

MINI HYDRO PP REVAMP - GENERATORI A MAGNETI PERMANENTI (PMG)

Franco PODIO – Gianluca MANCUSO
ENEL Produzione – Global Renewable Energies
E-mail: franco.podio@enel.com

Abstract

L'articolo presenta l'esperienza fatta da ENEL in questi anni con installazione di gruppi dotati di generatori a magneti permanenti (PMG) analizzando i vantaggi che si hanno e le problematiche che si sono presentate facendo un bilancio a impianti conclusi ed in servizio, ovvero con un feedback da tutte le fasi del processo e da tutti gli aspetti.

Keywords: Idroelettrico, efficienza, PMG,

1. INTRODUZIONE

In questo ultimo decennio, grazie anche al meccanismo degli incentivi, ENEL ha avuto una intensa attività in campo idroelettrico, sia sui piccoli impianti (generalmente di nuova costruzione) come impianti per DMV e recupero salto, sia nel campo dei rifacimenti degli impianti esistenti.

La costruzione dei nuovi piccoli impianti è generalmente originata da due motivazioni se la concessione è già esistente:

La prima è il recupero energetico che si può ottenere dallo sfruttamento del deflusso minimo vitale richiesto. Tale deflusso deve essere garantito per legge dalle dighe e traverse al fine di preservare la vita nel tratto a valle del letto del fiume o del torrente.

La seconda motivazione è invece il recupero energetico di salti non sfruttati, in genere a valle di impianti esistenti o comunque all'interno del tratto di fiume di cui si ha già la concessione.

Più raro è il caso di impianti nuovi a causa delle difficoltà e del tempo necessario per avere la concessione idraulica.

Il revamping su impianti esistenti è invece dettato ovviamente dalla vetustà dei gruppi stessi e sostenuto in genere dagli incentivi di legge senza i quali il ritorno economico dell'intervento diventa difficilmente sostenibile.

Nel 2015 il centro idroelettrico di Torino dell'ENEL ha festeggiato il centesimo gruppo (nuovo o sostituito) connesso in parallelo alla rete elettrica eseguito nell'ultimo decennio.

Inoltre dalla sua fondazione sono entrati in servizio circa cento impianti corrispondenti a 200 gruppi ed una potenza totale di 3000 MW con potenze dei gruppi che vanno dai 100 kW ai 300 MW di quasi tutte le tipologie.

2. EFFICIENZA NELL'IDROELETTRICO

E' evidente che uno dei principali criteri in fase di progetto di un impianto idroelettrico è quello di

massimizzare il rendimento totale di impianto al fine di ottenere la maggiore potenza efficiente.

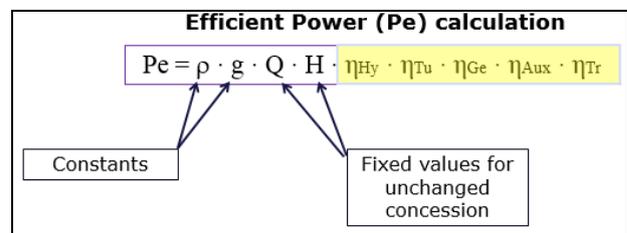


Fig. 1

Il rendimento totale di un impianto idroelettrico come espresso nella formula di Fig.1 è formato dal prodotto dei rendimenti delle varie parti di impianto.

Lasciando a una discussione a se il rendimento della parte idraulica e concentrandosi sulla parte elettromeccanica i fattori su cui si può maggiormente agire sono i rendimenti del gruppo ovvero su turbina e su alternatore oltre che ai servizi ausiliari, mentre il trasformatore elevatore ha già rendimenti elevatissimi.

In genere buoni risultati si possono ottenere sulla parte di turbina, ma per fare questo si devono investire notevoli risorse in studi idraulici dei profili delle ruote delle turbine, costi che non essendo replicabili in scala commerciale non possono essere giustificati su macchine di media o piccola potenza.

Se pensiamo al generatore questo è in genere un generatore sincrono a poli salienti (sono possibili anche soluzioni con generatori a poli lisci)¹ o un generatore asincrono nel caso di piccole potenze.

3. I GENERATORI A MAGNETI PERMANENTI

In questi ultimi anni grazie anche gli sviluppi ed alle applicazioni sui generatori adottati nella generazione eolica si è iniziato un primo utilizzo di generatori

¹ Un esempio di applicazione è realizzato nell'impianto di generazione e pompaggio di Dietro La Torre (TO)

sincroni a magneti permanenti (PMG) anche in campo idroelettrico.

ENEL come altri ha iniziato ad adottare questa tecnologia.

