

a Bargi è andato in corto l'alternatore



ciò che resta dell'alternatore

Questo articolo va letto come seguito di quello di qualche giorno fa che spiegava le peculiarità della centrale di Bargi [le centrali idroelettriche di pompaggio](#) – la novità di oggi, dopo la pubblicazione della foto con ciò che è rimasto dell'alternatore al piano -8, è la seguente: era in corso una *prova di stress* dell'alternatore (funzionamento leggermente al di sopra della massima potenza) quando si è verificato un problema al rotore dell'alternatore.

Tale problema ha determinato disallineamenti e problemi al cuscinetto sino allo scardinamento del rotore e conseguente corto circuito con fiammata esplosiva, crollo del solaio tra -8 e -9, rottura di una tubazione (probabilmente di servizio) con acqua, rottura dei circuiti di lubrificazione a bagno d'olio del cuscinetto, probabile danneggiamento meccanico della turbina.



il cuscinetto che regge il peso
posto nella parte sommitale
dell'alternatore

Per ragionare meglio su quanto è probabilmente accaduto è bene fornire qualche dato quantitativo e costruttivo. L'immagine qui a lato ci mostra un alternatore verticale della stessa potenza di quello di Bargi. La presenza di personale lavoro ci consente di stimare le dimensioni. Nella parte alta, quella specie di cupola ospita il cuscinetto che scarica sullo statore tutto il peso dell'albero.

- **correnti alla massima potenza** – la potenza dell'alternatore è di 185 MVA, la tensione è di 17 kV e dunque, in condizioni di massima potenza le correnti sullo statore sono di $185'000/(\sqrt{3} \cdot 17) \text{ m} = 6'300 \text{ Ampere}$. Per avere una idea di che conduttori ci vogliono per correnti di migliaia di Ampere tenete presente che gli elettrodomestici più energivori che usiamo in casa, tipo il forno, usano correnti da 10 A. Ho calcolato le correnti perché sono loro a determinare gli effetti

distruttivi sia di tipo termico, sia di tipo elettrodinamico quando c'è un cortocircuito e le correnti in gioco, per qualche secondo, diventano 1'000 volte più grandi. Si tratta di una cosa importante che riprendo più avanti.

- in un **alternatore** ci sono essenzialmente due componenti: uno **statore** (o indotto) in cui ci sono avvolgimenti di rame (3 nei sistemi trifase, disposti simmetricamente a 120° l'uno dall'altro) collocati all'interno di un nucleo di ferro (che serve ad agevolare il campo magnetico).

Tali circuiti sono dimensionati per sopportare le correnti di massimo carico, mentre il numero di spire dipende dalla tensione che si vuole ottenere. Tra una spira e l'altra la tensione non è elevatissima, ma tante spire in serie producono i 17 mila volt e, per questa ragione, i conduttori, in tutto o in parte, sono isolati in bagno d'olio.

Qualunque circuito metallico percorso da corrente genera calore in maniera proporzionale al quadrato della corrente che lo percorre e dunque, anche se a resistenza è bassa, con quelle potenze in gioco, lo statore deve essere raffreddato con circolazione forzata di aria raffreddata dall'acqua del lago. Lo statore, anche se è la parte che genera la energia elettrica, è la parte meno critica della macchina perché non ha parti in movimento e se è stato ben dimensionato non dà problemi.



▪ rotore con in primo piano il giuntolato turbina

un **rotore** (o induttore) costituito da un grande cilindro di ferro entro cui sono disposte spire di rame tra loro ravvicinate sino a determinare un avvolgimento (solenoidale). Alle due estremità di questo solenoide, quando viene percorso da una corrente elettrica continua, si creano due poli magnetici N-S. Se se ne mette un altro a 90° si crea una macchina a 4 poli. Se se ne mettono altri due a 45° si crea una macchina a 8 poli come quella di Bargi.

Il numero di poli determina la velocità di rotazione del rotore perché la corrente indotta deve fare 50 cicli al secondo e dunque se i poli sono due il rotore deve fare 50 giri al secondo, 25 con 4, 12.5 con 6, 6,25 con 8. Non sembra un gran che come frequenza angolare, ma tenete presente che si tratta di oggetti di diametro di circa 3 metri, della lunghezza intorno a 3 e del peso di centinaia di tonnellate.

Il rotore è la parte critica dell'alternatore. I conduttori sono cavi e vengono raffreddati con aria forzata, ma la vera criticità sta nel fatto che sono vicini e possono venire facilmente a contatto (deformazioni termiche, effetti centrifughi) producendo dei piccoli corto circuiti asimmetrici che, oltre al danno elettrico, producono un danno importante sull'albero e sul cuscinetto perché

producono uno squilibrio del sistema.

