

Energy Box per l'alimentazione Shore-to-Ship per grandi navi in porto.

Autori:

Silvio Casini (silvio.casini@fincantierisi.it),

Fabio Marchesi (fabio.marchesi@fincantierisi.it)

Andrea Piccin (andrea.piccin@fincantierisi.it)

Giordano Torri (giordano.torri@fincantierisi.it)

Energy Box per l'alimentazione Shore-to-Ship per grandi navi in porto.

Indice

1. Motivazione e riferimenti normativi.
2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.
3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship.
4. Vantaggi della soluzione Energy Box.
5. Applicazione del sistema Energy Box ad un grande porto.
6. Conclusione.

1. Motivazione e riferimenti normativi.

Le emissioni in atmosfera prodotte dalle navi rappresentano circa il 6% dell'SOx, ed il 15% dell'NOx e del 2% del CO2.

Principali direttive per la riduzione di emissioni sono:

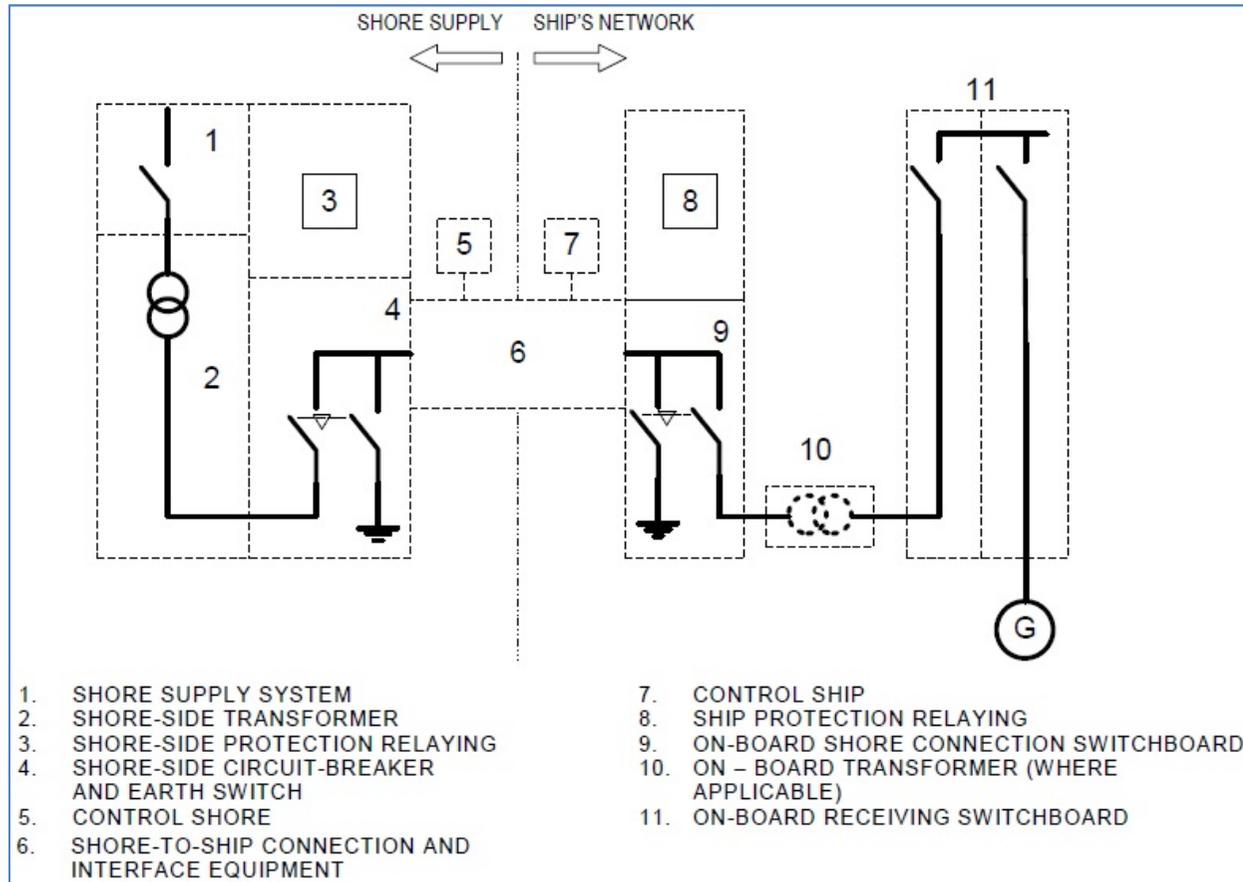
- IMO Marpol Annex 6 (limitazioni SOx e NOx)
- Comunità Europea 2005/33/EC (in Italia Dlgs 205 del 09/11/2007) per SOx.

La seguente tabella compara i relativi limiti di emissioni :

Anno	Limite SOx (% m/m)		Limite NOx (g/kWh)	
	IMO MARPOL Annex VI		2005/33/EC	IMO MARPOL Annex VI
	Alto mare e attracco	SECA (Baltic Sea, North Sea, English Channel)	Attracco	Alto mare e attracco
2009	4.5%	1.5%	1.5%	11.8
2010			0.1%	
2011	3.5%	1.0%	0.1%	9.6
2012		0.1%		2.3
2015				
2016	0.5%	0.1%	0.1%	2.3
2020				

1. Motivazione e riferimenti normativi.

La raccomandazione della Comunità Europea n.2006/339/EC promuove la «shore to ship connection» come soluzione per eliminare completamente l'inquinamento delle navi attraccate in porto.

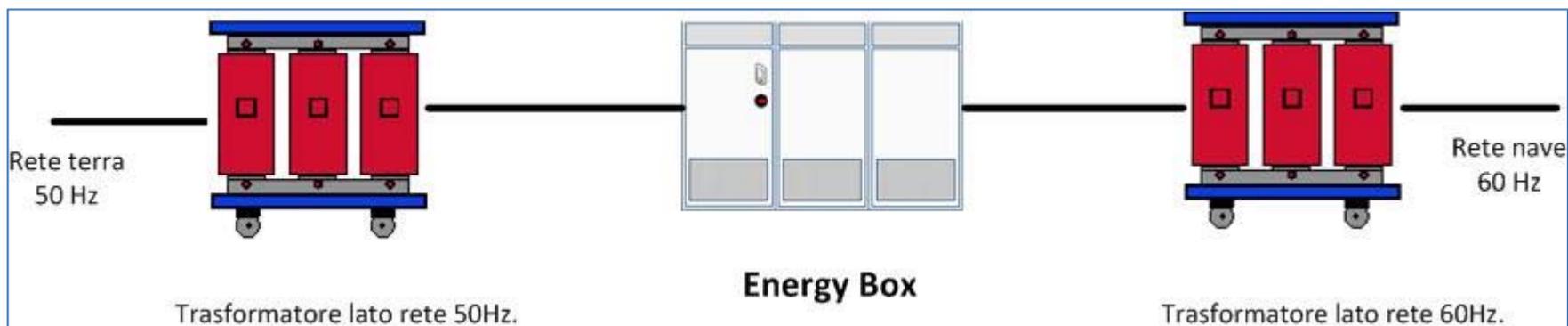


La norma IEC 80005 raccomanda di dimensionare gli impianti shore-to-ship per navi passeggeri per almeno 16 MVA, e fino 20 MVA ove praticabile, ad una tensione nominale di 11 kV AC and/or 6,6 kV AC.

