

Antonio Cavallaro  
Stefano De Falco

# Sistemi elettrici navali



Copyright © MMIX  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133 A/B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-2534-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: marzo 2009

## Indice

<i>Presentazione</i> .....	7
<b>Capitolo I</b>	
Generazione di energia elettrica a bordo navi .....	15
<b>Capitolo II</b>	
Dimensionamento dei carichi elettrici di bordo .....	33
<b>Capitolo III</b>	
Sistemi di distribuzione dell'energia elettrica di bordo .....	41
<b>Capitolo IV</b>	
Configurazione delle reti di distribuzione dei sistemi elettrici di bordo .....	53
<b>Capitolo V</b>	
Panoramica sui problemi dei sistemi elettrici di bordo .....	133
<b>Capitolo VI</b>	
Misure sperimentali su una nave passeggeri .....	159
<i>Bibliografia</i> .....	185



## **Prefazione**

### Generalità ai sistemi elettrici navali

Gli impianti elettrici sulle navi hanno tradizionalmente rivestito un ruolo poco rilevante per i costruttori e gli armatori nell'ambito della struttura navale. Inoltre, la competenza dell'equipaggio preposto al governo della nave non era eccelsa in materia elettrica, ma limitata solo allo svolgimento di mansioni generiche.

L'introduzione dell'energia elettrica a bordo delle navi si è avuta alla fine dell'ottocento, ed essendo la forma di energia più pulita e flessibile, ha avuto un rapido sviluppo sostituendo tutte le altre forme di energia precedentemente utilizzate. Attualmente, con l'evoluzione dei servizi, l'energia elettrica è indispensabile per il funzionamento di una nave.

Un impianto elettrico navale costituisce un apparato "isolato" in quanto non ha possibilità d'interconnessione con altri sistemi esterni di energia, e di conseguenza deve essere autosufficiente per le sue molteplici finalità. Per questo motivo è preferibile avere un numero elevato dei sub-sistemi che compongono l'intero sistema nave.

Alcuni di tali componenti sono:

- Sistema di propulsione;
- Sistema per la generazione dell'energia elettrica;
- Impianto di distribuzione dell'energia elettrica;
- Sistemi per la movimentazione delle merci;
- Sistemi d'ausilio per la navigazione;
- Sistemi per le telecomunicazioni;
- Impianto di condizionamento, illuminazione e ventilazione;
- Impianto d'emergenza.

Nel corso degli ultimi anni le applicazioni elettriche a bordo delle navi sono aumentate notevolmente ed allo stato attuale tutte le attività vengono svolte mediante l'energia elettrica, e la tendenza futura è

quella di una totale elettrificazione della nave; si parla infatti di navi *full electric*.

Il sistema elettrico di bordo è costituito da una vasta gamma di apparecchiature e, al variare della missione che esse devono assolvere, si possono distinguere tre diversi tipi di apparati che possono così schematizzarsi:

- PRODUZIONE ENERGIA suddivisa in meccanica, termica convenzionale, ibrida e di emergenza;
- DISTRIBUZIONE che riguarda le stazioni di trasformazioni, le reti primarie, le stazioni di conversione e le cabine di distribuzione, le reti secondarie e la quadristica;
- CARICHI suddivisi in impianti di propulsione, impianti ausiliari e carichi ordinari, impianti di sicurezza e impianti speciali.

La caratteristica principale di un impianto elettrico di una nave è quella di essere un sistema isolato, quindi l'insufficienza o l'assenza d'energia rappresenta un problema rilevante in quanto viene seriamente compromessa la funzionalità operativa.

Si pensi ad esempio alla mancanza d'alimentazione per le apparecchiature elettriche di navigazione, telecomunicazione e governo. In particolare la disponibilità d'energia elettrica è assolutamente indispensabile in condizioni d'emergenza per azionare i carichi dei sistemi di sicurezza come l'impianto antincendio, i verricelli per il calo delle scialuppe, la chiusura delle porte stagne e qualsiasi altra operazione che gestisca la safety.

