

## 1) Generazione di energia elettrica a bordo navi

Una delle alternative per azionare il generatore può essere quella di calettarlo sull'asse porta elica (generazione ad asse) così che una parte della potenza meccanica prodotta dal motore termico di propulsione venga sfruttata per produrre energia elettrica.

Generazione asse in C.C.

Generazione asse in C.A.

L'idea del generatore asse si manifesta verso la fine degli anni '60 quando i progettisti, prendendo coscienza della crisi energetica, intuirono la possibilità di risparmiare sul carburante necessario al motore termico del gruppo elettrogeno prelevando la potenza necessaria all'approvvigionamento degli utenti elettrici dal motore principale.

La generazione asse è un sistema di produzione d'energia elettrica che sfrutta la rotazione dell'asse-elica per azionare gli alternatori (generatori sincroni). In particolare molti di questi sono incorporati proprio al suo interno nel senso che il rotore dell'alternatore consiste in una parte dell'asse stesso dell'elica.

È evidente che a bordo di una nave, oltre alla generazione-asse, devono essere previsti anche i gruppi elettrogeni indipendenti (turbo-generatori e/o diesel-generatori) che siano in grado di fornire energia elettrica all'impianto di bordo, quando la velocità dell'elica è troppo bassa e in caso di sosta della nave.

Un problema della generazione-asse consiste nello scindere la frequenza e la tensione del sistema elettrico dalla velocità variabile dell'asse-elica.

Quindi, è evidente che tale sistema di generazione è più affidabile sulle navi con le variazioni di giri dei motori di propulsione contenuti entro certi limiti.

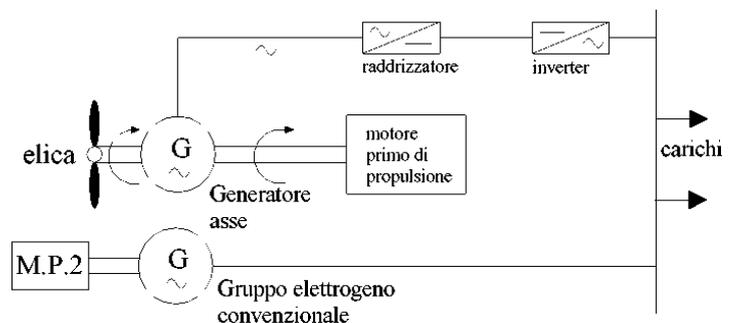
Un altro problema è quello della stabilità del servizio qualora l'energia elettrica venga prodotta, parallelamente, dai gruppi elettrogeni convenzionali e dai generatori-asse, in quanto si vogliono far collimare dei sistemi di generazione con caratteristiche elettriche totalmente differenti.

Ai fini della stabilità del servizio, si possono realizzare degli impianti elettrici particolari che consentono diverse possibilità d'esercizio, la cui scelta viene effettuata in base alle esigenze, ovvero:

- Esercizio con i soli gruppi elettrogeni tradizionali;
- Esercizio con i soli generatori-asse;
- Esercizio in parallelo.

Per quanto riguarda il problema della frequenza e della tensione, è possibile rendere costanti tali grandezze elettriche in due modi:

- Generazione in corrente continua a tensione costante che alimenta un motore in C.C., che a sua volta aziona un generatore sincrono trifase per la produzione di energia in corrente alternata a frequenza e tensione costante;
- Generazione in C.A. con conversione in C.C. e successiva inversione della C.C. in C.A. a tensione e frequenza costante. Con tale soluzione l'alternatore-asse può esercire in parallelo ai gruppi elettrogeni convenzionali; in particolare questi ultimi, di norma, sono esclusi durante la navigazione, in quanto la generazione-asse è sufficiente a sopperire alle esigenze delle utenze di bordo. I gruppi elettrogeni tradizionali funzionano durante la manovra e in servizio di porto.



La generazione-asse può essere adottata sia alle navi monoeliche che bieliche, in quest'ultimo caso si installa un generatore-asse per ogni elica con funzionamento indipendente l'uno dall'altro, e per ognuno di essi si adotta una delle soluzioni precedentemente accennate al fine di ottenere la frequenza e la tensione costante. Nel caso di due alternatori-asse ognuno alimenta la propria sezione del sistema di sbarre dimensionata per un dato numero d'utenti; ma bisogna comunque prevedere la possibilità di commutare gli utenti da una sezione all'altra del sistema di sbarre nel caso in cui uno dei due generatori-asse andasse in avaria.

