

Marco Dal Prà (m_dalpra)

CORRENTI DI CORTO CIRCUITO NEGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE

14 August 2018

Questo articolo vuole essere una traccia per la stesura della Relazione di Calcolo delle correnti di corto circuito in un impianto di produzione di energia elettrica.

Il documento solitamente è necessario per comunicare al distributore il contributo alla corrente di cortocircuito nella rete di Media Tensione da parte dei generatori, ma è necessario anche per dimensionare la tenuta alla corrente di corto circuito dei quadri che devono essere installati nell'impianto.

I dati sono di fantasia ma la metodologia è quella che si applica a casi reali.

Segnalo comunque che si tratta di un articolo molto sintetico e che non pretende di affrontare il problema in modo esaustivo, ma solo di trasmetterne i principali elementi ed una possibile metodologia per affrontarli.



Wind_Turbine_Windmill.jpg

Premessa

I calcoli a seguire sono svolti con il metodo della Potenza di Corto Circuito, in MVA, che individua con rapidità ed efficacia sia l'entità delle correnti di corto circuito che le apparecchiature idonee all'impianto, nelle tolleranze consentite dalle taglie disponibili in commercio.

Questo metodo si trova sul volume “ **Piero Vezzani - Elementi di Progettazione Elettrica**” (Editore TNE), un libro che ho sempre ritenuto un piccolo capolavoro.

Nota

Le taglie commerciali dei quadri elettrici in Media Tensione, relativamente alla corrente di corto circuito, sono poche, tipicamente 12,5 – 16 – 20 – 25 kA, pertanto non è necessario eseguire calcoli con più di un decimale.

A tal fine durante i calcoli verranno effettuati degli arrotondamenti, sempre a favore della sicurezza e comunque contenuti entro il 5%.

Oggetto dei Calcoli

Il presente documento ha lo scopo di stimare le correnti che possano interessare l'impianto in caso di guasto o altre condizioni eccezionali; in particolare si tratta di calcolare:

- a) La corrente assorbita dalla rete MT in caso di corto circuito al secondario di un trasformatore;
- b) Il contributo apportato dai generatori alla corrente di corto circuito nel punto di consegna MT;

La relazione, infine, dovrebbe anche verificare come avviene l'energizzazione dei Trasformatori e se tali correnti superano le soglie delle protezioni di massima corrente.

Consistenza dell'Impianto

Al fine del presente studio, ipotizziamo di avere per le mani un impianto di produzione elettrica con potenza attiva nominale paria a 5 MW, determinati dalla somma di un impianto idroelettrico ed uno eolico.

L'impianto è esercito in regime di “Cessione Totale”, per cui l'energia prodotta è interamente immessa nella rete pubblica al netto dei servizi ausiliari.

Stimiamo quindi che l'impianto complessivamente sia composto da:

- Impianto n.1 - Turbina Idroelettrica da 3 MW
- Impianto n.2 - Torre Eolica da 2 MW
- Cavi di Media Tensione per collegare i due generatori alla Cabina Consegna
- Cabina Consegna in Media Tensione, con Quadro MT conforme Norma CEI 0-16.

Nella cabina consegna saranno pertanto presenti il Dispositivo Generale ed il Dispositivo di Interfaccia.

Fornitura Elettrica

L'impianto è connesso alla rete pubblica attraverso un unico punto di fornitura MT a 20 kV, punto che è collegato in antenna ad una Cabina Primaria posta a circa 5 km, incavo interrato.

La distanza dalla Cabina Primaria **è un dato che il progettista dovrebbe sempre verificare.**

Per lo schema di connessione fare riferimento alla figura 6 “B1” della Norma CEI 0-16.