A bordo delle navi il funzionamento delle apparecchiature elettriche non è per niente agevole viste le condizioni sfavorevoli d'esercizio cui sono sottoposte come le avverse condizioni ambientali (forti escursioni termiche, elevato tasso di umidità, alta corrosione da salsedine) e le notevoli sollecitazioni meccaniche (forti vibrazioni, ripetuti movimenti dello scafo dovuti ai naturali movimenti di beccheggio e rollio).

Per questi motivi le macchine che comunemente si utilizzano per gli impianti terrestri non sono facilmente adoperabili a bordo, in quanto le norme richiedono soluzioni appropriate.

Tanto è vero che se si utilizzassero attrezzature industriali occorrerebbe declassarle per il loro impiego sulle navi.

Le condizioni d'esercizio di un impianto elettrico a bordo risultano essere molto gravose se rapportate a quelle di un analogo impianto terrestre; infatti, esso è un esempio di rete non prevalente dove il rapporto tra potenza generata e potenza utilizzata dai carichi è molto prossima all'unità anche al variare dei diversi profili operativi.

Ciò vuol dire che si possono verificare usualmente forti oscillazioni di tensione e frequenza dovute ad inserzioni di grosse utenze come ad esempio i motori di propulsione. Inoltre, le linee elettriche sono di lunghezza ridotta e di conseguenza le correnti di cortocircuito sono molto sostenute.

Altro aspetto molto importante e che rende particolare il sistema elettrico di bordo è il limitato spazio disponibile per i componenti, ed inoltre il loro peso deve essere quanto più contenuto per evitare di sottoporre lo scafo ad elevato stress.

Per dimensionare la potenza elettrica da installare a bordo si deve considerare che il sistema elettrico di una nave opera in condizioni abbastanza differenti tra loro che si differenziano al variare del tipo di nave (rimorchiatore, nave da crociera, mercantile, militare, ecc) dal numero di passeggeri e dal carico imbarcato.

In ogni caso le tipiche condizioni operative sono le seguenti:

- Condizioni operative continuative in navigazione;
- Condizioni operative continuative in sosta;
- Condizioni operative saltuarie (manovra ed emergenza).

La generazione d'energia elettrica a bordo di una nave è principalmente affidata a gruppi elettrogeni che possono essere costituiti da un generatore accoppiato ad un motore diesel o ad una turbina (a gas o a vapore) con i relativi accessori, i quali devono fornire energia a tutto l'impianto in qualsiasi condizione di funzionamento.

La potenza erogata è suddivisa su più gruppi, come suggeriscono le norme internazionali, in modo tale da assicurare una maggiore continuità ed affidabilità del servizio e migliorare le prestazioni di ciascun elettrogeno, anche se la ripartizione in più gruppi è svantaggiosa dal punto di vista dell'ingombro, peso e costo d'installazione.

Fino alla metà del secolo scorso, le potenze elettriche installate a bordo erano dell'ordine dei 10kW e le attività di coperta venivano

svolte usufruendo di attrezzature non elettriche; successivamente, in linea col progresso tecnologico, è andata sempre più aumentando l'introduzione dell'elettronica sulle navi il che ha semplificato notevolmente lo svolgimento di molte attività che prima erano difficilmente realizzabili.

Questo rapido progresso ha fatto nascere molte questioni circa il miglioramento della funzionalità operativa dell'impianto elettrico, questioni che sono del tutto analoghe a quelle in discussione nel settore degli impianti elettrici terrestri sia industriali che civili.

Il problema fondamentale connesso con i sistemi elettrici navali, riguarda la progettazione dell'impianto elettrico per navi di stazza superiore a quelle costruite fino a pochi decenni fa. Infatti, per le navi moderne che hanno una stazza notevolmente maggiore delle loro anziane sorelle, l'impianto elettrico, sia di potenza che di segnale, non è progettato ex novo ma solamente ampliato seguendo i vecchi standard di costruzione introducendo delle unità di generazione, conversione e quant'altro necessario in modo da poter sopperire alla domanda di potenza richiesta da una nave di dimensioni maggiori.