Per quanto riguarda il costo dell'impianto di generazione-asse, bisogna considerare la maggiore potenza dei motori di propulsione, e si deve tenere conto del costo della trasmissione meccanica tra l'asse-elica e l'alternatore. Difatti, è necessaria la presenza di una catena d'ingranaggi (di solito si utilizzano delle ruote dentate e non trasmissione a cinghia) per ottenere una velocità di rotazione del rotore dell'alternatore superiore a quella dell'asse-elica che è inferiore a quella necessaria. Quest'ultimo costo sarà tanto minore quanto maggiore è la velocità di rotazione dell'asse-elica che per le navi moderne è  $\geq 1200$  giri/min.

Per quanto riguarda il costo d'esercizio bisogna valutare quello del combustibile e della manutenzione.

Effettuando un confronto tra un impianto con generazione–asse e di uno sprovvisto emerge che l'impiego di tale sistema comporta:

- Un risparmio sul costo del combustibile;
- Un minore consumo di olio lubrificante;
- Minore costo di manutenzione.

Le *centrali elettriche principali* sono quelle che forniscono energia elettrica all'intero impianto elettrico navale in:

- Servizio normale;
- In porto;
- In navigazione.

In base al tipo di nave si ha un diverso tipo e numero di centrali principali;

Per espletare il servizio di porto, vi può essere anche una terza centrale principale con diesel–alternatori realizzata in apposito locale.

I motori primi che muovono l'alternatore possono essere:

Turbine.	Motori diesel
Facilità di regolazione; Maggiore sovraccaricabilità; Minori vibrazioni; Minor peso e ingombro.	Minori consumi specifici di combustibile; Maggiore prontezza di intervento; Assenza degli apparati di supporto alle turbine ( condensatori, condotte, caldaie).

Il gruppo elettrogeno detto *turbogeneratore* è un sistema costituito da una turbina, da un riduttore, da un generatore sincrono e da tutti gli accessori necessari; il tutto è disposto su di un basamento d'acciaio auto–portante disposto sul fondo della nave.

Le turbine che forniscono potenza al turbo–alternatore si differiscono in:

- Turbina a vapore convenzionale (con combustibile fossile);
- Turbina a vapore nucleare;
- Turbina a gas.

Il riduttore consiste in una ruota dentata che è posta tra la turbina e il generatore allo scopo di ottenere la velocità di 1800 giri/min (turbo generatore) alla frequenza di 60Hz e con due coppie polari, oppure la velocità di 1200 giri/min (generatore semplice) corrispondente a 60Hz e con 3 coppie polari.

È da tenere presente che le turbine di bordo lavorano al massimo rendimento quando il generatore sincrono fornisce una potenza pari all'80% di quella nominale.

Gli alternatori di bordo sono in genere o macchine del tipo a poli salienti con avvolgimenti rotorici alimentati a corrente continua ed avvolgimenti statorici disposti a formare un carico trifase a stella equilibrato, oppure delle macchine sincrone a (60–50)Hz con  $\cos\phi=(0,75-0,80)$ .

Relativamente ai sovraccarichi, i turbo–alternatori presentano le seguenti caratteristiche:

Erogano in, servizio continuativo, una potenza superiore a quella nominale del 10%;

Forniscono una sovrappotenza del 25% di quella nominale, per un tempo massimo di due ore;

Forniscono una sovracorrente del 50% di quella nominale a basso fattore di potenza per la durata di 5 minuti.

### **Turbine a vapore con propellente fossile**

Gli impianti a vapore di questa tipologia sono comunemente installati a bordo delle moderne navi da guerra e le loro caratteristiche peculiari sono:

- Impianti di propulsione efficienti, affidabili e ben manovrabili;
- Capacità di controllo parziale del carico;
- Efficiente velocità di crociera;
- Utilizzo del vapore per l'acqua calda e la climatizzazione delle cabine per le navi passeggeri.