Si può ridurre il valore della potenza tenendo in considerazione la dimensione delle navi che attraccano nel porto specifico e la potenza necessaria per gli impianti di condizionamento nella specifica area geografica.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

L'Energy Box converte la tensione di terra a 50Hz in tensione a 60Hz adatta ad alimentare le apparecchiature di bordo nave. Il sistema mantiene isolate tra loro le due reti.



L'Energy Box garantisce:

- La tensione lato 60 Hz fornita secondo gli standard più diffusi 6,6 – 11 KV.
- Un THD entro i limiti delle norme (< 5%).
- La compatibilità con rete di bordo a neutro isolato oppure connesso a terra con alta impedenza.
- Il mantenimento della selettività delle protezioni di bordo.
- Il funzionamento sia isolato sia in parallelo con i generatori di bordo, di potenza qualsiasi.
- La commutazione tra i due funzionamenti senza soluzione di continuità.

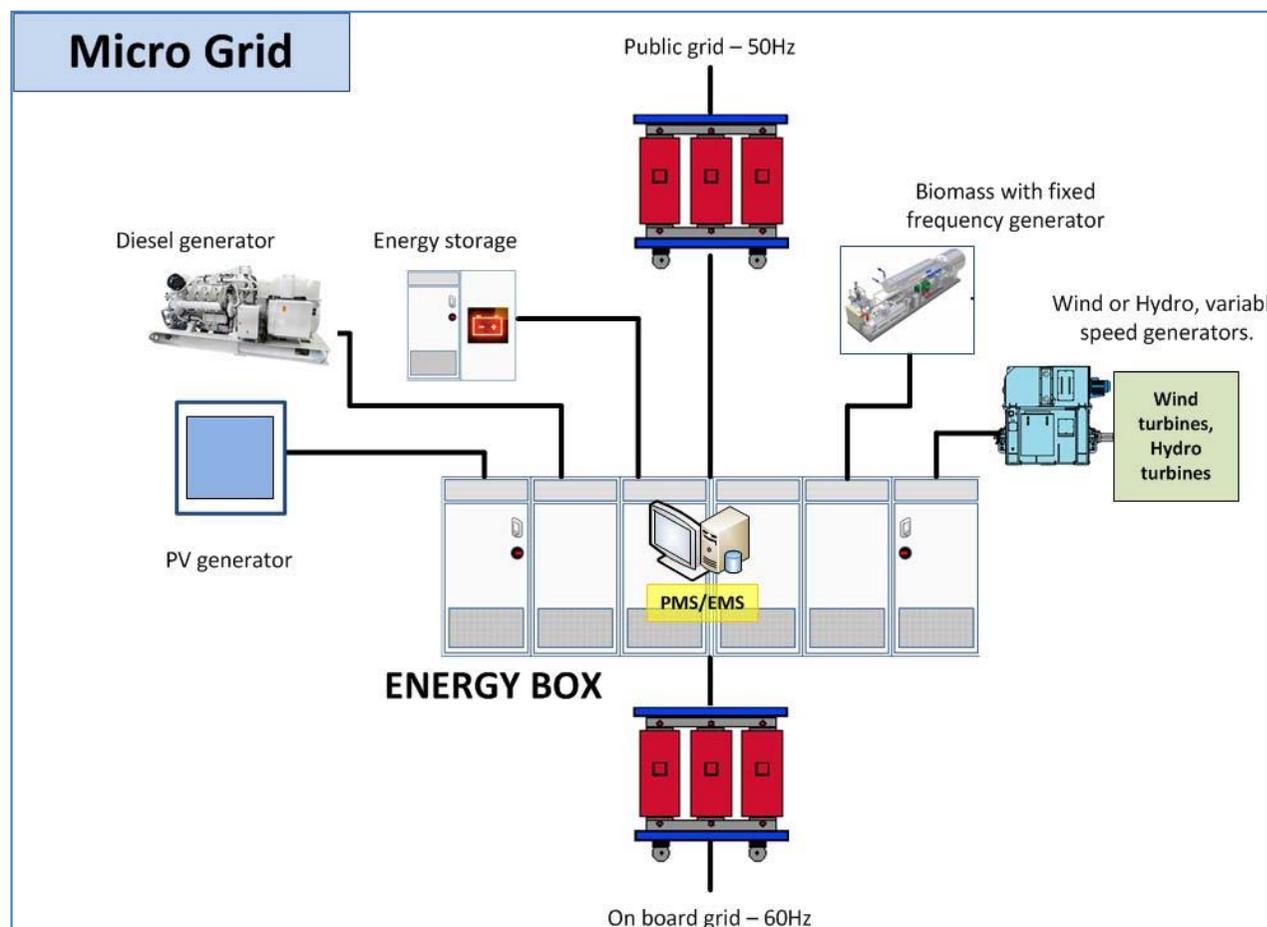
2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Alimentare l'Energy Box.

- Da rete di distribuzione pubblica di terra.
- Da sorgenti di energia locale, sia rinnovabili sia convenzionali.

Il sistema può integrare anche elementi di accumulo.