Uno tra i primi impianti in cui ENEL ha adottato questa soluzione è stato l'impianto per DMV realizzato sulla traversa di ALA (TN) realizzato per HDE (Società partecipata da ENEL). In tale impianto sono stati installati dalla STE Energy gruppi di generazione denominati VLH dall'acronimo di Very Low Head di costruzione dalla ditta francese MJ2.

I principali impianti realizzati sino ad ora con generatori di questa tecnologia sono:

- Impianto di Ala DMV (HDE)
- Impianto di Panperduto (EGPV)
- Impianto di Tagliuno (EGP);
- Impianto di Pontefiume (Enel Produzione)

Da un punto di vista della tipologia dei gruppi tutti i gruppi installati in questi impianti sono simili, ovvero si tratta di gruppi con turbina Kaplan ad asse verticale e con generatori a magneti permanenti accoppiati direttamente alla turbina senza moltiplicatore, inoltre il generatore è disposto in acqua. Tale disposizione oltre a ridurre l'impatto visivo nei nuovi impianti come Panperduto (Fig. 2)



Fig.2

Che in quelli esistenti come Tagliuno. (Fig 3 prima dell'intervento e Fig. 4 dopo)

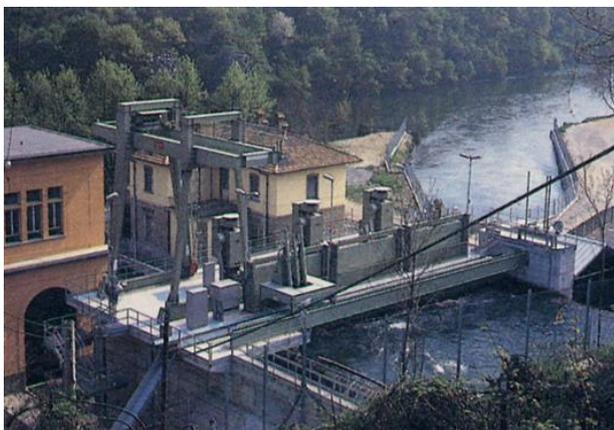


Fig.3

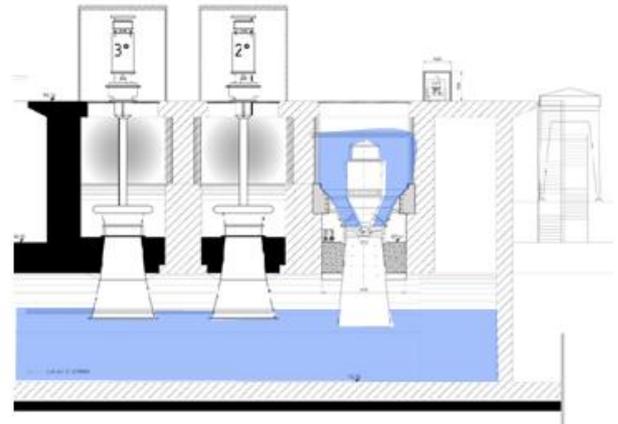


Fig.4

Il generatore in questo modo risulta tutto immerso nell'acqua ed ha una maggiore garanzia di raffreddamento. Si evita di conseguenza il circuito di raffreddamento e pertanto si ha una ulteriore riduzione delle perdite con un conseguente aumento dell'efficienza dei sistemi ausiliari); infine si consegue con questa soluzione con generatore immerso anche una riduzione del rumore emesso dall'impianto.

In merito al rendimento di questa tipologia di generatore è evidente che esso sarà maggiore in quanto non sono più presenti le perdite di eccitazione poiché il flusso di eccitazione viene generato dai magneti permanenti.

Infine un vantaggio ulteriore è quello della assenza degli anelli di eccitazione sul rotore e delle conseguenti spazzole (eliminando così un problema di manutenzione).

Tale problematica in realtà è anche parzialmente risolta nelle soluzioni con eccitazione brushless dove non sono più presenti gli anelli e le spazzole di potenza.

Dopo tutte queste elencazioni di aspetti positivi è però necessario evidenziare anche le problematiche legate al fatto che il flusso di eccitazione è non variabile.

Ciò ha come conseguenza che:

In caso di scatto del gruppo o comunque quando il gruppo va in sovra velocità la tensione aumenta in proporzione sottoponendo il generatore stesso e a seconda del collegamento anche altri componenti dell'impianto a pericolose sovratensioni (problema in parte presente anche nelle soluzioni con eccitazione brushless).

Non poter regolare la potenza reattiva del gruppo e di conseguenza il fattore di potenza.

Questa problematica può diventare una complicazione in Italia dove sia per prescrizioni legate alle prescrizioni per l'allaccio alla rete che per non completezza delle norme stesse

Al momento la Norma CEI 0-16 non prevede questa tipologia di gruppi.