Nonostante tutto presentano degli svantaggi:

- Complessità e ingombro dell'impianto stesso;
- Bassa percentuale di combustione;
- Grossa riserva di carburante;
- Ripetute e dispendiose revisioni;
- Inefficienza alle basse velocità.

## Turbine a gas

Le turbine a gas hanno avuto un grosso sviluppo nella propulsione navale essendo state impiantate massicciamente su una grossa varietà di navi. Principalmente si utilizzano per navi molto veloci come Fregate, Cacciatorpediniere e per imbarcazioni della guardia costiera.

Tali impianti hanno avuto un largo sviluppo per le seguenti caratteristiche:

- Compattezza dell'impianto;
- Brevi tempi di avviamento;
- Alta affidabilità;
- Facilità di rimpiazzo dei pezzi danneggiati;
- Costruzione con tecnica modularistica;
- Utilizzo per la generazione di emergenza per i limitati tempi di presa di carico;
- Alta silenziosità e le basse emissioni di vibrazioni.

Questi apparati presentano ugualmente dei rilevanti inconvenienti come:

- Emissioni di gas combustibili ad alte temperature;
- Poca efficienza a carico parziale;
- Grosso divario tra la velocità delle turbine e quella degli alternatori o turbo-alternatori, costringendo i costruttori ad utilizzare dei riduttori di velocità meccanici che hanno come conseguenza una diminuzione del rendimento globale dell'impianto.

## Dieselgeneratore

Questo è un sistema, essenzialmente, costituito da:

- Un motore diesel e i relativi accessori (scarico per i gas combustibili, comandi e controlli, filtri, ecc.);
- Generatore sincrono;
- Sistema di avviamento;
- Organi di refrigerazione.

L'avviamento viene realizzato con un piccolo motore alimentato in corrente continua tramite una batteria d'accumulatori.

Il raffreddamento lo si effettua con acqua dolce attraverso un ciclo chiuso refrigerato in opportuni scambiatori di calore con acqua di mare.

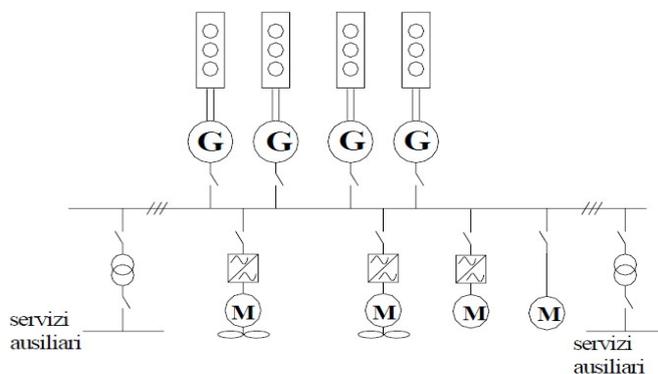
I principali vantaggi di un diesel-generatore sono:

- Consumi specifici estremamente limitati;
- Assenza del riduttore di velocità (connessione tramite giunto elastico);
- Elevata prontezza d'intervento (adatto ad intervenire nelle situazioni di emergenza).

Per contro, presentano i seguenti svantaggi:

- Maggiore peso e vibrazioni (realizzazione di un particolare basamento);
- Maggiore inerzia;
- Difficoltà nella regolazione dei giri;
- Maggiore ingombro;
- Frequenti manutenzioni;
- Irregolarità di rotazione;

Scarsa sovraccaricabilità (sono in grado di fornire una sovra potenza del 10 % della potenza nominale per sole due ore; ed una sovracorrente del 50 % di quella nominale a basso fattore di potenza per massimo 5 minuti).



L'irregolarità della rotazione dell'albero è provocata dalla coppia periodica applicata a ciascun cilindro del motore, ed è composta da una coppia costante (coppia utile) e da tante coppie armoniche. La presenza dei momenti armonici può portare a fenomeni di risonanza meccanica ed elettromeccanica, e per evitarli è necessario che la frequenza dei momenti armonici d'ordine più basso e di ampiezza maggiore, sia sufficientemente lontana dalla frequenza di oscillazione naturale del gruppo elettrogeno in esame.