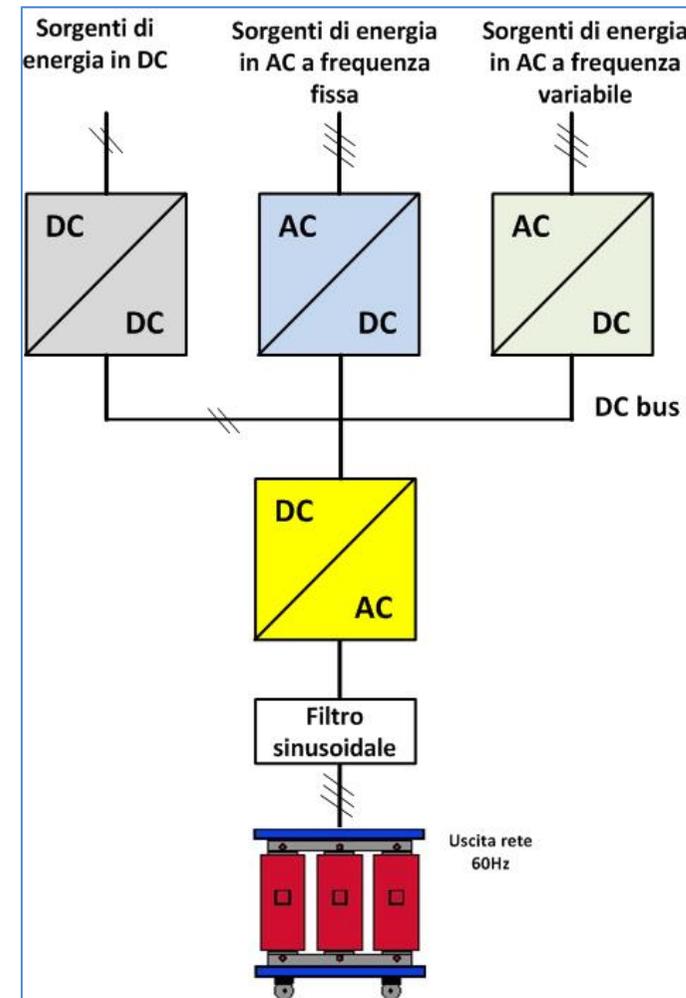
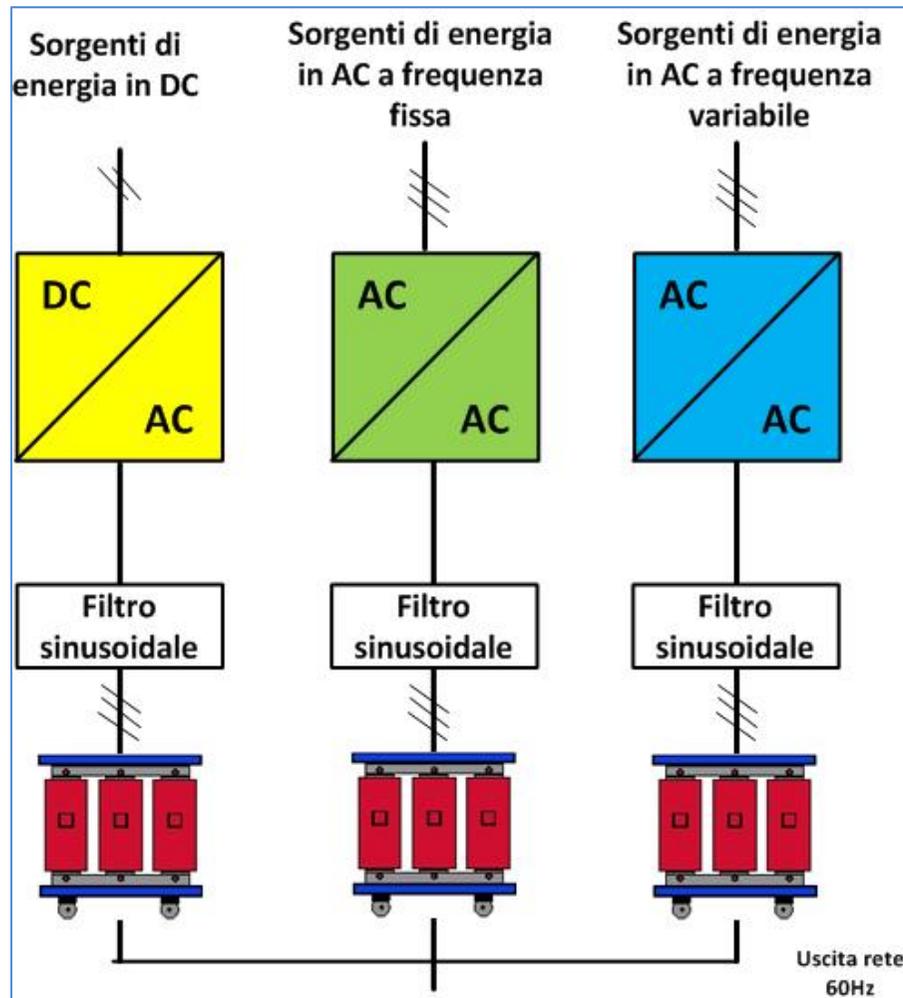
Il sistema così concepito diviene una «Micro Rete» dotata di un sistema di Power and Energy Management (PMS/EMS).



2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Collegare gli apparati di produzione di energia all'Energy Box.

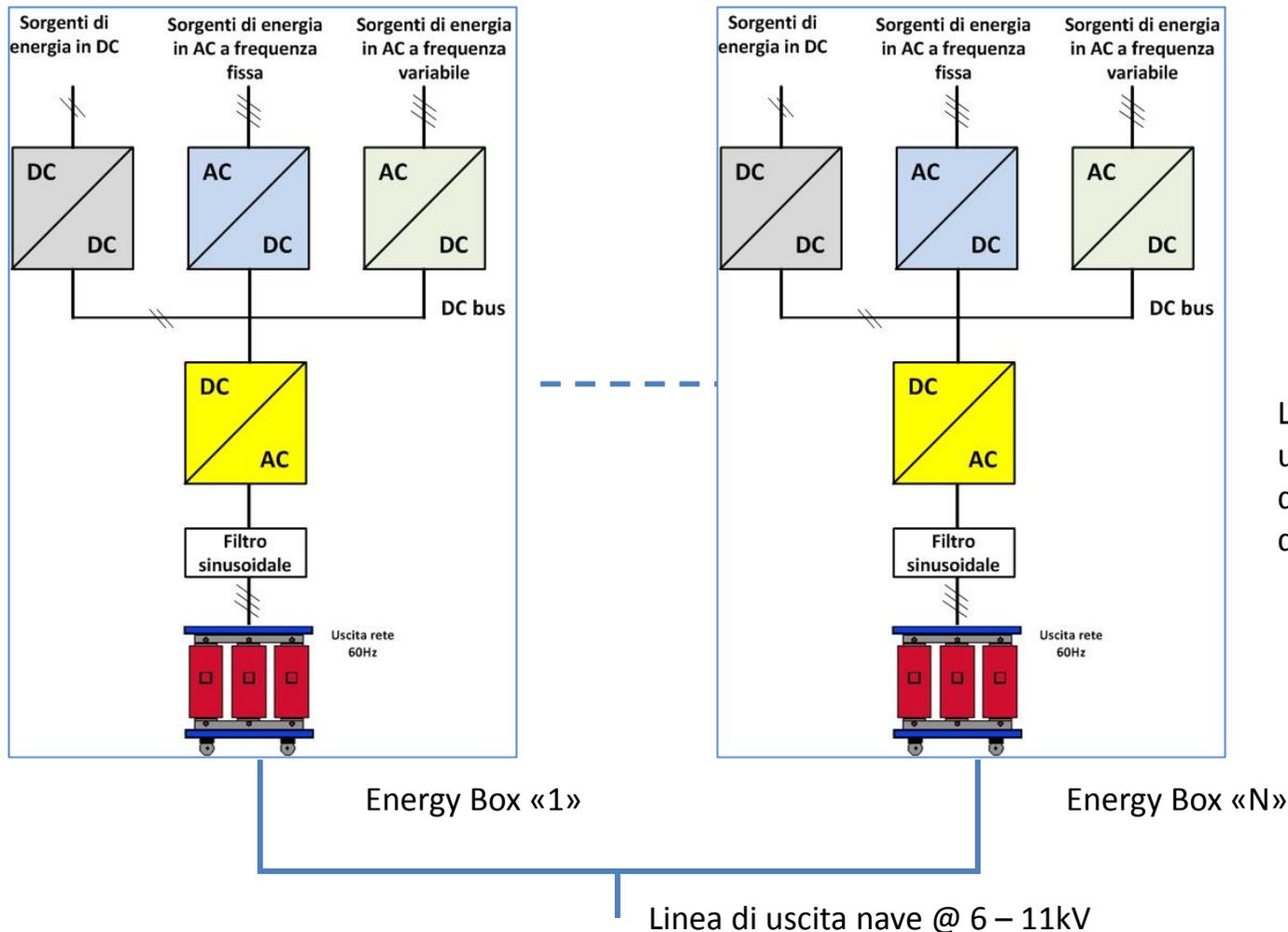
- Mediante collegamento in DC bus (a destra).
- Mediante collegamento in AC bus (a sinistra).



