

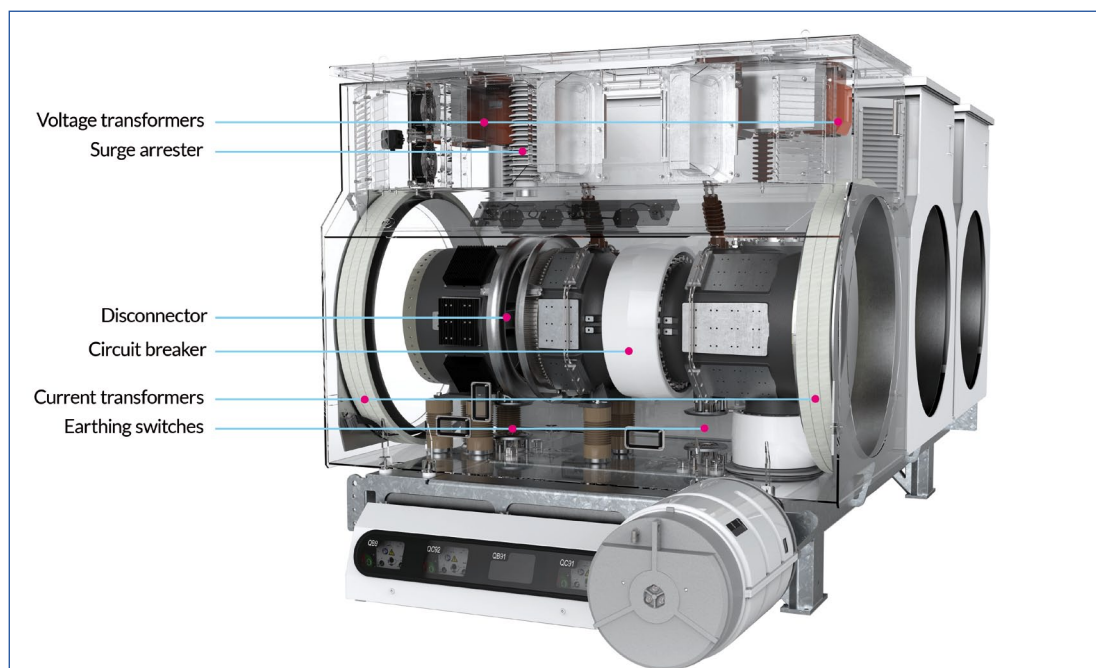
IN PUNTA DI PIEDI TRA I TULIPANI PER PROTEGGERE LE CENTRALI ELETTRICHE

ZACK CONRAD

I tecnici in ABB utilizzano la simulazione multifisica per migliorare costantemente la capacità di trasporto di corrente dei loro interruttori, proteggendo dai picchi di corrente le centrali elettriche in tutto il mondo e assicurando una fornitura ininterrotta di elettricità.

Si può dire che le centrali elettriche siano la spina dorsale della società moderna. Nel caso di sistemi così fondamentali per il nostro assetto tecnologico, la protezione dai guasti è fondamentale. Che si tratti di impianti nucleari, a carbone o idroelettrici, tutti hanno un sistema di sicurezza e protezione in comune: gli interruttori di macchina (Generator Circuit Breaker, GCB). I GCB giocano un ruolo di primo piano nella protezione degli impianti, poiché li tutelano da alti picchi di corrente (ved. Figura 1). Interrompendo correnti potenzialmente dannose da cortocircuito, causate nel giro di decine di millisecondi da cablaggi difettosi o problemi della rete, i GCB evitano che componenti importanti degli impianti possano subire gravi danni. In un mondo dove anche il minimo periodo di inattività può costare potenzialmente milioni di dollari, non sorprende che questi dispositivi siano così importanti. ABB Group, una tra le multinazionali leader in prodotti di elettrificazione, robotica e movimentazione, automazione industriale e reti elettriche, sviluppa i GCB per proteggere le centrali elettriche in tutto il mondo. La sfida posta dai picchi di corrente da cortocircuito sta nel fatto che possono essere causati in qualsiasi momento sia dalla rete che dal generatore. Ecco perché i GCB devono essere non solo estremamente affidabili, ma anche costantemente disponibili e capaci di operare in modo impeccabile, anche dopo un lungo periodo di inattività. In condizioni di esercizio ordinarie, il GCB è un normale componente del circuito, a bassa resistenza, che connette il generatore al trasformatore e alla rete. Il GCB trasferisce l'energia elettrica generata al sistema di trasmissione ad alto voltaggio in modo affidabile. In caso di necessità, tuttavia, deve essere in grado di interrompere flussi di corrente molto più ampi rispetto alle normali condizioni di esercizio ed estinguerli senza danno per gli altri componenti.