In assenza di una chiara attribuzione si è convenuto di considerare:

- I gruppi direttamente connessi alla rete come sincroni
- I gruppi connessi mediante convertitori statici: come full converter (tecnologia consolidata nell'eolico)

Per i gruppi sincroni la Norma CEI 0-16 richiede la regolazione della potenza reattiva in un'area compresa tra $\cos\phi_i=0,8$ in sovraeccitazione e $\cos\phi_i=0,98$ in sottoeccitazione. Fig. 5

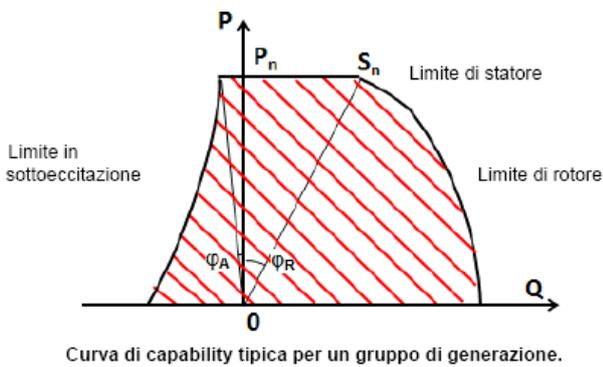


Fig. 5

I generatori a magneti permanenti non hanno la possibilità di effettuare alcune regolazione della potenza reattiva se non attraverso l'utilizzo di dispositivi elettronici (AFE). Un secondo tipo di regolazione della potenza reattiva è realizzabile con generatori realizzati con rotore a tecnologia mista (Ibridi), cioè una parte di poli formati da magneti permanenti e una parte di poli avvolti tradizionalmente. In questo caso i magneti permanenti vengono utilizzati per portare la macchina a vuoto alla tensione nominale, mentre la corrente di eccitazione dei poli può essere fornita da una brushless coassiale al fine di non avere anelli sull'albero.

Come detto in precedenza il rotore di queste macchine è normalmente costituito da un tamburo su cui sono fissati dei magneti permanenti. Questo consente di ridurre le dimensioni di ingombro dei gruppi e permette di non dover raffreddare il rotore visto che non vi è alcuna circolazione di corrente nello stesso (nel caso di rotore con soli magneti permanenti) o con poche perdite nel caso di rotori ibridi.

All'opposto questi rotori sono caratterizzati da una bassissima inerzia, pertanto a seguito di scatti e blocchi del gruppo la macchina tende ad andare facilmente in sovravelocità, in quanto i tempi di chiusura degli organi di intercettazione (distributore) sono dettati dalle caratteristiche idrauliche dell'installazione.

Non avendo grandi masse rotanti questi rotori non risultano particolarmente sollecitati dalle velocità raggiunte, tanto che tutta la macchina è in grado di reggere anche per tempi molto lunghi un esercizio alla velocità di fuga.

Tuttavia non essendo presente alcun sistema di eccitazione indipendente, i generatori a magneti permanenti forniscono tensione a qualunque velocità di esercizio, dallo spunto fino alla fuga e come noto, la stessa tensione è direttamente proporzionale alla velocità di rotazione.

Questa caratteristica fa sì che in fuga la tensione ai morsetti di un generatore a magneti permanenti accoppiato ad una turbina Kaplan possa raggiungere valori prossimi a tre volte la tensione nominale. A questo scopo gli stessi generatori sono realizzati con tensioni nominali relativamente basse rispetto alla stessa taglia (valore tipico 3,3 kV per la media tensione) in modo che anche in fuga il sistema di isolamento dello statore non venga particolarmente sollecitato.

Analogamente la corrente nominale per le macchine di questo tipo è piuttosto elevata anche per gruppi di alcuni MVA di potenza, aspetto di cui tenere conto nel dimensionamento delle altre apparecchiature dell'impianto (cavi MT, quadri MT, trasformatore elevatore).

Al fine di evitare che le sovravelocità del gruppo possano originare sovratensioni pericolose per il resto dell'impianto è consigliabile utilizzare l'accorgimento di posizionare due interruttori in serie tra il gruppo e il trasformatore elevatore, entrambi dimensionati per reggere continuamente la massima tensione del generatore, in modo da avere una piena ridondanza. Ad esempio interruttori con tensione di riferimento 12 kV per gruppi con tensione nominale 3,3 kV. Fig. 6

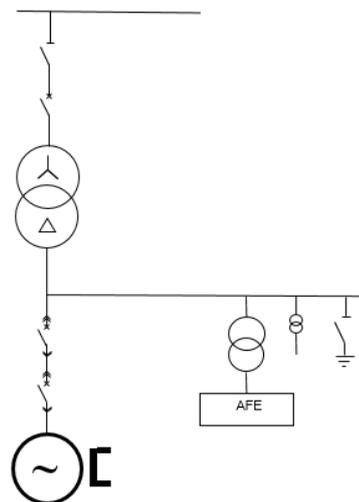


Fig. 6

I due interruttori, dei quali uno potrebbe essere quello di gruppo, vengono aperti simultaneamente durante gli eventi di blocco o scatto del gruppo che originano fenomeni di sovratensione, ed agiscono in pratica da apparecchiature di sezionamento tra la macchina e l'impianto.

