



Misure di diagnostica e analisi statistica

Previsioni affidabili della durata di vita residua di cavi a media tensione

Con un workflow continuo dalla diagnostica dei cavi fino alla valutazione, Baur GmbH offre ai gestori una soluzione, che consente di diagnosticare lo stato dei cavi a media tensione. A questo si aggiunge ora la previsione statistica della durata di vita dei cavi. Conoscere il tempo di utilizzo residuo consente di pianificare gli investimenti in sostituzioni in modo più preciso e spesso di rimandarli di qualche anno.

Per i gestori è sempre più difficile effettuare la manutenzione delle reti di distribuzione con i budget di cui dispongono. Molti cavi a media tensione sono stati posati diversi decenni fa e ora le probabilità che si verifichino dei guasti sono sempre più alte. A questo si aggiunge un ulteriore carico sulle reti, oggi ancora maggiore, dovuto all'aumento dei consumi o all'alimentazione di corrente decentrata.

Manutenzione orientata allo stato anziché basata su intervalli predefiniti

Date queste premesse, garantire un'elevata disponibilità e un minor numero di guasti alla rete di media tensione contenendo i costi è possibile solo attraverso

una valutazione dello stato dei cavi. Questa consente di pianificare gli investimenti in riparazioni e in sostituzioni non sulla base dell'età dei cavi (figura 1), bensì del grado di invecchiamento effettivo (figura 2). Diversamente, cavi invecchiati più rapidamente del previsto causerebbero guasti alle reti, mentre cavi ancora intatti verrebbero sostituiti inutilmente prima del tempo: in entrambi i casi si avrebbe un rapporto costi/benefici svantaggioso.

Per la valutazione dello stato dei cavi a media tensione si sono affermati due metodi diagnostici: la misura delle scariche parziali e la misura del fattore di dissipazione (anche denominata "misura $\tan \delta$ "). La misura delle scariche par-

ziali è una procedura locale. Questa consente di riconoscere, ad esempio, difetti nelle giunzioni o scariche parziali locali in un isolamento in plastica danneggiato e un isolamento in carta impregnata insufficiente. La misura fornisce, oltre ai valori della scarica parziale, anche la distanza dal punto di guasto, facilitando così l'individuazione dei punti da osservare o da riparare.

Il fattore di dissipazione fornisce indizi sull'invecchiamento effettivo

La misura del fattore di dissipazione, sulla cui valutazione ci concentreremo qui di seguito, è un procedimento non distruttivo per la valutazione dell'intera tratta di cavo misurata. Questa fornisce

indicazioni su alberi d'acqua (ovvero isolamenti danneggiati dall'acqua nei cavi isolati in materiale plastico) così come su punti di guasto nell'isolamento in carta impregnata dei cavi, sulla presenza di umidità nelle giunzioni e su possibili scariche parziali. Poiché il fattore di dissipazione aumenta con il diffondersi degli alberi d'acqua nell'isolamento, il suo valore è un indizio della qualità dell'effetto isolante. Nei cavi nuovi il fattore di dissipazione è pressoché pari a zero; man mano che il cavo invecchia, questo valore aumenta a causa del suddetto influsso dell'umidità sull'isolamento in plastica.

Già durante la misura del fattore di dissipazione è possibile trarre conclusioni sullo stato del cavo. Con il software 4.0 di BAUR, gli utilizzatori possono sfruttare sequenze diagnostiche standardizzate o definite in proprio ed effettuare così le prime valutazioni già durante i cicli di misura. Grazie a cicli di misura armonizzati e alla comparabilità dei risultati, i gestori ottengono una valutazione oggettiva dello stato della rete di cavi. Questo fornisce una buona base decisionale per la pianificazione della manutenzione.

Previsione statistica della durata di vita residua

Con il nuovo software stand-alone statex è possibile valutare i risultati di misura soprattutto per cavi isolati in materiale plastico (figura 3). statex viene distribuito esclusivamente da Baur ed è stato sviluppato in collaborazione con la Korea Electric Power Corporation (Kepeco). L'azienda gestisce in Corea del Sud una rete elettrica, che comprende tra gli altri 41000 km di cavi interrati ($U_0 = 13,2 \text{ kV}$). Per rendere la manutenzione della rete il più economica possibile, circa dieci anni fa Kepeco si è occupata in modo intensivo della diagnostica dei cavi e ha confrontato le procedure allora in uso. Dopo questi confronti, il gestore di rete ha scelto la misura delle scariche parziali e la misura del fattore di dissipazione con generatori di tensione sinusoidale VLF (Very Low Frequency). Quindi, Kepeco ha sviluppato in collaborazione con l'università coreana di Mokpo un metodo e un software per creare una previsione sulla durata di vita residua. A tal fine, BAUR e Kepeco hanno sviluppato un software adatto, ora disponibile con il nome statex. Questo è stato applicato ai valori di misura di parecchie migliaia di cavi isolati in materiale plastico. Fino ad oggi sono confluiti circa 90000 risultati di misura.