Figura 1. L'interno di un interruttore di macchina ABB (HEC10-210). Immagine per gentile concessione di ABB.



GLI INTERRUTTORI A TULIPANO PER LA MESSA A TERRA DEL SISTEMA

Utilizzati in migliaia di centrali elettriche in tutto il mondo, i GCB sviluppati da ABB offrono un collegamento sicuro e affidabile, con una durata minima di 30 anni. Ma Francesco Agostini, Alberto Zanetti e Jean-Claude Mauroux, tecnici in ABB, lavorano incessantemente per migliorare i progetti e tenersi al passo con le esigenze più avanzate. Quando viene sviluppata una versione aggiornata, questa deve rispondere a requisiti di controllo esaurienti per poter accedere all'utilizzo commerciale. Alcuni di questi requisiti riguardano gli interruttori di messa a terra (ved. Figura 2), un importante componente di sicurezza all'interno del sistema di interruttori. "Il compito di un interruttore di messa a terra è di consentire lo scarico al suolo di parti energizzate di un sistema, collegandole elettricamente al terreno", spiega Mauroux. "Si usano anche per proteggere il personale che lavora su attrezzature in funzione e quindi devono essere estremamente affidabili e sicuri, anche in condizioni climatiche avverse".

Esiste un delicato equilibrio che deve essere raggiunto da un interruttore di messa a terra. Un design molto noto che ABB utilizza per questo componente è la configurazione a tulipano. Questo progetto prevede contatti lamellari con rivestimento in argento, fissi o mobili, che consentono un disconnecting contact per il passaggio della corrente e molle per applicare forze statiche a ogni lamella. Da una parte, è necessario che il sistema possa sopportare tutta la corrente dovuta al guasto di un corto circuito, come stabilito dagli standard della International Electrotechnical Commission (IEC), quando il contatto è chiuso. D'altra parte, correnti così potenti causano il sorgere di grandi forze elettromagnetiche, i cui effetti collaterali devono essere gestiti di conseguenza.

TYPICAL SINGLE LINE DIAGRAM

1. Generator circuit breaker
2. Series disconnector
3. Capacitors
4. Starting disconnector for SFC
5. Manual short-circuit connection
- 6. Earthing switches**
7. Current transformers
8. Potential transformers
9. Surge arresters
10. Motorized short-circuit connection

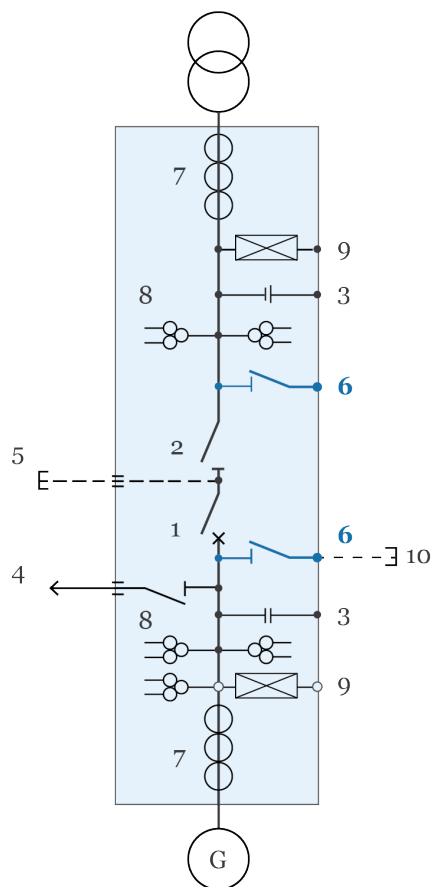
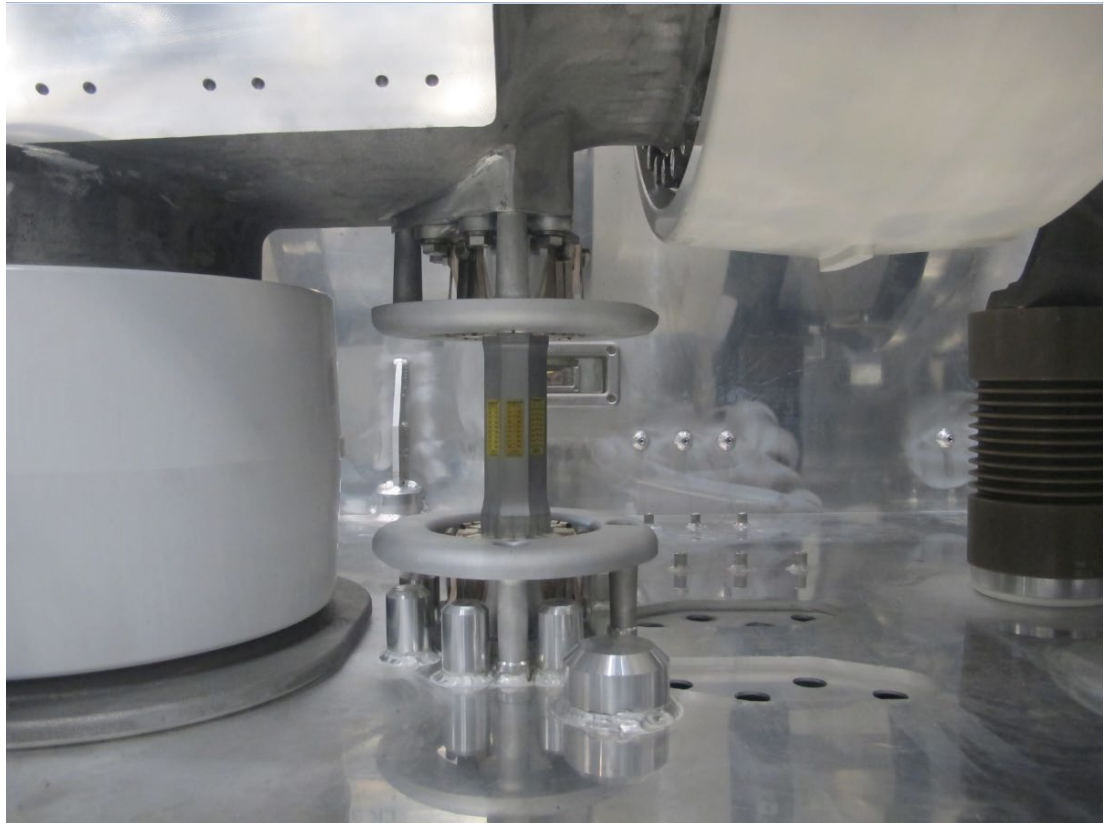