Il grado di irregolarità del gruppo diesel-generatore è espresso dal rapporto:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{(\omega_{max} + \omega_{min})/2}$$

dove:

$\omega_{max}$  = velocità angolare massima dell'albero motore in un giro;

$\omega_{min}$  = velocità angolare minima dell'albero motore in un giro;

Esistono i valori limite del grado di irregolarità secondo le norme R.I.N.A. che devono essere rispettati per non compromettere il buon funzionamento dell'impianto elettrico di bordo.

Per diminuire il grado d'irregolarità si impiegano diesel molto veloci che hanno:

- Elevato momento di inerzia;
- Un maggiore rendimento;
- Un minore peso ed ingombro.

Per contro hanno:

- Maggiore rumorosità;
- Bisogno di una maggiore manutenzione;
- Bisogno di combustibile più leggero e più costoso.

### Impianti nucleari

I vantaggi di questi impianti sono:

- L'elevata autonomia che posseggono a parità di carburante;
- Indipendenza dall'aria per la combustione.

Queste peculiarità hanno fatto sì che tali impianti venissero ampiamente utilizzati per gli allestimenti della parte propulsiva e generativa dei sottomarini.

Nonostante tutto tali impianti presentano:

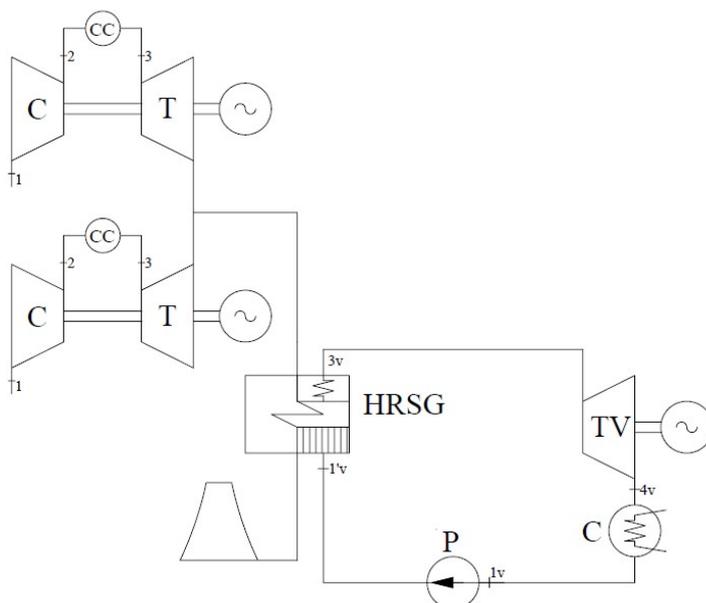
- Elevati costi di manutenzione;
- Lunghi tempi di avviamento;
- Produzione di scorie radioattive.

Per continuità di discorso è utile menzionare anche gli impianti ibridi che sono delle installazioni dove sono presenti motori primi di diversa natura ed accoppiati con opportuni riduttori.

Alcune configurazioni tipiche sono:

- DIESEL GENERATORI - TURBINE A GAS
- TURBINE A GAS PICCOLE - TURBINE A GAS GRANDI
- TURBINE A GAS - TURBINE A VAPORE

L'ultimo tipo d'impianto sta avendo molto successo soprattutto per il risparmio di carburante in quanto utilizzando come combustibile primario il gas si fornisce potenza anche all'impianto a vapore tali impianti sono detti anche combinati e nascono da una logica costruttiva estremamente semplice.



Si esegue, infatti, un primo ciclo termodinamico con impianti a gas e poi con l'energia termica prelevata mediante uno scambiatore di calore dai gas di scarico, che raggiungono temperature di circa 500 °C, si introduce il ciclo termodinamico a vapore. Uno schema di un impianto combinato può essere il seguente:

Con questa configurazione ogni turbina a gas fornisce 1/3 della potenza complessiva dell'impianto, così come la turbina a vapore e quindi si possono usare tre alternatori uguali realizzando una favorevole economia di scala.

Per concludere si riporta una tabella riepilogativa dove si mostrano i vantaggi e gli svantaggi più significativi degli impianti esaminati.