Come detto in precedenza la particolarità di non poter diseccitare la macchina fa sì che questa fornisca tensione ai morsetti fintanto che si trova in rotazione. In caso di un guasto sul sistema MT esterno al generatore, lo stesso guasto viene quindi alimentato, seppure con tensione variabile, per tutto il transitorio di fermata del gruppo a partire dall'istante di blocco. Inoltre durante i primi istanti successivi all'azione di blocco, per i motivi sopra spiegati relativi alla bassa inerzia ed ai tempi di chiusura del distributore, il guasto viene alimentato con una tensione molto maggiore di quella nominale.

Per evitare il protrarsi di correnti di guasto che potrebbe danneggiare lo statore, ad esempio le correnti omopolari che sono presenti nella maggior parte dei guasti (quelli monofase a terra) e sono particolarmente stressanti per gli avvolgimenti, un buon sistema è utilizzare la tecnica di esercire la macchina con il neutro isolato. A seguito del guasto quindi il sistema di automazione decreta il blocco elettrico del gruppo, apre sia gli interruttori posti tra il generatore ed il trasformatore elevatore che quello di connessione con la rete, ed il guasto se presente nel sistema elettrico di centrale viene isolato, mentre se posto tra gli interruttori e il generatore, ad esempio sui cavi di connessione del generatore, viene alimentato con una corrente molto bassa, dipendente dalle capacità verso terra del sistema elettrico.

La messa terra del neutro per queste macchine è invece normalmente realizzata sul centro stella del trasformatore elevatore, pertanto agisce solo con la macchina in normale funzionamento.

In Italia sia la Norma CEI 0-16 che le Regole Tecniche degli Enti Distributori impongono una taglia massima per i trasformatori energizzabili dalla rete MT, al fine di limitare le correnti di magnetizzazione prelevabili dalla rete, per non creare disturbi al sistema di protezioni della rete stessa.

In alcune installazioni (tipicamente superiori ad 1 MVA) ci si potrebbe trovare quindi con l'esigenza di realizzare l'impianto con gruppi a magneti permanenti nella configurazione a montante rigido, cioè nella condizione di energizzare il trasformatore durante il transitorio di avviamento.

In tal caso i due interruttori posti tra generatore e trasformatore agiranno solo da "disaccoppiatori elettrici", mentre l'interruttore di parallelo sarà considerato quello posto sul lato a tensione maggiore del trasformatore elevatore. Cioè quello lato rete.

La sequenza di avvio del gruppo dovrà quindi prevedere la chiusura dei due interruttori posti tra gruppo e trafo precedentemente alla chiusura dell'interruttore di macchina (quest'ultima comandata dal dispositivo di parallelo).

Nelle installazioni realizzate si è scelto di effettuare la chiusura dei due interruttori posti tra gruppo e trafo già a

macchina ferma e avviare il gruppo alimentando il trasformatore ed i quadri a tensione e frequenza variabili da fermo fino alla velocità nominale del gruppo, previa verifica con i costruttori del trasformatore elevatore.

Pur essendo la reattanza delle apparecchiature MT dipendente dalla frequenza, è stata operata questa scelta in quanto il diagramma V/Hz dei generatori è perfettamente lineare e non vi è isteresi, cioè non c'è tensione residua a macchina quasi ferma.

4. CONCLUSIONI

La breve esposizione dell'esperienza dell'utilizzo di queste macchine in campo idroelettrico ha evidenziato il fatto che i numerosi vantaggi che si hanno con questa tipologia di generatori possono essere facilmente vanificati se non si provvede con opportuni accorgimenti.

Per esempio l'utilizzo del full converter può annullare il vantaggio del miglior rendimento del generatore PMG.

Le prescrizioni imposte dalle norme CEI possono portare a delle soluzioni molto complesse per essere soddisfatte.

Con una attenta valutazione delle varie problematiche è possibile però arrivare a delle soluzioni. Tecnologicamente migliori degli impianti tradizionali.

Possiamo sostanzialmente affermare che l'applicazione di queste tecnologie fatta da ENEL in diverse configurazioni ha permesso una ampia e positiva analisi delle problematiche e il raggiungimento degli obiettivi prefissati.