2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Collegamento in DC bus.

Preferibile fino a potenze dell'ordine di 5MW per singola unità. La soluzione consente il parallelo di diverse unità per aumentare la potenza complessiva.



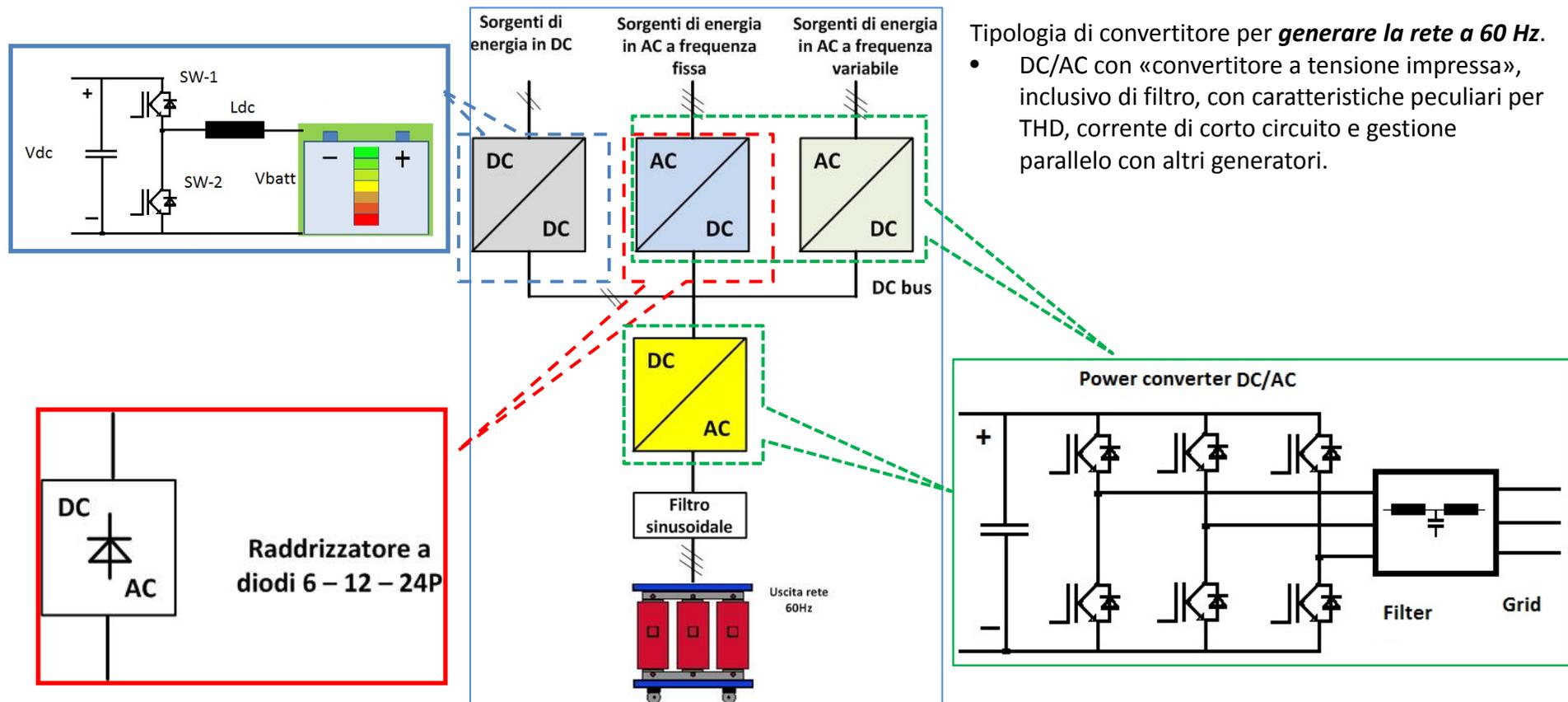
La soluzione consente di utilizzare un numero ottimo di convertitori in funzione della potenza necessaria.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Collegamento in DC bus.

Tipologie di convertitori per **collegare le sorgenti di energia**.

- AC/DC con raddrizzatore a diodi (12-24P) per alimentazioni da generatori a frequenza fissa (senza rigenerazione).
- AC/DC con «convertitore a tensione impressa», inclusivo di filtro, per collegare sorgenti in corrente alternata a frequenza variabile oppure a frequenza fissa con rigenerazione.
- DC/DC converter per collegare sistemi di batterie e generatori fotovoltaici.



Tipologia di convertitore per **generare la rete a 60 Hz**.