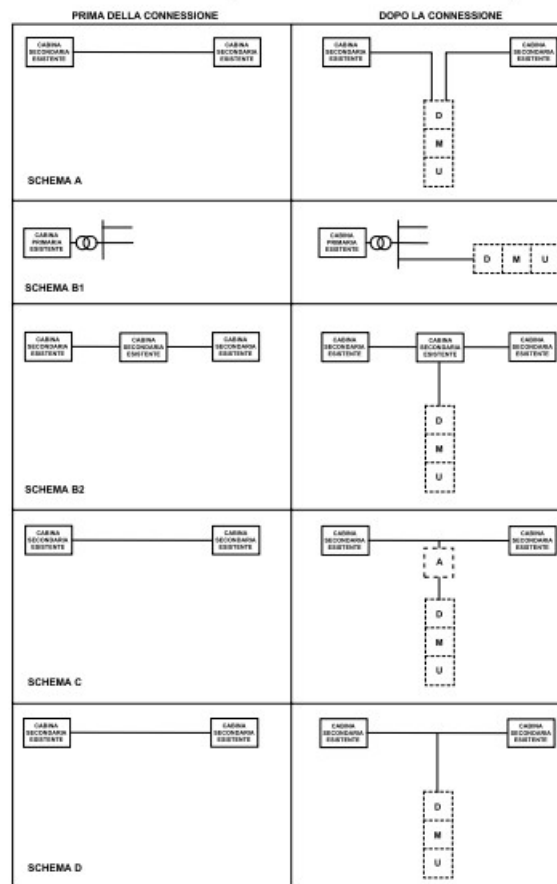


Figura 6 – Schemi di inserimento dell'impianto di Utente

Legenda: D = impianto di rete presso l'utenza; M = misura; U = impianto di Utente per la connessione; A = cabina aggiunta nell'ambito dell'impianto di rete per la connessione

Figura 6 Norma CEI 0-16

8.1.2 Inserimento in antenna da stazione AT/MT (schema B1)

L'inserimento prevede la realizzazione di una linea alimentata direttamente dalla Stazione AT/MT al fine di consentire la connessione di un'utenza. Tale tipologia d'inserimento può essere adottata qualora gli schemi di inserzione lungo una linea esistente non siano ammissibili dal

punto di vista tecnico. Il locale dedicato all'impianto di rete presso l'utenza deve poter ospitare le apparecchiature per un'eventuale adozione successiva dell'inserimento in entra-esce.

Dati Macchine Elettriche

A seguire sono stati stimati alcuni dati delle macchine elettriche da letteratura tecnica di questo tipo di impianti.

1. GENERATORE IDROELETTRICO



Turbina Idroelettrica ad asse orizzontale

Si tratta di una macchina sincrona (alternatore), in bassa tensione, collegato direttamente ad un trasformatore elevatore (montante rigido).

Dati Alternatore

Potenza Nominale	3600 kVA
Reattanza Subtransitoria X_d''	= 0,09 (9%)
Tensione Nominale	690V
Avvolgimenti	Stella con neutro a terra

Il parallelo con la rete avviene attraverso un interruttore in Media Tensione, pertanto l'energizzazione del trasformatore è eseguita dall'alternatore nella fase di avviamento.

Dati Trasformatore

Potenza Nominale	4000 kVA
Tensione Primario	20.000 V
Tensione Secondario	690V
Gruppo CEI	Ddo
Vcc	8 %

Potenze di Corto Circuito "Impianto 1"

Alternatore "G1"

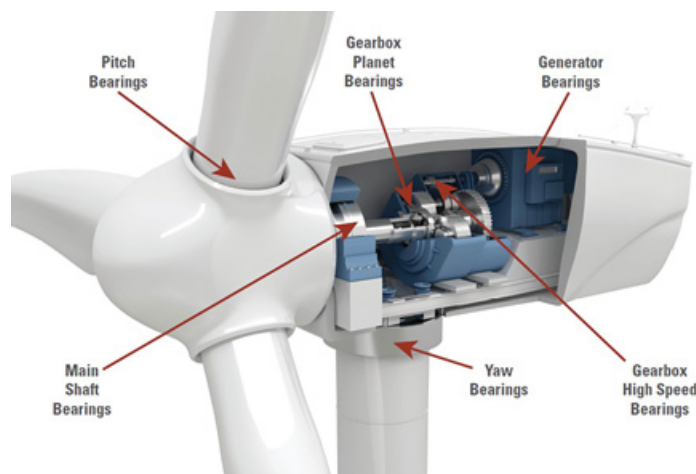
$$P_{cc\ G1} = \frac{3,6}{0,09} = 40\text{ MVA}$$

Trasformatore "TR1"

$$P_{cc\ TR1} = \frac{4}{0,08} = 50\text{ MVA}$$

Tali valori verranno utilizzati per i successivi calcoli.