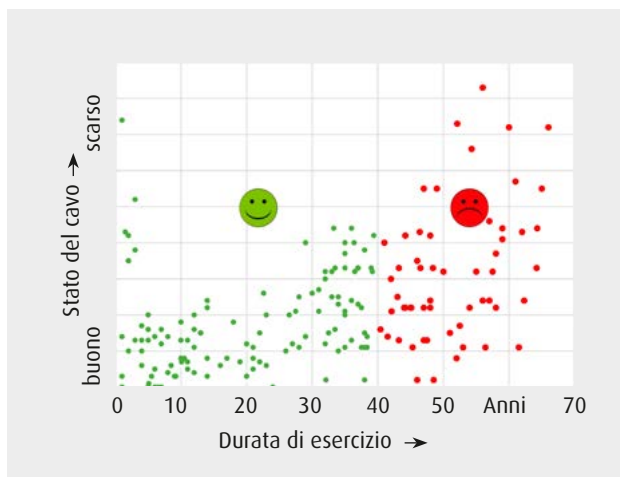


Figura 1. Una strategia di sostituzione orientata all'età assoluta porterebbe alla sostituzione di molti cavi ancora intatti (rappresentati nell'area in basso a destra nel diagramma).

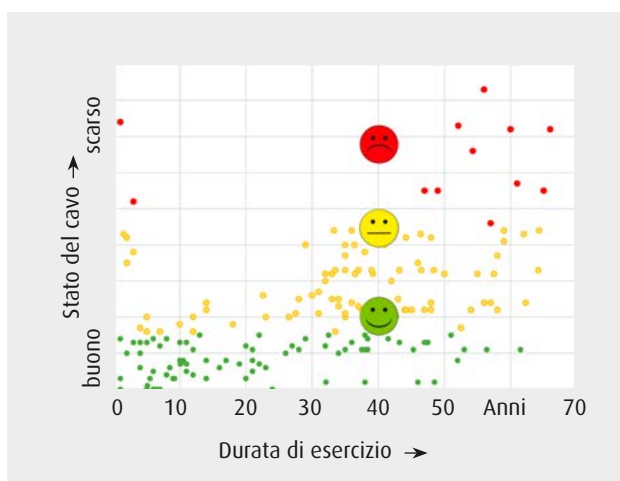


Figura 2. Una manutenzione delle reti orientata allo stato effettivo e basata su misure di diagnostica permette di continuare a utilizzare i cavi vecchi ma ancora intatti, e di individuare e sostituire per tempo i cavi nuovi che tuttavia si trovano in cattivo stato. Questo riduce al minimo i costi e aumenta la disponibilità della rete.

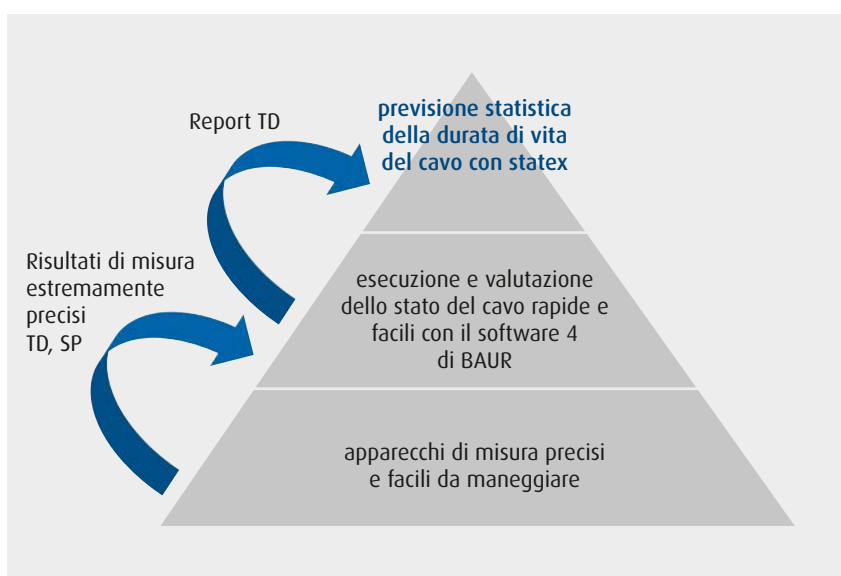


Figura 3. Con il nuovo software statex è possibile effettuare una previsione della durata di vita residua dei cavi a media tensione sulla base dei valori della misura del fattore di dissipazione.