	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Impianti a vapore convenzionali</b>	Efficienza nella velocità di crociera Affidabilità Ottime performance a carico parziale Adempimento a funzioni ausiliarie	Ingombranti Lunghi tempi di avvio Molta manodopera Inefficienza a basse velocità Lunghe e costose riparazioni
<b>Impianti nucleari</b>	Grande autonomia Assenza di aria per la combustione Affidabilità ottima	Aumento di stazza per la schermatura Alti costi di costruzione e manutenzione Richiesta personale qualificato Lunghi tempi di avvio Lunghe riparazioni Radioattività
<b>Turbine a gas</b>	Piccole e compatte Piccoli tempi di avvio Silenziosità Modularità	Bassa efficienza a carichi parziali Problemi meccanici per l'elevato numero di giri Alte temperature allo scarico
<b>Diesel</b>	Alta efficienza a tutti i carichi Bassi costi iniziali Facilità di installazione Basso numero di giri Poco personale affidabilità	Manutenzione periodica Vibrazioni Olio lubrificante Problemi di spazio per le molte unità da installare

Per tutte le navi mercantili di stazza lorda superiore od uguale alle 500 t e per tutte le navi passeggeri abilitate a navigazioni internazionali, i registri impongono la presenza di una fonte autonoma di energia elettrica indipendente dalla principale, che viene denominata centrale di emergenza che è costituita da:

- Una batteria di accumulatori capace di sopperire al carico di emergenza senza ricariche e senza eccessive cadute di tensione;
- Uno o più gruppi elettrogeni costituiti ciascuno da un motore primo Diesel collegato ad un generatore elettrico che deve fornire, in condizioni di emergenza, energia ai carichi detti non interrompibili;
- Piccoli gruppi elettrogeni a gas (garantiscono un rapido avviamento e una veloce presa di carico).

Il motore Diesel in questione deve essere in grado di avviarsi anche quando la rete principale non è in grado di fornire energia (black start).

Per ottenere tale risultato si deve tenere a disposizione la quantità d'energia necessaria per l'avviamento e ciò di solito viene fatto immagazzinando aria compressa o prevedendo un collegamento al sistema UPS (Uninterruptible Power Supply).

Nel caso di nave passeggeri, se la centrale d'emergenza è costituita da moto-generatori le due fonti d'energia sopra descritte sono entrambe presenti.

Il sistema di accumulatori è presente allo scopo di disporre di energia anche durante il tempo di avviamento dell'elettrogeno di emergenza, ovviamente tale batteria deve essere inserita automaticamente in caso di mancanza della fonte principale. A questo provvedono gli UPS

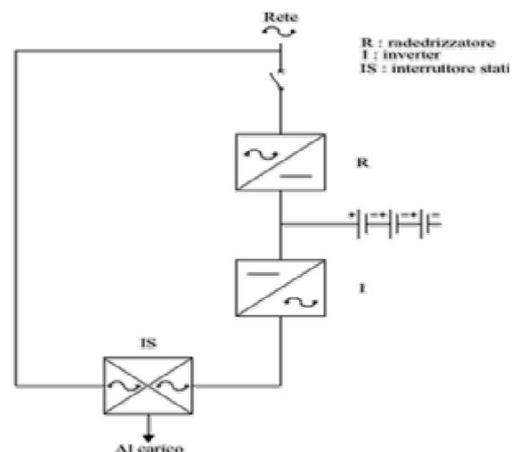
che garantiscono una continuità in sostanza assoluta dell'alimentazione a tutte quelle utenze che non tollerano neppure una breve interruzione dell'alimentazione, come ad esempio:

- Computer;
- Impianto antincendio;
- Parti dell'impianto luce destinate ad illuminare le vie di fuga in condizioni di emergenza.

Lo schema di un gruppo statico di continuità è riportato in figura:

In condizione di normale funzionamento, e quindi in presenza di tensione sulla rete, il raddrizzatore ha il compito di fornire alle batterie di accumulatori l'energia necessaria per mantenerli alla massima carica.

In caso d'assenza di tensione il commutatore statico, indicato con IS nella figura, commuta in modo rapido (pochi millisecondi.) l'alimentazione dei carichi dalla rete alle batterie d'accumulatori, che forniscono l'energia precedentemente accumulata attraverso l'inverter, che dovrà essere naturalmente a commutazione forzata.