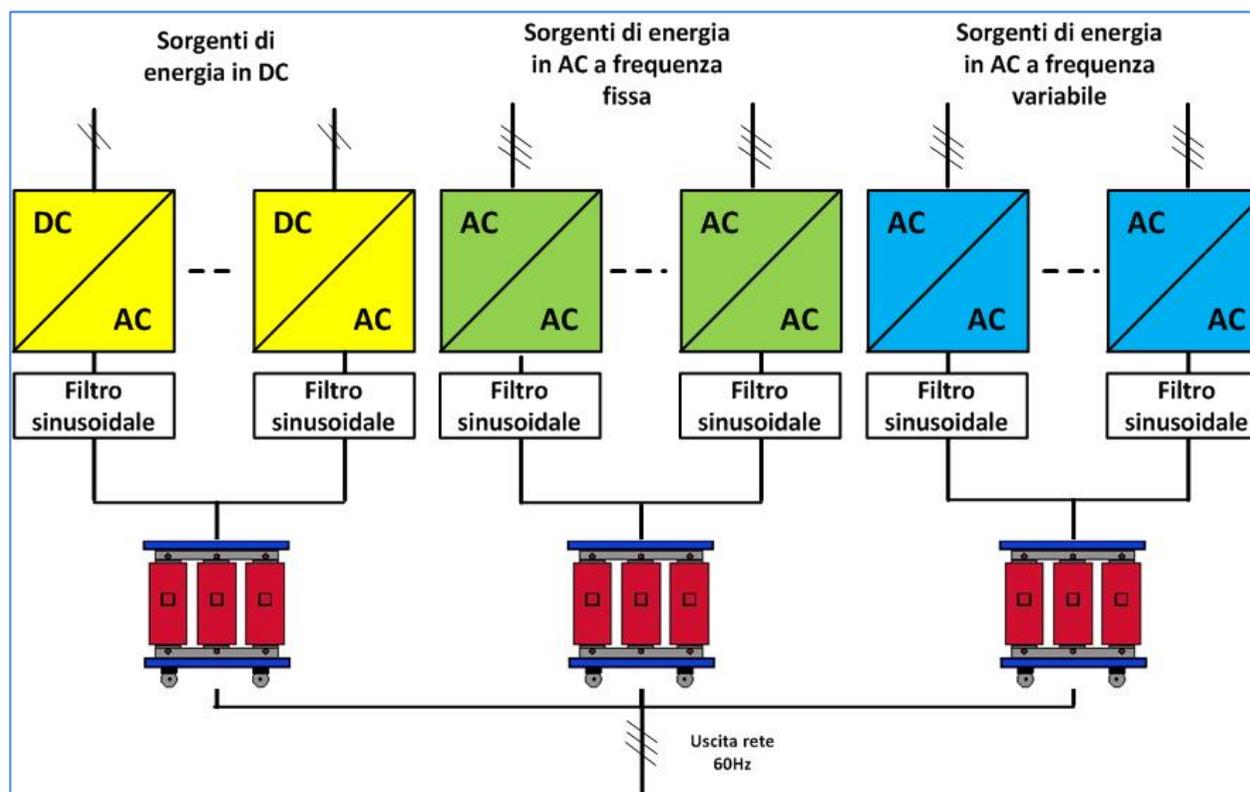
- DC/AC con «convertitore a tensione impressa», inclusivo di filtro, con caratteristiche peculiari per THD, corrente di corto circuito e gestione parallelo con altri generatori.

Singola unità «Energy Box»

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Collegamento in AC bus.

Preferibile per potenze unitarie superiori a 5MW. Sul bus in AC possono insistere più unità di conversione di potenza adeguata alla rispettiva sorgente di energia.

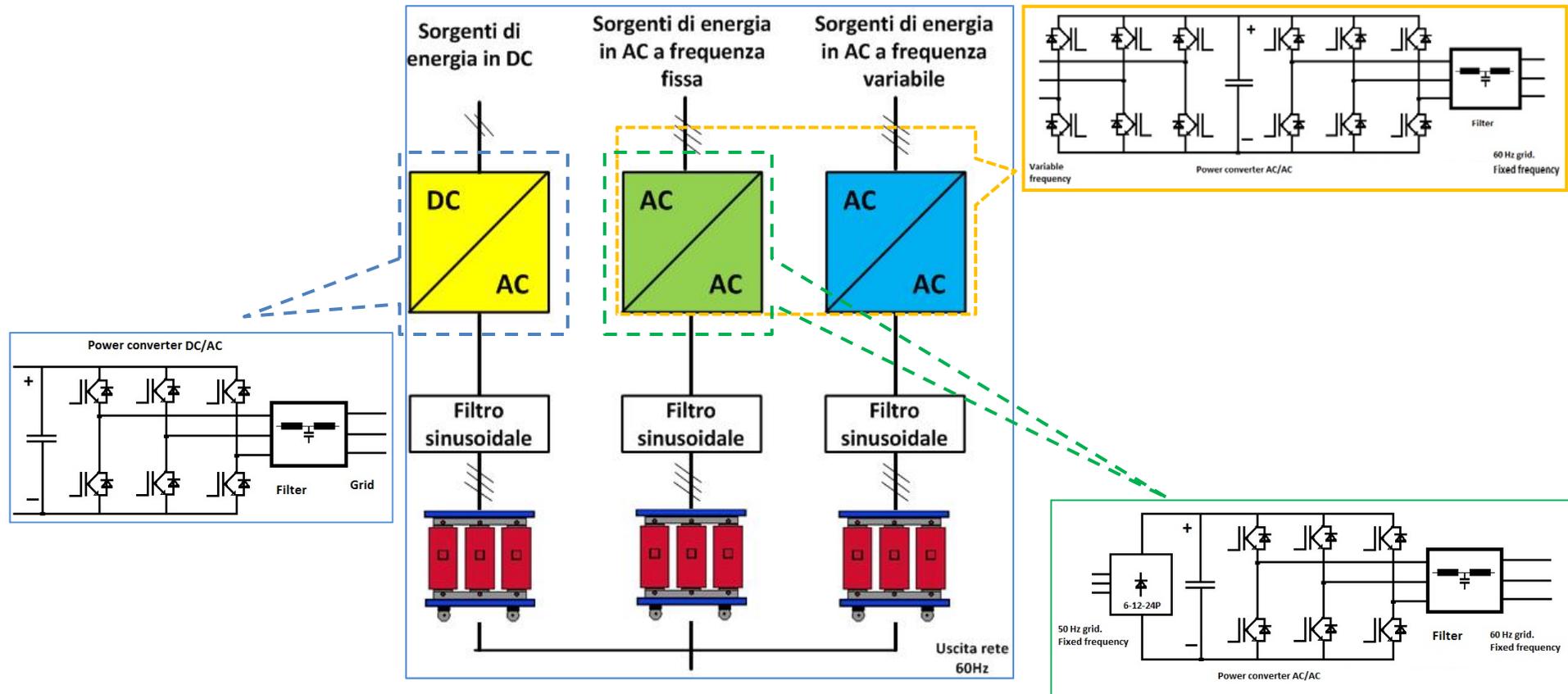


Energy Box – Più unità di conversione in parallelo sulla rete AC @ 60 Hz

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Collegamento in AC bus.

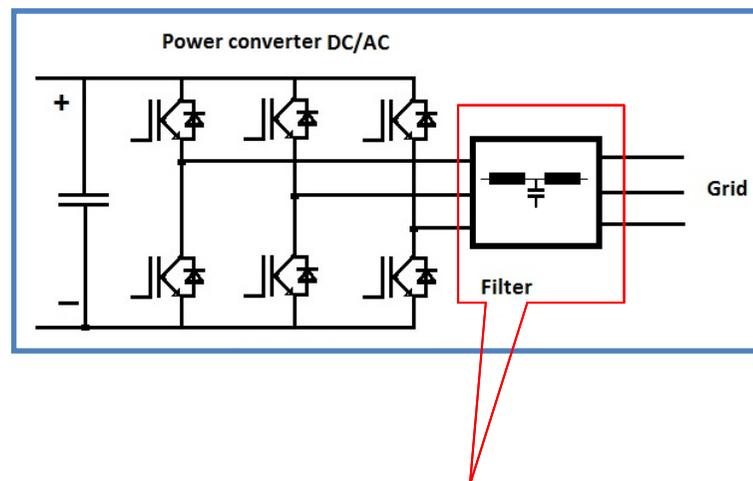
Si distinguono tre diverse tipologie di apparati di conversione, aventi in comune uno stadio DC/AC del tipo «convertitore a tensione impressa».