Questa metodologia di costruzione, pur garantendo il corretto e perfetto funzionamento della nave, presenta delle pecche dal punto di vista affidabilistico poiché l'introduzione anche di un solo elemento in più, che per la logica seguita dell'ampliamento di potenza non può trovarsi affidabilisticamente in parallelo con gli altri, tende a far diminuire complessivamente l'affidabilità dell'impianto.

Inoltre, gli elementi introdotti s'interfacciano difficilmente col sistema di controllo integrato che gestiva i vecchi impianti rendendo difficile, in caso di guasto, la gestione e la distribuzione delle risorse energetiche che sono a disposizione. Nasce, quindi, anche l'esigenza di riqualificare il sistema di gestione e controllo delle risorse d'energia con un sistema di monitoraggio integrale.

Per identificare il livello tecnico e la modernità delle attrezzature di bordo nel caso di navi già costruite, o per stabilire nell'ambito della progettazione la potenza da installare a bordo, si fa riferimento al coefficiente d'elettrificazione. Esso costituisce un indice del grado di elettrificazione di una nave, e viene riportato col simbolo  $K_E$ .

Tale coefficiente è espresso dal rapporto tra la potenza installata in generazione, espressa in kW, e un parametro caratteristico della nave:



- Dislocamento (per navi militari);
- Portata lorda (per navi mercantili);
- Stazza (per navi passeggeri).

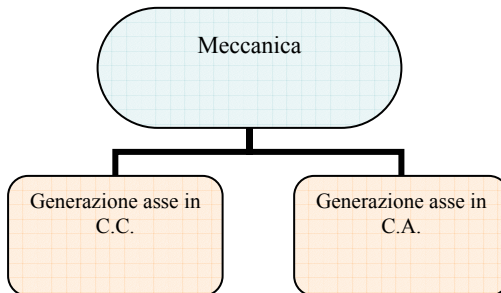
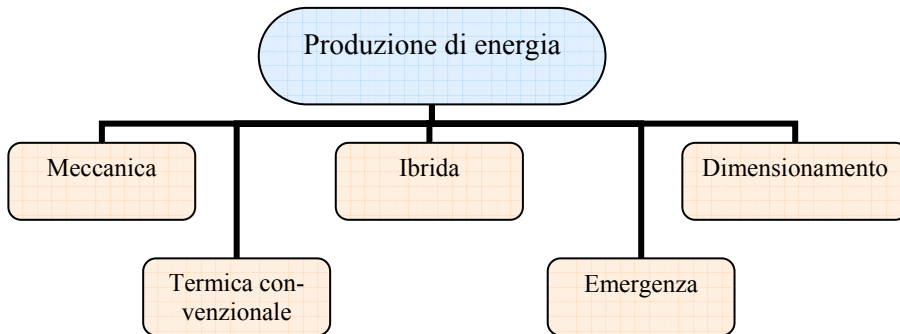
Per il calcolo del coefficiente d’eletrificazione, invece della potenza installata (potenza generata), si può anche considerare la potenza nominale dell’insieme di tutti gli utenti di bordo. A titolo indicativo, nella tabella, si riportano i coefficienti di eletrificazione di alcune fra le più importanti navi passeggeri dotate di impianto elettrico in corrente alternata. Si è fatto riferimento alle potenze installate in generazione.