La centrale d'emergenza deve essere sistemata a poppavia delle paratie di collisione, fuori del cofano dell'apparato motore e sopra il ponte delle paratie stagne, in modo che il suo funzionamento sia sicuro in caso d'incendio o d'altri incidenti che mettano fuori uso la centrale elettrica principale.

Da notare che tali prescrizioni si riferiscono non solo all'elettrogeno, ma anche ai relativi quadri elettrici, serbatoi di combustibile, accumulatori, apparecchiature d'avviamento e simili, vale a dire a tutti i componenti della centrale stessa. Il locale ideale che soddisfa a tutte queste esigenze viene dunque ricavato nelle sovrastrutture, talvolta nella base del fumaiolo.

L'impianto d'emergenza deve essere in grado di sopportare il carico massimo che può essere richiesto in pratica, per almeno 36 ore nel caso di nave passeggeri, per un periodo più breve nel caso di navi mercantili.

Durante questo tempo esso deve alimentare tutti quei servizi che sono necessari per la sicurezza dei passeggeri e dell'equipaggio nel caso in cui avvenga un'emergenza che metta fuori uso le centrali principali.

In genere la centrale d'emergenza deve poter alimentare, se sono elettrici, i seguenti servizi:

- Illuminazione d'emergenza in tutte le zone necessarie per le esigenze di salvataggio;
- Illuminazione d'emergenza in tutti i corridoi, scale, uscite;
- Illuminazione d'emergenza nei locali dell'apparato motore e nelle stazioni di comando;
- Pompa d'emergenza per esaurimento;
- Pompa dell'impianto antincendio automatico a nebulizzazione (sprinklers);
- Verricelli per la messa in mare delle imbarcazioni di salvataggio;
- Manovra delle porte stagne e tagliafuoco;
- Centralino fanali di navigazione e segnali;
- Apparati di radiocomunicazione;
- Reti di comunicazione e segnalazioni interne d'emergenza e d'allarme;
- Timonerie ed ausiliari indispensabili dell'apparato motore;
- Apparecchiature radio elettriche;
- Fanali di navigazione;
- Lampada per segnali diurni.

Per garantire la massima sicurezza e continuità di servizio, si adotta anche una particolare disposizione dei cavi partenti dalle varie centrali (principali e d'emergenza). In particolare sui ponti bassi sono installati e fatti correre i cavi provenienti dalla sorgente principale, mentre sui ponti alti sono sistemati i cavi provenienti dalla centrale d'emergenza.

In ciascuna zona si risale dal basso con i cavi delle alimentazioni "normali" (centrale principale), e si scende con i cavi delle alimentazioni d'emergenza.

Per separare ulteriormente le due linee d'alimentazione in modo da evitare, così, che un singolo guasto le danneggi entrambe, queste sono disposte su ponti diversi oppure su due diversi lati della nave.

Gli accumulatori statici impiegati sono o al piombo o alcalini, gli alcalini più utilizzati sono al Nichel-Cadmio e si differenziano in:

accumulatori a scarica lenta (S.N.) (forniscono una corrente di intensità medio-bassa e sono impiegati per servizi ausiliari in genere (ad esempio per l'illuminazione di riserva indipendente);

accumulatori a scarica rapida (S.R.) (forniscono una elevata corrente e sono adoperati nell'avviamento dei gruppi elettrogeni).

La differenza costruttiva tra i due tipi risiede nella resistenza interna che è molto più piccola nel tipo (S.R.).

Altri tipi di batterie che si stanno impiegando a bordo sono quelle al litio che sono superiori alle batterie alcaline, e si utilizzano per l'alimentazione degli strumenti oceanografici e dei sistemi ecogoniometrici.

Relativamente alla disposizione delle batterie di accumulatori, le norme CEI impongono che quelle di bassa potenza devono essere sistemate in armadi adeguatamente ventilati e in locali a temperatura inferiore ai 45 °C.; quelle di potenza elevata devono essere ubicate in locali diversi da quelli dell'apparato motore ventilati in modo che la temperatura non sia superiore ai 45 °C.