2. GENERATORE EOLICO



Wind_Tower.jpg

La torre eolica produce energia elettrica con una macchina elettrica a tensione e frequenza variabile seconda della velocità del vento.

Al suo interno, pertanto, è presente un convertitore statico (inverter) che provvede ad erogare la corrente in uscita verso la rete alla tensione standard di 400V - 50 Hz; dalla rete è pertanto visibile solo il convertitore.

Queste macchine sono anche dette con tecnologia “full converter”.

Dati Convertitore

Tensione Nominale lato rete	400V - 50 Hz
Corrente nominale	3200A
Potenza Apparente	2,2 MVA
Corrente erogata in Corto Circuito	145% di I_n

Anche il generatore eolico è dotato di un trasformatore elevatore, da 2500 kVA con $V_{cc}=6\%$.

Il parallelo con la rete è effettuato in bassa tensione, per cui il trasformatore deve essere energizzato dalla rete MT.

Potenze di Corto Circuito "Impianto 2"

Inverter

$$P_{cc\ Inv} = 2,2 \times 1,45 = 3,2 \text{ MVA}$$

Trasformatore “TR2”

$$P_{cc\ TR2} = \frac{2,5}{0,06} = 42 \text{ MVA}$$

Si ricorda che per svolgere questi calcoli è necessario farsi consegnare le schede tecniche da parte dei costruttori del trasformatore (ad es. SEA, CELME, TESAR, ecc) e dell'alternatore (ad es. Stamford, Leroy-Somer, ecc).

Le schede tecniche del costruttore dell'insieme (ad esempio se si tratta di un cogeneratore o di un gruppo elettrogeno) non sono sufficienti, ed anzi sono fuorvianti, in quanto solitamente si occupano della potenza attiva in regime permanente e non del comportamento in corto circuito.

Rete di distribuzione MT interna



Cavi MT ad elica visibile per posa interrata

La cabina di consegna è connessa ai due generatori, eolico ed idroelettrico, utilizzando uno schema radiale, tramite linee MT in cavo interrato.

In particolare è stato utilizzato cavo ad elica visibile con sezione 95 mmq, tensione nominale 12/24 kV, dalle seguenti lunghezze:

1. Tratto di collegamento per l'impianto Idroelettrico : 1000 m
2. Tratto per il collegamento alla Torre Eolica : 500m

Utilizzando il catalogo di un costruttore di cavi MT, si desume che la Reattanza di tali cavi è pari a 0,12 ohm/km.

Calcolo Reattanze Cavi

Cavo 1 - Impianto Idroelettrico

$$X1 = 1 [km] \times 0,12 = 0,12\Omega$$

Cavo 2 - Impianto Eolico

$$X2 = 0,5 [km] \times 0,12 = 0,06\Omega$$

Calcolo Potenza di Corto Circuito dei Cavi

Al fine di determinare la potenze di corto circuito dei cavi, si utilizzerà la seguente formula:

$$P_{cc} = \frac{U^2}{X}$$

Pertanto:

$$P_{cc} \text{ Cv1} = \frac{20.000^2}{0,12} \cong 3300 \text{ MVA}$$

$$P_{cc} \text{ Cv2} = \frac{20.000^2}{0,06} \cong 6600 \text{ MVA}$$

I valori delle potenze di cortocircuito qui trovate, sono di due ordini di grandezza superiori ai valori di generatori e trasformatori (3000 e 6000 rispetto a 40 e 50); ciò significa che i cavi hanno un “peso” irrilevante sulle correnti di corto circuito, e cioè che il loro effetto di limitazione è trascurabile.

Nei calcoli a seguire, quindi, a favore della sicurezza tali dati saranno omessi.

Praticamente sarà come considerare che gli impianti di generazione sono adiacenti alla Cabina di Consegna (lunghezze dei cavi sono pari a zero), il che comporta una ulteriore semplificazione dei calcoli.