NAVE	Tonnellaggio Stazza lorda (T.S.L.)	Turbo-alternatore nxPotenza (kW)	Disel-alternatore nxPotenza (kW)	Disel-alternatore di emergenza nxPotenza (kW)	Potenza totale (kW)	Coefficiente di eletrificazione $K_E$
INDIPENDENCE	26000	4x1100	–	1100	4500	0,173
ROTTERDAM	38650	4x1350	–	1x50	5450	0,141
CAMBERRA	45000	4x1500	–	2200	6400	0,142
FRANCE	66800	6x1800	1x600	2x160	11720	0,176
C. COLOMBO	30000	4x1000	3x750	1x150	6400	0,214
GRPSHOLM	24000	–	5x700	1x150	3650	0,152
L. DA VINCI	33340	5x1100	4x600	1x175	8075	0,240
G. GALILEI	27000	2x2150	2x800	1x250	6150	0,227
MICHELANGELO	45911	6x1600	–	2x300	10200	0,222
OCEANIC	39244	4x1700	2x600	2x100	8200	0,210
EUGENIO “C”	29000	4x1700	1x500	1x200	7500	0,258
HAMBURG	23500	3x1650	–	2x360	5670	0,242
Q. ELISABETH 2	65863	3x5500	–	2x350	17200	0,262

Il coefficiente d'elettrificazione  $K_E$ , nel caso di grandi navi petroliere (da 150.000 a 300.000 tonnellate di portata lorda), non è molto indicativo ed inoltre non consente di eseguire dei giusti confronti tra navi di categorie diverse. Questo perché al notevole incremento della portata non corrisponde uno stesso incremento della potenza elettrica installata, e questo vale soprattutto per le petroliere dove la maggior parte dello spazio disponibile è riservato alle cisterne ove stipare il greggio. Pertanto, si definisce anche un secondo coefficiente  $K_{EM}$ , espresso dal rapporto tra la potenza installata in kW e la potenza del motore di propulsione in CV.

# Capitolo I

## 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.

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 eliche a pale orientabili e 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.

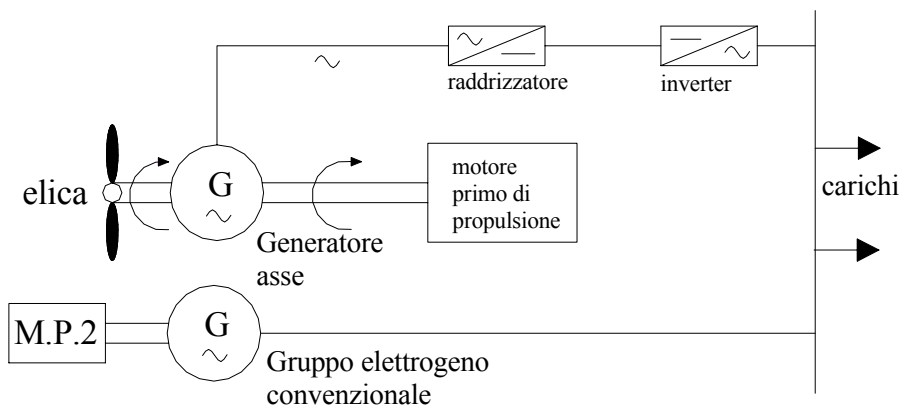
Per quanto riguarda il problema della frequenza e della tensione, è possibile rendere costanti tali grandezze elettriche in due modi:

Generazione in corrente continua a tensione costante che alimenta un motore in C.C., che a sua volta aziona un generatore sincrono trifase.

se 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.



Delle volte può essere presente anche un compensatore sincrono, il cui compito è quello di assorbire le armoniche dell'inverter, rifasare la corrente che è fornita alla rete ed infine contribuire alla regolazione della tensione e frequenza, quando varia il carico. Il compensatore consiste in un generatore sincrono mosso da un motore alimentato dalla rete di bordo. Come compensatori si possono anche adoperare i generatori sincroni dei gruppi elettrogeni indipendenti, ma in questo caso devono esserci almeno due gruppi elettrogeni indipendenti.