Energy Box – Più singole unità di conversione da sorgenti di energia di diversa potenza, in parallelo sulla rete AC @ 60 Hz.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

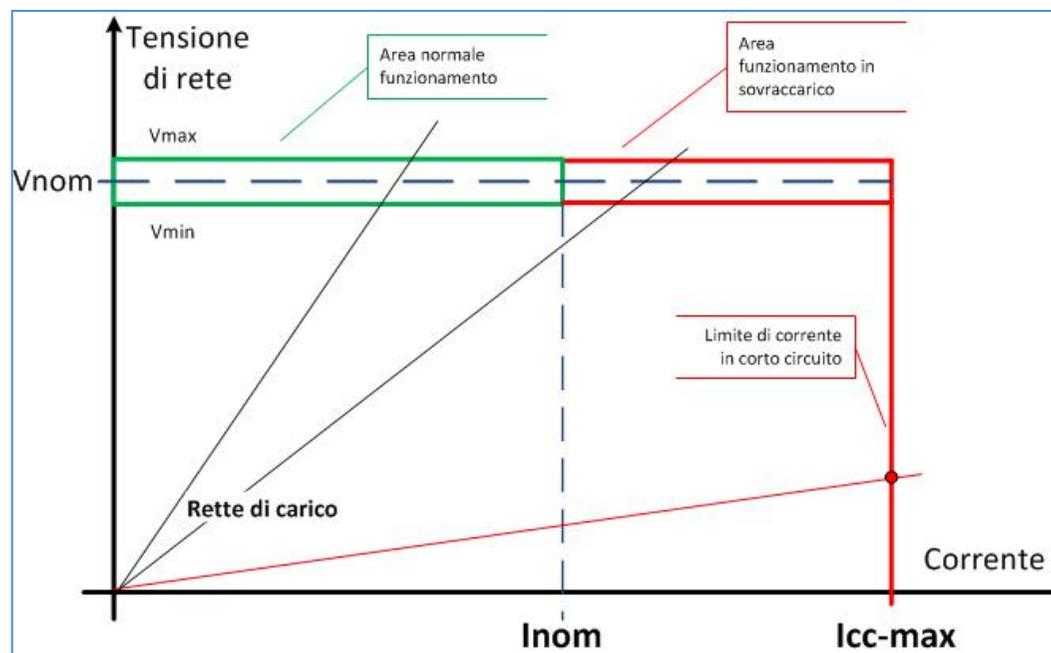
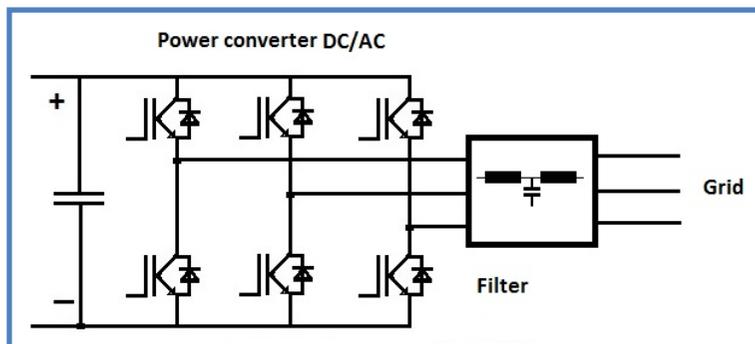
Elemento comune tra le diverse configurazioni: lo stadio DC/AC verso la rete a 60Hz, con tre importanti funzioni.



- **Generazione della tensione a 60 Hz con ridotto THD (< 5%) in tutte le condizioni di carico. La scelta del filtro sinusoidale è di fondamentale importanza.**
- Garantire la selettività delle protezioni. Adeguata capacità di fornire corrente di corto-circuito per un tempo limitato, senza andare in protezione.
- Ripartizione del carico automatica (regolazione primaria di frequenza e di tensione) e capacità di accettare riferimenti di potenza attiva e reattiva dal PMS.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Elemento comune tra le diverse configurazioni: lo stadio DC/AC verso la rete a 60Hz, con tre importanti funzioni.

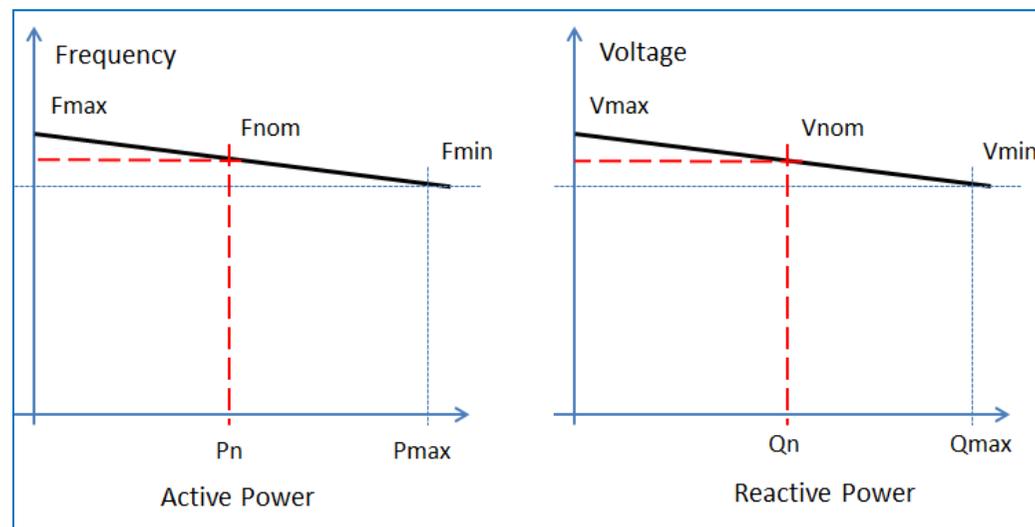
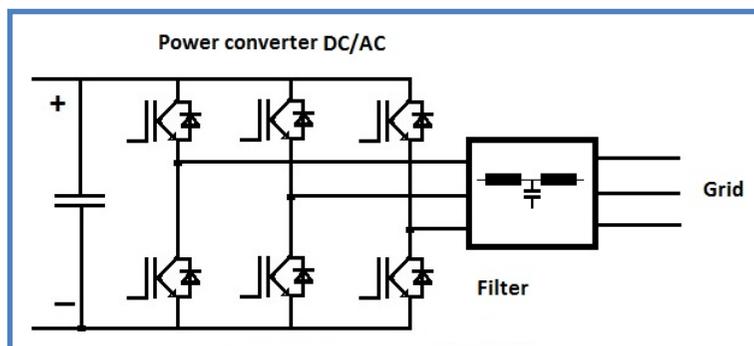


La I_{cc-max} è pari a $I_{nom} \times K$,
Dove «K» è un fattore compreso
tra 150 e 300%. Esso viene scelto
in funzione di studi di sistema e di
selettività.