Figura 2. Tipico diagramma a linea singola di un sistema di interruttori, che mostra la posizione degli interruttori di messa a terra.

L'aspetto fondamentale del sistema di contatto di un interruttore di messa a terra è la capacità di condurre corrente, ma per comprendere i complessi effetti esercitati su di esso dalla forza di contatto Agostini, Zanetti e Mauroux si sono affidati alla simulazione multifisica per quantificare le forze totali che agiscono sul contatto. Utilizzando il software COMSOL Multiphysics® hanno costruito un modello dell'interruttore di messa a terra con contatto a tulipano per simulare il comportamento accoppiato elettromeccanico.

Figura 3. Interruttore di messa a terra in posizione chiusa all'interno di un GCB. La linguetta mobile connette i contatti a tulipano in alto e in basso. Immagine per gentile concessione di ABB.



LAMELLE, CAMPI E FORZE

Gli effetti delle forze elettromagnetiche che agiscono sulle lamelle del contatto a tulipano sono duplici. La forza di Holms, che nasce dai punti di contatto elettrico, causa una repulsione. La forza di Lorentz, che agisce su un oggetto che trasporta corrente in un campo magnetico, causa un'attrazione. Il problema è assicurare che la forza attrattiva sia di molto superiore a quella repulsiva. Una repulsione nei confronti delle lamelle può portare a una minore forza di contatto e a una possibile separazione, aumentando così notevolmente la resistenza elettrica del contatto. Una resistenza più alta causa perdite resistive più elevate: queste perdite portano con sé bruschi aumenti della temperatura, che possono danneggiare il GCB e l'interruttore di messa a terra fondendone i contatti. La forza di contatto, quindi, deve essere sufficientemente intensa. Il contatto a tulipano è di per sé una soluzione intrinseca, poiché sfrutta la legge di Lorentz. La capacità di portare corrente di saldatura giustifica ulteriormente la necessità di grandi forze di contatto. Il progetto a tulipano gioca un ruolo fondamentale nell'ottenere correnti di saldatura sufficientemente elevate e annullare le forze elettromagnetiche repulsive. La capacità di sopportare alte correnti di saldatura assicura l'eliminazione del carico elevato senza fondere i contatti a tulipano (ved. Figura 4), il che garantisce un'operatività sicura e affidabile da parte dell'intero GCB sotto condizioni estreme. "Lo scopo di questo progetto a tulipano non è soltanto ottenere un contatto a disconnessione, ma molle piatte per applicare una pressione statica radiale ai contatti lamellari", spiega Mauroux. "L'incremento della forza di Lorentz aiuta le forze di contatto e contribuisce a raggiungere correnti di saldatura molto più elevate".