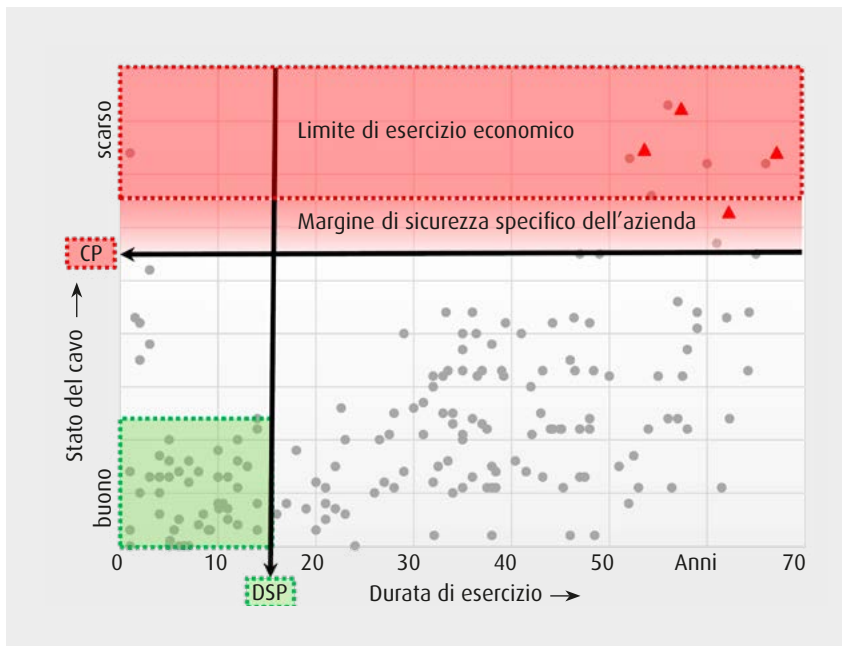


Figura 4. Generalmente, il processo di invecchiamento nei cavi XLPE inizia solo dopo più di dieci anni, quando gli antiossidanti presenti nell'isolamento del cavo sono fuoriusciti sotto forma di gas e si formano i primi alberi d'acqua.

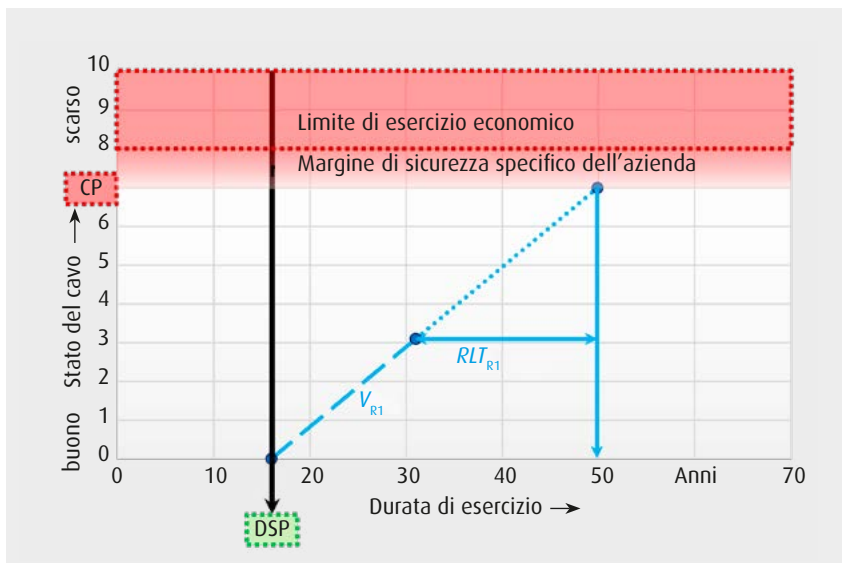


Figura 5. Il software stalex è in grado di calcolare l'indice di invecchiamento sulla base dei valori di misura del $\tan \delta$ e di effettuare una previsione della durata di vita residua del cavo.

Calcolo dell'indice di invecchiamento dai valori di misura

Per il calcolo della durata di vita residua di un cavo XLPE sono fondamentali tre aspetti:

- quando inizia l'invecchiamento dei cavi
- quanto velocemente progredisce l'invecchiamento

- a partire da quale stato il cavo viene classificato come "critico".

Per scoprire quando inizia l'invecchiamento negli isolamenti in materiale plastico (figura 4), il Kepco Research Institute ha condotto delle analisi. Per i cavi presso Kepco, il Degradation Starting Point (DSP) si aggirava in media attorno ai 13 anni.