- Generazione della tensione a 60 Hz con ridotto THD (< 5%) in tutte le condizioni di carico. La scelta del filtro sinusoidale è di fondamentale importanza.
- **Garantire la selettività delle protezioni. Adeguata capacità di fornire corrente di corto-circuito per un tempo limitato, senza andare in protezione.**
- Ripartizione del carico automatica (regolazione primaria di frequenza e di tensione) e capacità di accettare riferimenti di potenza attiva e reattiva dal PMS.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

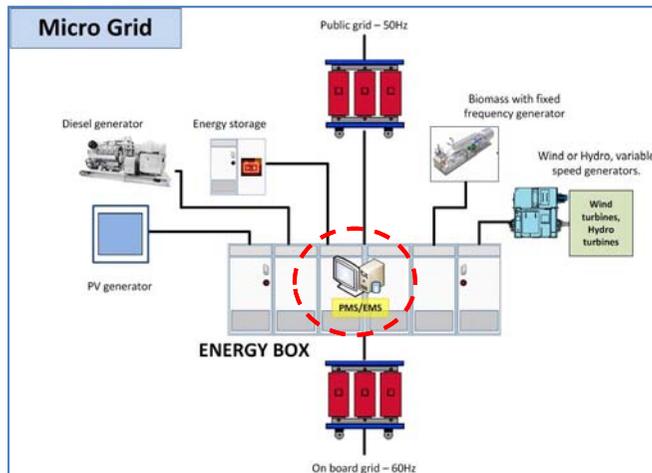
Elemento comune tra le diverse configurazioni: lo stadio DC/AC verso la rete a 60Hz, con tre importanti funzioni.



La regolazione primaria di frequenza e di tensione realizzata con la caratteristica «droop».

- Generazione della tensione a 60 Hz con ridotto THD (< 5%) in tutte le condizioni di carico. La scelta del filtro sinusoidale è di fondamentale importanza.
- Garantire la selettività delle protezioni. Adeguata capacità di fornire corrente di corto-circuito per un tempo limitato, senza andare in protezione.
- **Ripartizione del carico automatica (regolazione primaria di frequenza e di tensione) e capacità di accettare riferimenti di potenza attiva e reattiva dal PMS.**

3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship. Concetti generali.



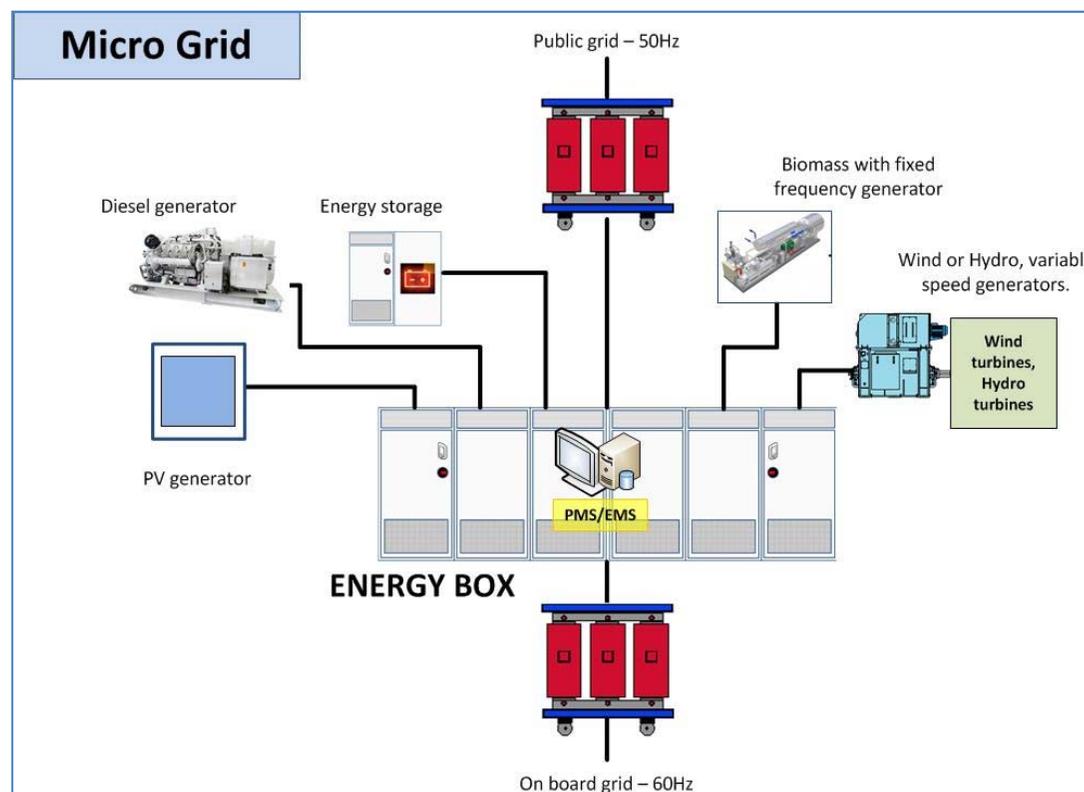
Il sistema di controllo prevede le seguenti funzionalità:

- Sistema SCADA di telecontrollo e supervisione dell'impianto;
 - Interfacciamento in sicurezza e scambio dati con il sistema di shore connection di bordo conformemente alle normative di riferimento (es. IEC 80005 e regolamenti dei Registri di Classifica)
- Load sharing transitorio col diesel di bordo per connessione, senza discontinuità di servizio delle utenze della nave.
 - Registrazione dei consumi per la fatturazione alle navi
 - Creazione di database di supporto per le informazioni sui dati delle singole navi, per le programmazioni dell'energia necessaria ai futuri arrivi
 - Gestione di eventuali altre fonti d'energia (es. rinnovabili) e dello stoccaggio della stessa per differirne l'utilizzo.

3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship. Sistema SCADA di supervisione dell'impianto.

Il sistema PLC-SCADA dell' "Energy Box" è appositamente progettato per connettere l'impianto di bordo di una nave alla rete di terra con speciale riguardo ai temi di efficienza energetica, di risparmio energetico e non da ultimo di integrazione con le energie rinnovabili.

Il sistema gestisce l'immagazzinamento dell'energia proveniente dalle fonti rinnovabili e la programmazione della sua integrazione con energia proveniente dalla rete nazionale nelle ore a tariffe più convenienti o di minor impatto nel caso di limitazioni di potenza di rete. In questo modo le utenze (in questo caso la nave) ricevono sempre l'energia al miglior costo disponibile.