Contributo dei Generatori

Il calcolo seguente ha l'obiettivo di determinare il contributo alla corrente di corto circuito dei generatori eolici nel punto di consegna in Media Tensione (Cabina Consegna).

Tale corrente, rispetto a quella realmente erogata dai generatori, è ridotta grazie alla presenza delle impedenze che separano i generatori dal punto di consegna, ovvero trasformatori e cavi MT.

Come già descritto, nei calcoli i cavi non vengono considerati, in quanto la loro impedenza è trascurabile e tale esclusione è a favore della sicurezza.

1 - Contributo Generatore Idroelettrico

Per quanto riguarda l'impianto idroelettrico, il contributo alla corrente di corto circuito dovuto all'alternatore deve essere calcolato tenendo conto dell'effetto di "mitigazione" dovuto all'impedenza del trasformatore.

Ricordiamo che i dati di questi componenti sono:

1. Alternatore “G1” - $P_{ccG1} = 40 \text{ MVA}$
2. Trasformatore “TR1” - $P_{ccTR1} = 50 \text{ MVA}$

Pertanto la potenza di corto circuito dell'insieme (anzi della "serie") alternatore + trasformatore vale :

$$P_{cc1} = \frac{1}{\frac{1}{P_{ccg1}} + \frac{1}{P_{cctr1}}} = 22,3 \text{ MVA}$$

2 – Contributo Torre Eolica

Il contributo alla corrente di corto circuito del generatore eolico è dato dal collegamento in serie dell'inverter con il relativo trasformatore. Ricordiamo che i dati di questi componenti sono:

1. Inverter - Pcc Inv = 3,2 MVA
2. Trasformatore "TR2" - Pcc TR2 = 42 MVA

Pertanto la potenza di corto circuito dell'insieme Inverter + Trasformatore Elevatore è:

$$P_{cc2} = \frac{1}{\frac{1}{P_{ccinv}} + \frac{1}{P_{cctr2}}} = 3,1 \text{ MVA}$$

Corrente di Corto Circuito

Ore è possibile determinare la potenza di corto circuito complessiva dei generatori, sommando le potenze dei due impianti :

$$P_{ccG} = P_{cc1} + P_{cc2} = 22,3 + 3 = 25,3 \text{ MVA}$$

(si può notare che la torre eolica incide in modo molto limitato sul valore complessivo)

Pertanto, il contributo dei generatori alla corrente di c.c. sul punto di consegna vale:

$$I_{cc} = \frac{P_{ccG}}{1,732 \times U} = \frac{25,3}{1,732 \times 20.000} = 0,730 \text{ kA}$$

Conclusione : in caso di corto circuito trifase sulla rete MT, oppure nella stessa Cabina Consegna, la corrente erogata dall'impianto di produzione è di 730 A.

Considerazioni

Come mi ha fatto notare Massimo-G, la corrente che abbiamo ricavato ha un valore piuttosto importante.

In particolare questo valore è maggiore dei canonici 600A imposti dalla Norma CEI 0-16 per la taratura della soglia di massima corrente istantanea "I>>>" (anche codificata con il codice ANSI 50).

Questo è un problema di non poco conto, perché significa che un guasto sulla rete pubblica causa l'intervento della Protezione Generale nella nostra Cabina Consegna come se il guasto fosse

avvenuto nel nostro impianto, **con conseguente immediato fuori servizio di tutti i nostri generatori.**

Il cliente non sarà ovviamente soddisfatto di questo comportamento, soprattutto perché l'intervento del DG solitamente non gode di sistemi di riarmo automatico: come minimo si fa intervenire qualcuno in sopralluogo prima di riarmare un interruttore MT intervenuto per massima corrente.

Questo si traduce in ore e ore di mancata produzione, soprattutto se il luogo è difficile da raggiungere o se il fatto succede la notte tra venerdì e sabato (cioè resta completamente fermo fino a lunedì mattina !).

Questo valore, inoltre, potrebbe portare il distributore a prescrizioni anche piuttosto pesanti per limitare tale corrente, come ad esempio l'obbligo di installare presso i generatori "costose" reattanze limitatrici.