La generazione-asse può essere adottata sia alle navi monoeliche che bibliche, 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

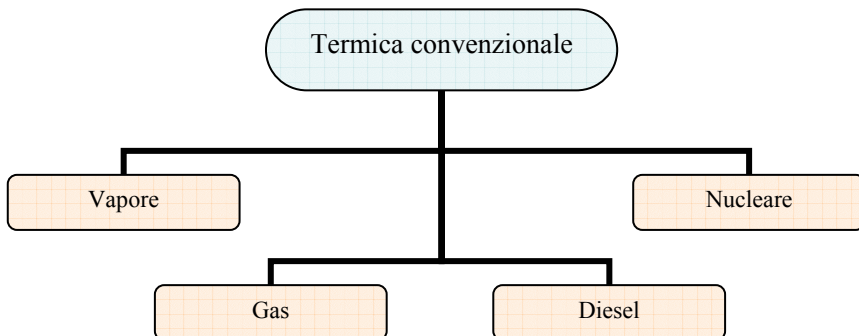
Da alcune indagini, eseguite da società d’armatori tedesche, è emerso che l’installazione dei generatori–asse riduce il costo del kWh, e per valutarlo bisogna considerare il costo dell’impianto e di esercizio.

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;

Tipo di nave	Navi passeggeri (grandi)	Navi da carico, cisterne e miste	Militari	Navi passeggeri (medio-piccole)
Numero di centrali principali	2	1	2	1

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:

- Motori diesel;
- Turbine.
- Le turbine hanno differenti caratteristiche rispetto ai diesel:
  - Facilità di regolazione;
  - Maggiore sovraccaricabilità;
  - Minori vibrazioni;
  - Minor peso e ingombro.

I diesel, tuttavia, sono caratterizzati da:

- 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  $\cos\varphi = (0,75-0,80)$  in ritardo.

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

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

Forniscono una sovrapotenza 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.

### **Impianti 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 la basse emissioni di vibrazioni.

Questi apparati presentano ugualmente dei rilevanti inconvenienti come:

- Emissioni di gas combusti 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 refrigerata in opportuni scambiatori di calore con acqua di mare.

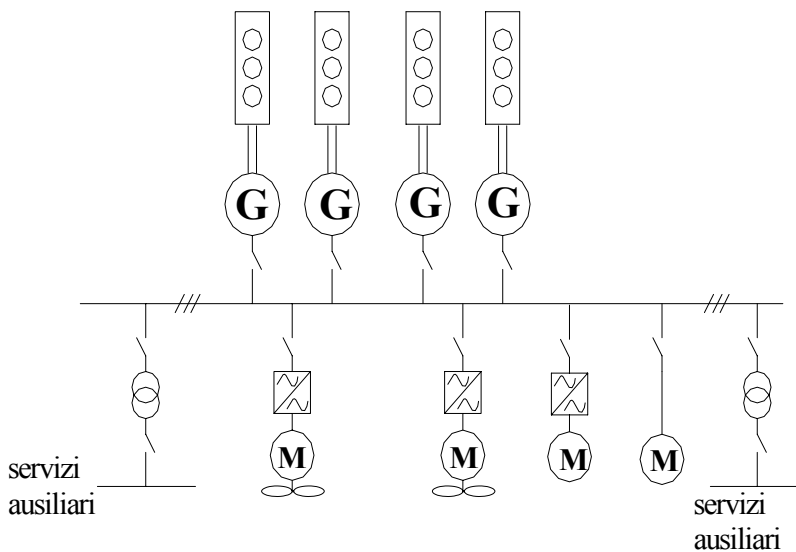
I principali vantaggi di un diesel-generatore sono:

- 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 sovrapotenza 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;

Nella tabella seguente vengono riportati 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.

**Tabella.** Valori limite del grado di irregolarità secondo R.I.N.A

C i l i n d r i	Numero di giri al secondo (n)	Grado d'irregolarità $\delta$
1÷2	–	<1/75
>2	n<10 10<n<20 n>20	<1/150 <1/1500 <1/75

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

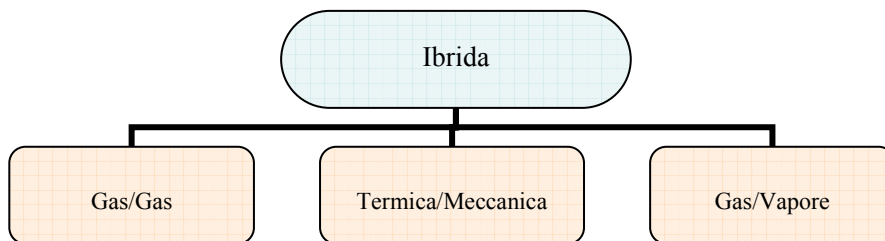
I vantaggi di questi impianti sono:

- 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.