Il cuscinetto lubrificato con olio sotto pressione sta sopra l'alternatore e regge tutto il peso dell'albero e del rotore scaricando tale peso sullo statore. L'albero del rotore nella parte inferiore, attraverso un giunto, è collegato all'albero della turbina da cui riceve la energia meccanica.

Ecco spiegato quanto ho scritto all'inizio sul rumore che tutti hanno sentito prima del botto finale. Il cuscinetto ad ombrello iniziava ad andare in sofferenza e produceva quel rumore anomalo.

- L'alternatore funziona in base alla **legge della induzione elettromagnetica**: se un campo magnetico taglia le spire di un avvolgimento si induce in esso una forza elettromotrice (fem) che noi misuriamo in volt. E' proprio quello che il magnetismo variabile del rotore produce nelle spire dello statore. Tale fem è proporzionale al valore del campo magnetico e alla velocità di rotazione (che, come sappiamo, a regime deve essere quella giusta per dare i 50 hertz).

Dunque per avviare la macchina si fa così: si apre la valvola che mette in comunicazione la condotta con la turbina e si inizia a dare corrente al rotore sino a raggiungere quel valore che determina il massimo di magnetismo (il ferro si comporta così ed è inutile andare oltre perché grandi aumenti di corrente determinerebbero solo piccoli aumenti di campo magnetico). La macchina è stata dimensionata in modo tale che quando gira a 375 giri al minuto e la corrente nei circuiti del rotore (detto anche induttore) è quella giusta abbiamo in uscita 17 kV a 50 hertz.

Quando l'alternatore eroga energia elettrica le correnti che circolano nello statore producono a loro volta un campo magnetico. Per ragioni in cui non mi addentro le correnti

alternate trifasi producono un **campo magnetico rotante** che, in base alla legge della induzione elettromagnetica (Faraday-Neumann-Lentz) si oppone alla causa che le ha generate e dunque questo campo frena il rotore che, per continuare a girare richiede maggiore energia meccanica alla turbina (l'energia si conserva e quella meccanica dovuta alla caduta dell'acqua diventa energia elettrica)

- Come avete letto, il processo di revisione ed aggiornamento tecnologico era in corso da un paio d'anni, ma tale revisione non aveva riguardato l'alternatore che in questo periodo era rimasto fermo. Quando è stato riavviato è saltato fuori quel problema generato dal rotore

I dettagli non sono ancora noti e le mie sono solo deduzioni razionali: **corto circuito di qualche spira**, probabile malfunzionamento del cuscinetto fermo da tempo, disallineamento del rotore e dell'albero, problematiche gravi ai cuscinetti, disallineamento importante e contatto devastante tra rotore e statore con corto circuito sui 17 mila volt.

La cosa abbastanza paradossale è che nelle centrali di pompaggio quelle macchine vengono fermate e riavviate ogni sera perché quando si deve ripompare l'acqua dal bacino inferiore a quello superiore la turbina deve diventare una pompa girando al contrario e lo stesso fa l'alternatore che diventa un motore.

- Quando due fili sono percorsi da corrente si sviluppano tra loro **forze** (dette **elettrodinamiche**) che sono proporzionali al prodotto delle correnti e inversamente proporzionali alla distanza.

Nel ferro queste forze hanno valori almeno mille volte superiori a quelle che si hanno in aria. La macchina è dimensionata per sopportare le correnti a pieno carico, ma

quando c'è un corto circuito se la corrente aumenta di 1000 volte la forza lo fa di un milione e a ciò si aggiungono gli effetti di riscaldamento. Ne conseguono l'incendio e l'esplosione della macchina come si vede bene dalla immagine che mostra ciò che è rimasto dell'alternatore.

Ecco quanto, probabilmente, è avvenuto quando si è sentito quella specie di fischio (qualcosa che stava girando male e che stressava i cuscinetti) mentre in sala controllo i due **lavoratori più anziani** (i tecnici esperti) hanno cercato di fare il possibile per salvare il salvabile: hanno dato l'allarme e fatto evacuare i presenti, togliere corrente al rotore, chiudere la valvola di alimentazione della turbina, ma non ce l'hanno fatta; la famosa scatola nera ci dirà come è andata nei dettagli.

Mi sia consentito a conclusione della spiegazione dire qualcosa sulle polemiche rituali relative ai subappalti, ai lavoratori ultrasessantacinquenni e alla mancanza di personale Enel.

Le aziende coinvolte erano tre e rappresentano il meglio del meglio del settore. In particolare mi attendo qualche notizia da ABB Tecnomasio Brown Boveri azienda leader a livello mondiale nel settore delle grandi macchine elettriche. Immagino che non fosse presente solo per occuparsi di servomeccanismi. Quali controlli erano stati fatti sull'alternatore prima di avviarlo in piena potenza?

I due lavoratori anziani erano consulenti supersperti, sono rimasti al loro posto sapendo che stavano rischiando la vita e si sono comportati da eroi

il personale Enel in funzione di supervisore era presente