Contromisure "Software"

Il sistema più semplice per evitare il problema sopra citato (intervento della Protezione Generale per guasto sulla rete del distributore) è quello di adottare un Relè di Protezione dotato di soglia di massima corrente "Direzionale" (codice ANSI "67"), come ad esempio il modello NA60 di Thytronic.

Questa soglia interviene solo per le correnti entranti nell'impianto e non per quelle in uscita, quindi eviterà scatti del Dispositivo Generale per guasti nella rete pubblica.

Si spende qualcosa di più per il relè di protezione installato con il DG, ma si evitano "dolorosi" fuori servizio.

Contromisure "Hardware"

Un secondo sistema per evitare scatti intempestivi del Dispositivo Generale, potrebbe essere quello di far costruire i trasformatori con valori della tensione di corto circuito (V_{cc}) maggiori del consueto, in modo da aumentare il loro "ruolo" di impedenza.

Ad esempio, aumentando di 2 punti percentuali la V_{cc} dei trasformatori del nostro impianto, si porterebbe la V_{cc} a valori di circa 650A.

Questa soluzione potrebbe anche essere vista come "migliorativa" dal distributore, che potrebbe rinunciare ad imporvi delle reattanze limitatrici (con conseguenti problemi di gestione dell'energia reattiva che le reattanze assorbirebbero dalla rete oppure dai vostri generatori, con maggiori perdite complessive nell'impianto).

Attenzione che valori troppo elevati della $V_{cc}\%$ si ritorcono contro la macchina generatrice, elevando la tensione nel lato BT quando la macchina eroga a massima potenza (direi quindi che il 10% è il valore limite per questo tipo di impianti che utilizzano componenti "standard"; diversamente sarebbero necessari alternatori con isolamenti superiori, ecc.).

Contromisure "Diplomatiche"

Un'ultima strada che si può percorrere, come prevede anche la Norma CEI 0-16, è di chiedere al Distributore una deroga sulla soglia di massima corrente e di tararla ad un valore superiore dei classici 600A.

Questa deroga in presenza di un collegamento "dedicato" o comunque in antenna, ha tutta le ragioni per essere richiesta, come indicato al Capitolo 8.7 della Norma; nel caso di esempio si potrebbe tarare la soglia $I_{>>>}$ a 750A, il che risolverebbe tutti i nostri problemi.

Ricordo comunque che il Distributore deve sovrintendere il collegamento di nuovi generatori alla rete in modo che la corrente di corto circuito non superi mai il potere di interruzione delle apparecchiature (12,5 kA), pertanto se tale valore venisse comunque superato presso gli altri utenti, le reattanze limitatrici sarebbero comunque prescritte.

Contromisure "Calcolate"

Come detto in premessa, il metodo di calcolo della Potenza di Corto Circuito è certamente approssimato rispetto alla metodologia canonica, che tiene conto delle componenti resistive e induttive. Si sacrifica il calcolo rigoroso con un calcolo veloce ma approssimato dalla parte della sicurezza.

Per contro, l'uso di un metodo che utilizza solamente approssimazioni per eccesso potrebbe creare dei problemi, in particolare nei rapporti con il distributore.

Nel caso in esame, dove il contributo dei generatori supera i 700A, una volta terminata la stima con il metodo delle Potenze di Corto Circuito, si potrebbe optare per la stesura di un calcolo dettagliato, tenendo conto di tutti gli elementi che compongono l'impianto.

In questo modo si dovrebbero ottenere risultati migliori, cioè valori di " I_{cc} " più bassi, ma non è detto che l'entità della diminuzione porti il valore complessivo al di sotto della soglia che il Distributore ritiene critica per la rete MT della zona.

Purtroppo qui non è possibile generalizzare: il progettista dovrà fare le opportune verifiche e confrontarsi con il Distributore caso per caso.

Corto Circuito lato BT

Un altro guasto importante nell'impianto è un eventuale corto circuito trifase nel lato BT di un trasformatore.

Nel caso specifico il trasformatore MT/BT che richiamerebbe la maggiore corrente in caso di guasto è quello dell'impianto idroelettrico.

Vediamo che cosa comporta questo tipo di guasto.

