sugli accessori e sui giunti in particolare si verificano a causa di guasti imputabili ad errori di montaggio e di installazione. Solo la minima parte dei guasti pare sia dovuta a invecchiamento naturale degli accessori. Si può quindi affermare che la prima causa di guasto sui giunti, a volte anche dopo tempi relativamente brevi dalla loro installazione, sia oggi dovuta alla non idonea installazione degli accessori.

Studio della correlazione tra livello di scariche parziali in un giunto e sua vita attesa

La modellizzazione della distribuzione del campo elettrico all'interno di un accessorio MT, e in particolare modo in un giunto di media tensione, dà notevoli informazioni in merito alle zone più soggette ad elevati gradienti di campo elettrico e quindi suggerisce le opportune modifiche progettuali da prevedere nello stesso accessorio. La versione di giunto di media tensione considerato nell'attuale progetto è quello autorestringente, realizzato in gomma siliconica.

Elementi fondamentali del giunto in oggetto sono:

- 1) Gabbia di Faraday attorno al connettore centrale, realizzata in gomma siliconica semiconduttiva;
- 2) Conetti deflettori del campo elettrico, posizionati a contatto con le aree di taglio schermo del cavo elettrico, anche questi realizzati in gomma siliconica semiconduttiva;
- 3) Strato isolante, che costituisce il corpo del giunto isolante, realizzato in gomma siliconica isolante;
- 4) Superficie esterna del giunto isolante, di materiale semiconduttivo, atto a realizzare lo schermo elettrico per il campo interno, solitamente realizzato con una semplice verniciatura semiconduttiva sulla superficie esterna del giunto;

La realizzazione di un simile manufatto con stampaggi successivi eseguiti con presse a iniezione di gomma liquida, deve essere eseguita a regola d'arte per evitare la presenza all'interno del manufatto di vuoti o vuoti che causerebbero le cosiddette "scariche parziali".

La normativa internazionale da una definizione abbastanza precisa di cosa siano le scariche parziali: (Norma CEI 42-3, fascicolo 763)

"La scarica parziale è una scarica elettrica che interessa solo una parte del dielettrico esistente tra due conduttori"

Essa può prodursi nei vuoti di un isolamento solido, in bolle gassose nei liquidi isolanti, ovvero tra strati di dielettrici di caratteristiche diverse; può anche verificarsi su punte o spigoli acuti di superficie conduttive (Effetto Corona). Solitamente la scarica parziale si sviluppa con un meccanismo tale da non pregiudicare la tenuta di un componente in una normale procedura di prova in alta tensione ma, benché metta in gioco solo piccole quantità di energia, risulta tale da causare un lento e progressivo deterioramento del dielettrico che può portare alla rottura definitiva dell'accessorio alla tensione nominale di esercizio.

I fenomeni di degradazione che si manifestano nei dielettrici in presenza di scariche parziali provocano pertanto la riduzione della vita utile dell'accessorio. Trovare un metodo per misurare, analizzare e correlare il livello di scariche parziali in un accessorio con il suo livello di vita atteso è stato quindi fondamentale.

I metodi noti in letteratura per il rilevamento delle scariche parziali sono molteplici, con diverse peculiarità e caratteristiche, alcuni necessitano della connessione elettrica con l'elemento in prova, altri non prevedono tale modalità. Tra i diversi metodi analizzati l'unico in grado di soddisfare le diverse esigenze soprattutto installative è stato il sensore di tipo capacitivo, da inserirsi al di sotto dello schermo metallico del giunto.

Tale rilevatore capacitivo, avvolto attorno alla giunzione, isolato dallo schermo semiconduttivo e dallo schermo metallico, funzionerebbe come un'antenna che, tramite un cavetto costituito da un collegamento coassiale anch'esso schermato, trasmetterebbe all'esterno della giunzione un segnale elettrico, fotografando esattamente la tensione applicata sul conduttore dell'accessorio, con sovrapposte

ad essa tutti i disturbi provenienti dall'interno dell'accessorio.

Identificato lo strumento idoneo per la rilevazione delle scariche parziali all'interno del giunto si è passati allo studio dell'invecchiamento degli accessori, che ha richiesto l'esecuzione di diverse decine di prove di invecchiamento con i cosiddetti "cicli termici".

Questi test, che sono richiesti dalla normativa tecnica per eseguire un invecchiamento accelerato degli accessori, i quali devono superare tale test senza danneggiamenti per poter essere certificati, sono stati adoperati per stabilire in tempi ragionevoli una statistica che legasse la difettosità iniziale e quindi il livello iniziale di scariche parziali con il tempo di vita atteso dell'accessorio.