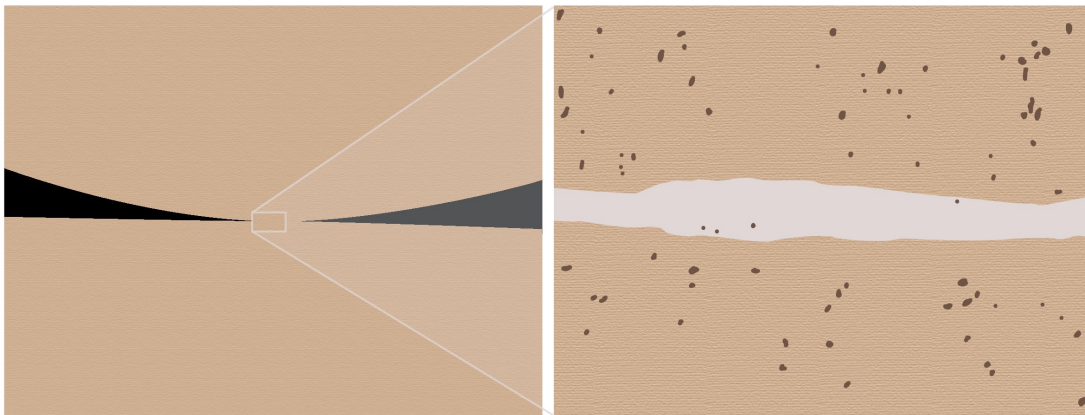


Figura 4. Zona di saldatura. A sinistra: Sezione della punta fusa (in alto) sulla linguetta (in basso). A destra: Dettaglio della zona di saldatura che mostra la formazione e la solidificazione di metalli fusi che formano una lega. Immagine per gentile concessione di ABB.

Valutare la forza totale dei contatti richiede l'accoppiamento di molti fenomeni fisici: la corrente elettrica che scorre attraverso ogni lamella crea un campo magnetico e ogni campo magnetico a sua volta genera forze che si esercitano su ogni altra lamella a causa delle rispettive correnti. Il team ha utilizzato la simulazione multifisica per calcolare la forza in diversi modi, offrendo robustezza e credibilità ai calcoli che sono stati validati attraverso esperimenti. I tecnici hanno sfruttato la simmetria del sistema per semplificare il modello e ridurre lo sforzo computazionale. Hanno modellato una singola lamella (ved. Figure 5 e 6) per catturare il comportamento dell'intero contatto a tulipano, con soltanto un ottavo del costo computazionale. Utilizzando il tensore degli sforzi di Maxwell, i calcoli sulla forza di Lorentz hanno confermato che la forza attrattiva supera la forza repulsiva di Holms e che il design a tulipano evita la separazione. Il valore della forza totale simulata può quindi essere usato per calcolare il valore della corrente di saldatura teorica, il che ha confermato la possibilità di condurre correnti di saldatura superiori.