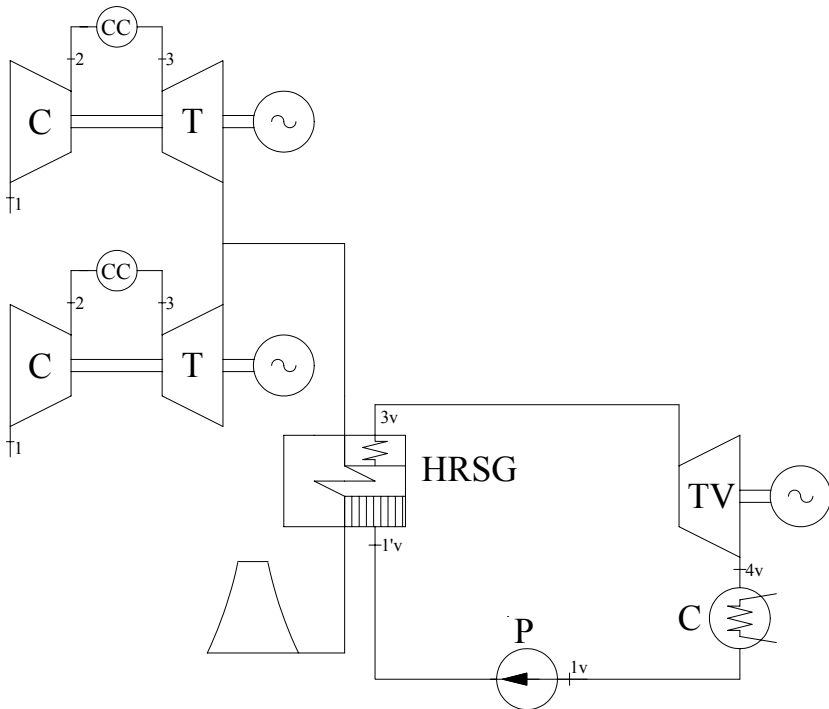
Alcune configurazioni tipiche sono:

- 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.

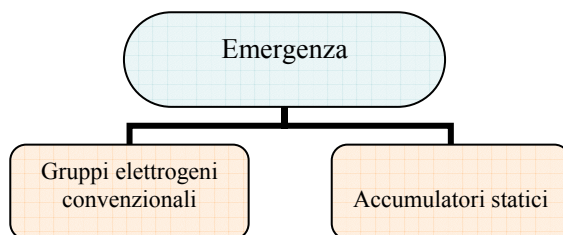
Uno schema di un impianto combinato può essere il seguente:



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 internaziona-

li, 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 in 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).

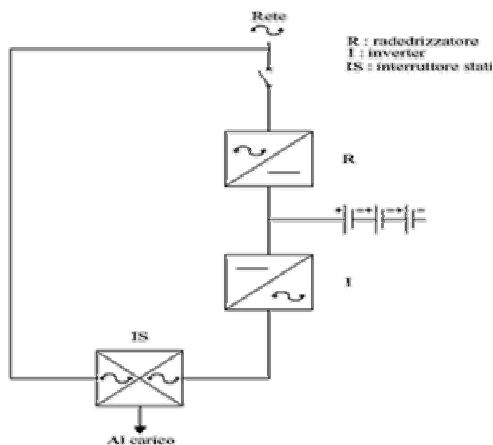
Nel caso di nave passeggeri, se la centrale d'emergenza è costituita da moto-generatori le due fonti d'energia sopra descritte sono entrambe presenti.

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 fumaio.

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 ser-

vizi 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 rapida (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.