In base alle prove eseguite, e con una indicazione generalmente accettata di vita attesa ottimale di un giunto di media tensione pari a 15 anni, sono state dedotte le seguenti aspettative di vita correlate con il livello di scariche parziali a tempo zero, ovvero subito dopo la loro installazione sulla rete:

- Giunti con livello di scariche parziali compreso tra 0 e 20 pC:
- Durata minima attesa del giunto pari a 15 anni.
- Giunti con livello di scariche parziali compreso tra 20 e 50 pC:
- Ci si attende che almeno il 65,38% dei giunti arrivi a 15 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno il 73,08% dei giunti arrivi a 4 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno l'84,61% dei giunti arrivi a 2 anni di vita;
- Giunti con livello di scariche parziali compreso tra 50 e 100 pC:
- Ci si attende che almeno il 21,43% dei giunti arrivi a 15 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno il 39,28% dei giunti arrivi a 4 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno il 67,86% dei giunti arrivi a 2 anni di vita;
- Giunti con livello di scariche parziali compreso tra 100 e 500 pC:
- Ci si attende che almeno il 3,70% dei giunti arrivi a 15 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno il 11,11% dei giunti arrivi a 4 anni di vita;
 - Ci si attende che almeno il 40,70% dei giunti arrivi a 2 anni di vita;

Studio dello strumento più idoneo per la rilevazione delle scariche parziali in un giunto MT

La progettazione del sensore di scariche parziali da inserire all'interno del giunto MT ha richiesto numerose prove con diversi materiali e diverse configurazioni, con test elettrici di isolamento e analisi dei segnali. Il sensore PAD si è rivelato un'adeguata soluzione per la sperimentazione in corso. Esso viene "avvolto" all'esterno della giunzione, al di sopra del suo strato conduttivo, conformandosi facilmente alla geometria del corpo giunzione. Al di sopra del PAD sensibile viene applicato lo schermo metallico del giunto, che svolge anche una funzione di schermatura dai disturbi esterni.

Così posizionato, il PAD è in grado di intercettare le componenti elettriche del campo elettromagnetico ad alta frequenza originato dalle scariche parziali. Grazie alla sua posizione molto prossima alle sorgenti delle scariche parziali, e per le caratteristiche di banda delle stesse, il sensore così realizzato risulta caratterizzato da una selettività molto elevata.

Realizzato il sistema di rilevamento, ci si è concentrati nello studio e sviluppo della "magic box" in grado di ricevere, filtrare e comparare il segnale proveniente dal sensore PAD inserito nella giunzione.

Scopo dell'attività in oggetto è stata la realizzazione di un circuito elettronico in grado di:

- Ricevere i segnali in alta frequenza provenienti dal sensore di scariche parziali inserito all'interno del giunto MT;
- Filtrare la banda di segnale propria del fenomeno delle scariche parziali;
- Amplificare il segnale di interesse per la successiva operazione di valutazione;
- Comparare il valore di interesse con quello settato all'interno dello Strumento;

Il circuito realizzato si compone essenzialmente di:

- Uno stadio di ingresso con un filtro passa banda che seleziona le frequenze da 50 kHz a 5 Mhz, tipiche del segnale dovuto alle scariche parziali;
- Uno stadio amplificatore di alta frequenza, e uno stadio filtrante particolare che rilascia un segnale proporzionale all'inviluppo dei segnali in alta frequenza generato dalle scariche parziali;

Tale segnale viene poi confrontato in un comparatore di alta frequenza con il segnale proveniente da un trimmer, settato opportunamente, se il livello del segnale è superiore a quello impostato nel trimmer, si accende un led rosso e si attiva un piccolo buzzer, dando evidenza del superamento del livello di scariche parziali preimpostato.

Il valore di settaggio è stato determinato a valle di numerose prove in laboratorio AT della REPL ove sono stati confrontati i valori in uscita dal comparatore con i livelli di scariche parziali misurate con gli strumenti di laboratorio. I valori di trimmer previsti inizialmente sono stati scelti in funzione di un livello di scariche parziali pari a 70/80 pC.

Componenti principali di uno SMART JOINT:

- Giunto MT di tipo autorestringente
- PAD sensore di scariche parziali
- PAD DETECTOR – comparatore semaforico di segnale

**Realizzazione dei primi prototipi e validazione dell'ipotesi di progetto**

Dopo alcune sessioni di prova di installazione, correzione delle metodologie e affinamento delle procedure installative, è stato definito completamente il corredo del: REPL SMART JOINT con sensore di scariche parziali integrato, mostrato di seguito:



Realizzati alcuni prototipi, si è passati alla caratterizzazione del prodotto, durante la quale diversi prototipi di SMART JOINT realizzati sono stati sottoposti ai test che di norma vengono eseguiti su ogni nuovo accessorio per cavo MT, in conformità alle normative CENELEC HD 629 e applicando le sequenze di test proprietari sviluppati dal laboratorio HV di REPL ITALIA. Ogni SMART JOINT è stato installato su un “loop di prova”, costituito da due spezzoni di cavo giuntati tra loro dallo SMART JOINT, e terminati alle loro estremità con degli opportuni terminali di media tensione.