Dati Principali "TR1"

Potenza	4000 kVA
Tensione Nominale Primario	20.000
Tensione Nominale Secondario	690V
Tensione di c.c.	8 %

Corrente Nominale'	$I_n' = 116 \text{ A}$
Corrente Nominale"	$I_n'' = 3350 \text{ A}$

Tale trasformatore, in caso di guasto trifase ai morsetti del secondario, riportando la I_{cc} al primario, richiama dalla rete la seguente corrente :

$$I_{cc} = 1450 \text{ A}$$

Tale dato riguarda il singolo comportamento del trasformatore, come se la rete a monte avesse a disposizione una potenza di corto circuito infinita.

In realtà, la corrente richiamata dalla rete dal trasformatore MT/BT in caso di corto circuito sul secondario dipende anche dalle caratteristiche della stessa rete a monte.

Ad esempio, considerando che in cabina primaria fosse presente un trasformatore AT/MT da 63 MVA, la potenza di corto circuito nel punto di consegna MT a 20 kV sarebbe di circa 450 MVA (Tale valore corrisponde ad una corrente di Corto Circuito di 12,5 kA, come indicato nella Norma CEI0-16).

Nel caso reale, essendo la Cabina Primaria distante circa 5km, tale valore si riduce a circa 300 MVA; ricordo che comunque il distributore spesso ha trasformatori AT/MT di potenza minore, 40 oppure 25 MVA, per cui ci saranno molti casi dove la potenza di Corto Circuito potrebbe ulteriormente ridursi).

A questo punto possiamo mettere in serie l'impedenza del trasformatore con quella della rete e calcolare la potenza di corto circuito sul secondario del trasformatore MT/BT dell'impianto idroelettrico:

$$P_{cc}[TR1] = 50 \text{ MVA}$$

$$P_{cc}[Rete] = 300 \text{ MVA}$$

$$P_{cc}[Totale] = \frac{1}{\frac{1}{50} + \frac{1}{300}} = 43 \text{ MVA}$$

$$I_{cc}[20kV] = \frac{P_{cc}}{1,732 \times U} = \frac{43}{1,732 \times 20.000} = 1,24 \text{ kA}$$

Tale valore può essere utilizzato ad esempio per studiare la selettività delle protezioni, sia per verificare il comportamento del Dispositivo Generale nel caso di un guasto "interno" all'impianto, sia per raggiungere la massima continuità di esercizio tra i due impianti di produzione (in modo che il guasto di uno non vada ad inficiare il funzionamento dell'altro).

Conclusione

Con questo articolo ho cercato di esemplificare un metodo per determinare le correnti di Corto Circuito in una rete elettrica di Media Tensione.

In particolare ho cercato di spiegare come calcolare (stimare) il contributo alla corrente di corto circuito della rete pubblica da parte dei generatori.

Tale calcolo è richiesto dai distributori al momento della presentazione della "Richiesta di Connessione" ai sensi del Testo Integrato per le Connessioni Attive (TICA).

Il calcolo serve inoltre per verificare a quanto ammonta la corrente di corto circuito nella Cabina Consegna, dato che si somma alla corrente "convenzionale" di 12,5 kA.

In ogni caso, da esperienza posso dire che generalmente i quadri MT con potere di interruzione pari a 16 kA si potrebbero scegliere ad occhi chiusi per la rete italiana a 20kV. Le preoccupazioni nascono solo nei casi in cui ci si trovasse la Cabina Primaria estremamente vicina. Il buon progettista un calcolo sommario dovrebbe comunque sempre farlo.

Nella seconda parte ho rapidamente esaminato come calcolare le correnti richiamate dai trasformatori in caso di corto circuito trifase sul secondario, anche se si tratta di un caso estremo per il quale preferirei l'intervento di tutte le protezioni possibili, per mettere in sicurezza più velocemente possibile l'impianto, a discapito dell'eventuale continuità di esercizio di altri rami dell'impianto. Sono comunque strategie che si dovrebbero concordare con il committente.

Ringrazio fin da ora chi vorrà apportare suggerimenti e miglioramenti.

Estratto da "https://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:M_dalpra:correnti-di-corto-circuito-negli-impianti-di-produzione"