L'indice di invecchiamento del cavo misurato si ottiene con la seguente formula

$$R = \sqrt{TD_{norm}^2 + DTD_{norm}^2 + TD_{skirt}^2}$$

Dove TD_{norm} è il valore del $\tan \delta$ e DTD_{norm} è lo scostamento (delta) del $\tan \delta$. TD_{skirt} indica quanto il fattore di dissipazione si comporta in modo stabile su diversi valori di misura di un ciclo di misura, poiché in caso di cavi con perdite di isolamento vi sono dei segnali precursori. Ad esempio, l'aumento o la diminuzione costante del valore $\tan \delta$ o la sua fluttuazione all'interno di un gradino di tensione possono fornire informazioni sul grado di invecchiamento.

Per determinare il TD_{skirt} viene tracciata una linea virtuale tra il valore $\tan \delta$ più alto e quello più basso ricavato da otto misure consecutive. Una tendenza (ascendente) lineare nei valori di misura indica una variazione delle perdite dielettriche dell'isolamento del cavo; viceversa, una tendenza discendente o non lineare è generalmente indice della presenza di umidità o di scariche elettriche in una o più giunzioni.

Determinare la durata di vita residua con una sola misura $\tan \delta$

L'indice di invecchiamento R può essere calcolato già sulla base di una misura del fattore di dissipazione (figura 5). In caso di più misure ripetute sullo stesso cavo, il software di statistica implementa i nuovi risultati e effettua una previsione più precisa (figura 6). Dall'indice di invecchiamento e dall'età effettiva meno il DSP è possibile calcolare la velocità di invecchiamento e, di conseguenza, l'intervallo di tempo fino al raggiungimento di un punto critico. Gli utilizzatori hanno la possibilità di definire autonomamente il punto critico nel Life Time Wizard del software per ogni tipo di cavo e di fare così confluire un margine di sicurezza individuale. Anche il DSP può essere predefinito. Oltre alla durata di vita residua prevista, il software fornisce anche raccomandazioni su quando andrebbe effettuata la diagnostica dei cavi successiva o su quando si dovrebbero pianificare interventi di manutenzione o la sostituzione del cavo.

stalex fornisce inoltre una rappresentazione tridimensionale dei valori di misura per i cavi misurati (figura 7). In questa rappresentazione 3D, gli utilizzatori possono fare implementare da Kepco ulteriori valori di misura individuali o

risultati salvati in stalex per scopi comparativi e confrontare gli stati dei cavi.

Previsioni affidabili sulla durata di vita residua

Kepeco utilizza il software stalex già da alcuni anni. Grazie al software è stato possibile rinviare diversi investimenti: i cavi misurati si trovavano mediamente in uno stato migliore rispetto a quello supposto sulla base della loro età effettiva. Nei cavi più vecchi misurati il numero di guasti per km era addirittura inferiore rispetto ai cavi che non avevano ancora raggiunto il DSP (qui: 13 anni). Se Kepeco avesse pianificato investimenti in sostituzioni sulla base della misura del fattore di dissipazione e della valutazione secondo la norma IEEE 400.2, dei 15.000 chilometri di cavi misurati, 255 sarebbero risultati pronti per essere sostituiti. Con stalex, invece, è stato possibile calcolare che solo 54 chilometri di cavi necessitavano urgentemente della sostituzione. Rispetto ai criteri IEEE, in media è risultata una durata di vita residua più lunga di circa undici anni.

Diverse versioni del software

Con stalex la previsione sulla durata di vita residua è disponibile esclusivamente per i clienti Baur. stalex è disponibile con diversi modelli di licenza:

- stalex Core consente di curare e monitorare i dati dei cavi nella banca dati e di gestire i dati dei cavi. Inoltre, con la versione Core è possibile calcolare l'indice di invecchiamento R, eseguire un'analisi dello stato, creare un grafico 3D e redigere report.
- stalex Pro offre in aggiunta la funzione di rilevamento della durata di vita residua statistica. Nella versione Pro è incluso un Life Time Wizard, nel quale gli utilizzatori possono immettere un DSP (il punto di inizio del processo di invecchiamento) individuale e un punto critico basato sulle proprie esperienze personali. Con la licenza del software, il cliente acquista un corso di formazione in loco di due giorni per l'introduzione e un ulteriore corso di approfondimento, anche questo di due giorni. Acquistando una licenza supplementare, ulteriori dipendenti possono accedere alla banca dati di stalex Pro. Tuttavia, il Life Time Wizard può essere configurato soltanto da un utente; questo assicura dati coerenti.