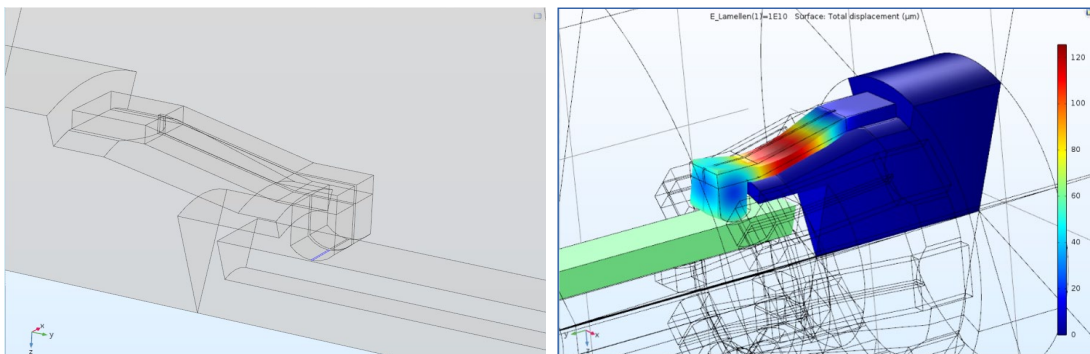


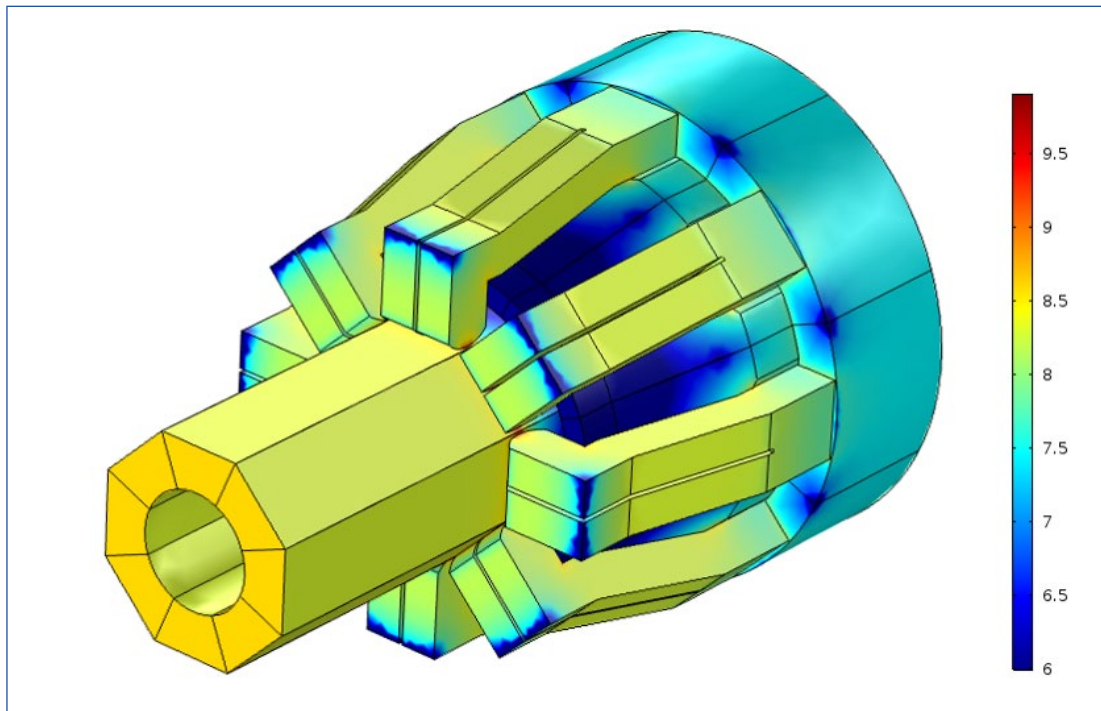
Figura 5. A sinistra: Geometria del contatto. A destra: deformazione della singola lamella di un design a tulipano. Immagine per gentile concessione di ABB.

SIMULAZIONE ED ESPERIMENTI FISICI IN ARMONIA

Una volta completata la simulazione, il progetto è stato sottoposto a numerose procedure di test. Questi test includono prove di tipo dielettrico per evitare guasti elettrici, test di resistenza meccanica e prove di temperatura d'esercizio. Infine, forse il più importante di tutti è il test di potenza KEMA, in cui i valori teorici della corrente devono essere verificati sperimentalmente per confermare l'aderenza agli standard IEC. Viene predisposta un'indagine empirica per determinare

un valore per la corrente di saldatura e l'interruttore viene esposto a condizioni analoghe a quelle di una centrale elettrica. Per ottenere la certificazione, l'interruttore deve essere in grado di fornire picchi di corrente in eccesso di 500 kA. "Abbiamo superato i test con agio, dimostrando che la simulazione e gli esperimenti fisici possono coesistere in armonia. È semplice combinare uno strumento come COMSOL con i test empirici", aggiunge Agostini. "L'interfaccia intuitiva ci ha permesso di coinvolgere nell'analisi molti fenomeni fisici diversi in modo strutturato e controllato".

Figura 6. Log della distribuzione della densità di corrente in una configurazione a tulipano. Immagine per gentile concessione di ABB.



UN MODELLO ELETTRO-TERMO-MECCANICO COMPLETO

L'obiettivo finale del team è creare un modello elettro-termo-meccanico completo per simulare progetti ancora più complessi e ottenere un'ampia comprensione di tutti i fenomeni fisici che si verificano negli interruttori di messa a terra. Inoltre, tra i progetti futuri c'è la possibilità di lavorare su un'accurata analisi dei processi fisici e chimici in un meccanismo di saldatura a contatto. "Un continuo avanzamento nella selezione e nella modifica dei materiali è fondamentale per migliorare l'affidabilità e le prestazioni dei nostri prodotti", conclude Mauroux. "Svilupperemo e adotteremo molti strumenti di simulazione e crediamo che COMSOL sia all'altezza delle sfide del futuro, quando sarà necessario modellare condizioni ancora più complesse".