Ogni loop è stato sottoposto al seguente ciclo di prove:

- AC test Tensione applicata 54 kV Durata 5 minuti
- Misura PD a temperatura ambiente
- Misura della resistenza di isolamento tra conduttore, schermo e sensore di PD
- Prova all'impulso Tensione applicata 125 kV 10 impulsi posit. / 10 impulsi negat.
- Valutazione PD a temperatura ambiente
- Ciclo di invecchiamento a 54 kV per 2 ore (solo su alcuni componenti rappresentativi, senza scariche parziali...)
- Valutazione PD a temperatura ambiente a fine ciclo

I test sopra elencati sono stati tutti superati senza eccezione, dimostrando la bontà delle scelte progettuali approntate. Dimostrata l'affidabilità e la sicurezza elettrica del componente, si è passati alle verifiche di funzionalità dello strumento di valutazione del livello di PD. Ogni loop è stato realizzato con una differente difettosità indotta, modificando le modalità realizzative e simulando gli errori tipici delle installazioni sul campo. La misura del livello di scariche parziali è stata eseguita in parallelo con gli strumenti di laboratorio e con lo strumento portatile di verifica PD.

La procedura di verifica funzionale ha richiesto i seguenti passaggi:

- Caratterizzazione del SENSORE PAD applicato su un giunto campione;
- Caratterizzazione dello strumento REPL PD DETECTOR su un giunto campione;
- Verifica strumentale su differenti giunti con comparazione della lettura dello strumento REPL PD DETECTOR con la misura eseguita con lo strumento di laboratorio.

Al termine di tutte le sessioni di caratterizzazione, il complesso REPL SMART JOINT e REPL PD DETECTOR è stato ritenuto idoneo a rilevare i livelli di scariche parziali all'interno di un giunto di Media tensione appena realizzato, rilasciando un segnale sonoro e luminoso al superamento di un livello di scariche parziali prossimo agli 80 pC.

Questo valore, in base alla sperimentazione eseguita, definisce un limite da non superare per assicurare al manufatto una vita attesa almeno sufficiente.

3. IMPATTO SUL SISTEMA ELETTRICO E BENEFICI ATTESI

Come è stato evidenziato nella prima parte del progetto, il costo dovuto ai guasti dei giunti di media tensione in termini sia di ore uomo, sia di costi diretti e indiretti, oltre al disservizio causato alla utenza, è per le società di distribuzione dell'energia elettrica un problema di primaria importanza.

L'adozione di strumenti in grado di monitorare la rete elettrica e nel dettaglio i componenti più critici della stessa come i giunti MT, può permettere alle suddette società di ridurre significativamente il tasso di guasto che attiene alla casistica dei giunti difettosi, sia per difetto intrinseco della stessa giunzione ma soprattutto per la qualità non accettabile della sua procedura di installazione.

Lo SMART JOINT insieme al PD DETECTOR, permettendo una analisi immediata e puntuale della qualità dell'installazione appena eseguita, darebbe in mano alle utilities uno strumento immediato di valutazione dell'operato della ditta installatrice o della ditta fornitrice del manufatto, impedendo la messa in servizio di giunzioni non realizzate a regola d'arte.

E' immediato dedurre che nel tempo, la qualità media delle installazioni sul campo sarebbe così destinata a crescere, aumentando nel contempo l'affidabilità del sistema, riducendo le interruzioni e i disservizi per l'utenza.

Come evoluzione di tale applicazione, assumendo valida l'ipotesi di un utilizzo sempre più diffuso di strumenti SMART nella rete, con l'adozione di tecnologia IOT e della relativa rete di comunicazione in tempo reale, si potrebbe pensare non solo a una stima a tempo zero del livello di scariche parziali del giunto, ma a una rete di SMART JOINT in grado di essere identificati nella rete IOT, con un PD DETECTOR evoluto di dimensioni contenute e autoalimentato dalla stessa linea in cui è installato, e in grado quindi di comunicare il proprio "stato di salute" in funzione del livello di scariche parziali rilevato. Questo primo studio quindi, apre un nuovo scenario tecnologico in grado di migliorare significativamente la qualità degli accessori per le reti di distribuzione di energia elettrica, consentendo la manutenzione preventiva delle reti, aumentandone l'affidabilità e riducendo nel contempo interruzioni e disservizi, migliorando quindi l'efficienza e la qualità del servizio reso all'utenza.