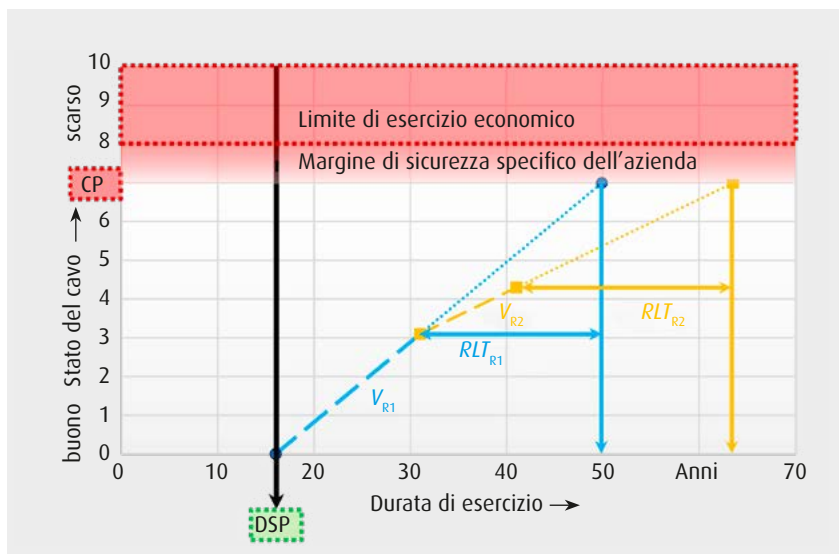


Figura 6. In caso di misure ripetute, stalex ricalcola la durata di vita residua.

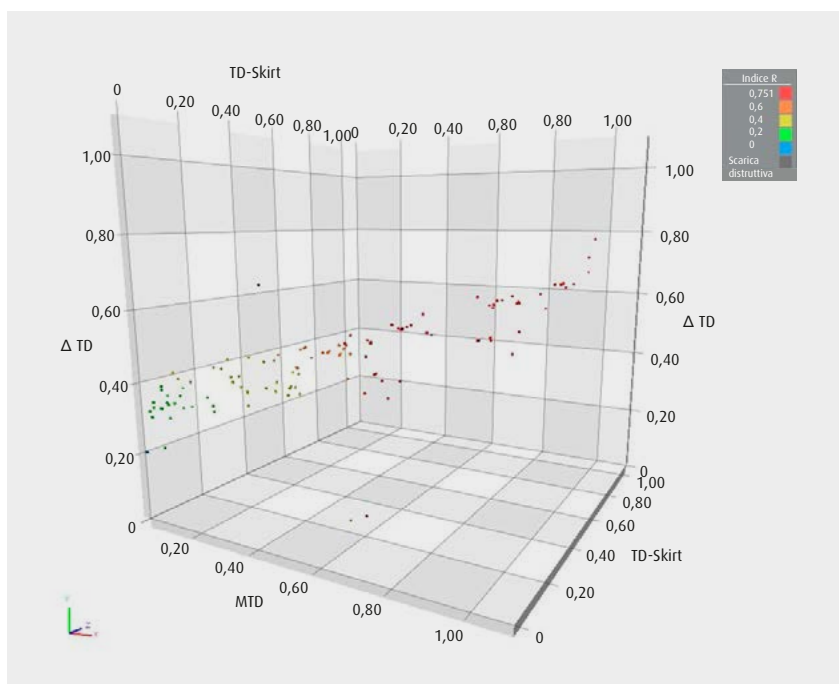


Figura 7. Rappresentazione dell'indice di invecchiamento R (vedi legenda) per tutte le fasi misurate in un grafico tridimensionale. Ogni punto indica lo stato di una fase misurata.

stalex fornisce informazioni e raccomandazioni per i gestori

Attraverso la combinazione della tecnica di misura VLF, del software Baur per l'esecuzione delle misure e dell'interpretazione immediata dei valori, così come del software stalex per la previsione statistica della durata di vita residua dei cavi, i gestori dispongono di tutti gli strumenti necessari per poter effettuare una manutenzione della rete di distribuzione ancora più economica. Grazie ai risultati del software stalex, i cavi

a media tensione possono essere utilizzati in media qualche anno in più rispetto a quanto verrebbero utilizzati basandosi sulla loro età assoluta, su una valutazione dello stato dei cavi conformemente ai criteri IEEE o sulla classificazione basata sui valori $\tan \delta$.

- >> **Martin Jenny**,
Direzione Product Management,
Baur GmbH, Sulz/Austria
- >> headoffice@baur.at
- >> www.baur.at