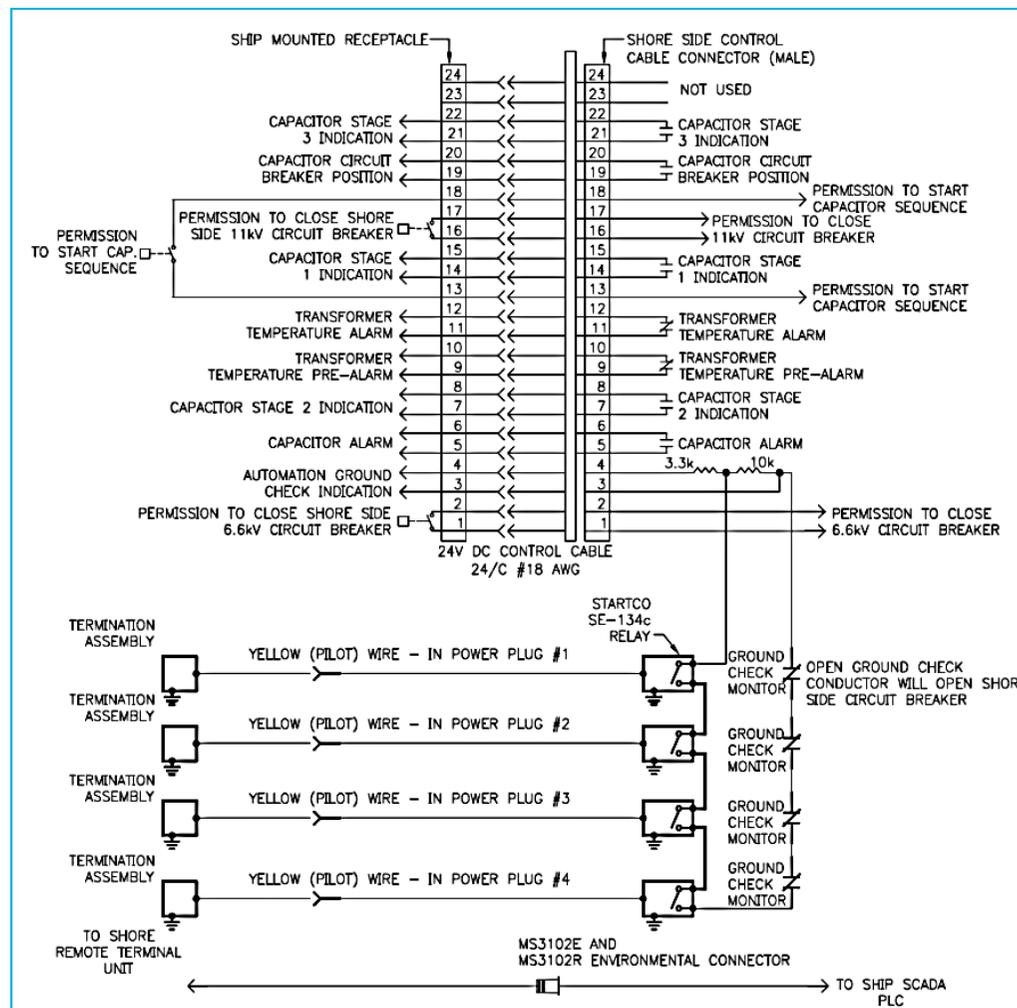


3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship. Interfacciamento in sicurezza.

Il sistema di controllo «Energy box» è conforme alla normativa IEC-80005 che definisce l'interfacciamento standard e in sicurezza tra l'impianto di terra e il quadro elettrico di bordo.

In questo modo si garantisce l'interfacciabilità del sistema di terra con qualsiasi nave sia conforme alla normativa.

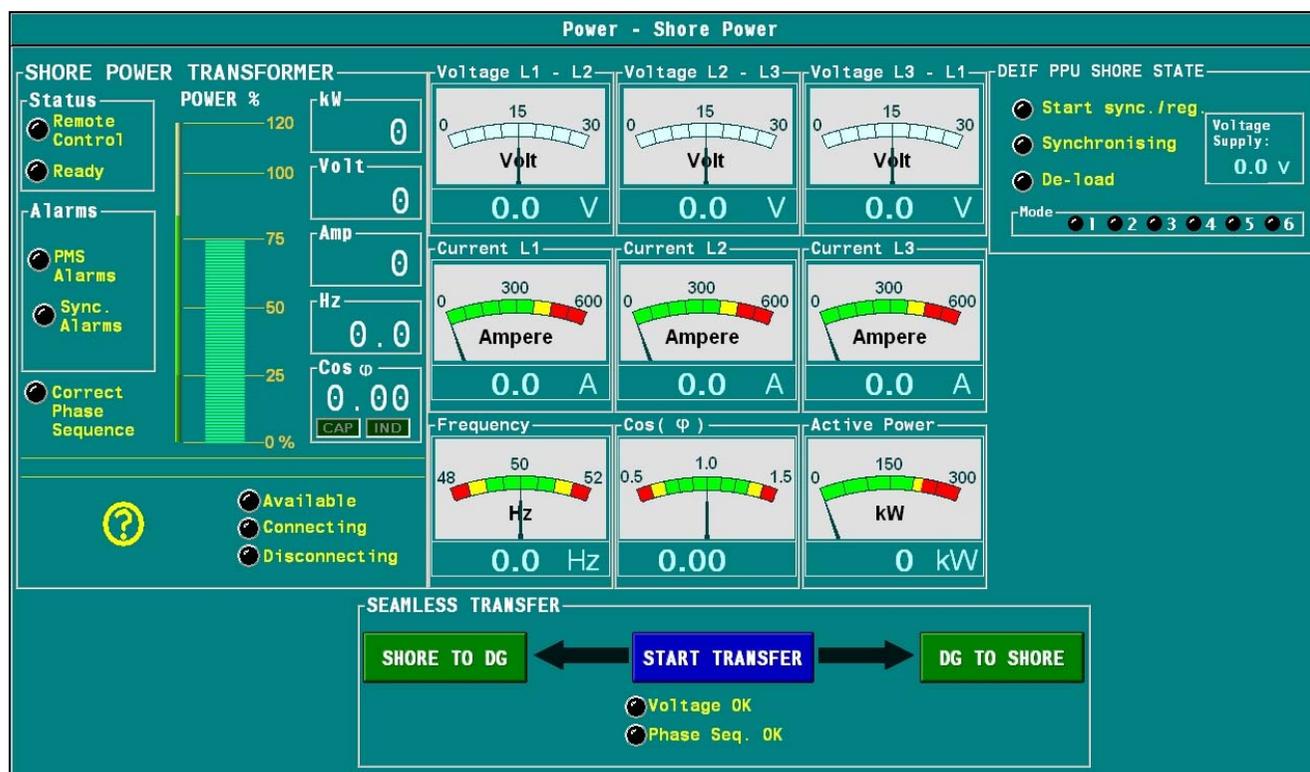
Essa stabilisce la tipologia di connettori da utilizzare e il segnale che va trasferito mediante ogni loro pin.



3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship. Load sharing.

Il sistema d'automazione opera, di concerto con il PMS di bordo, un parallelo temporaneo con il generatore di bordo con un graduale trasferimento del suo carico, fino alla disconnessione e spegnimento del generatore stesso.

In questo modo si ha una connessione senza discontinuità di servizio delle utenze della nave.



3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship. Registrazione dei consumi per la fatturazione alle navi.

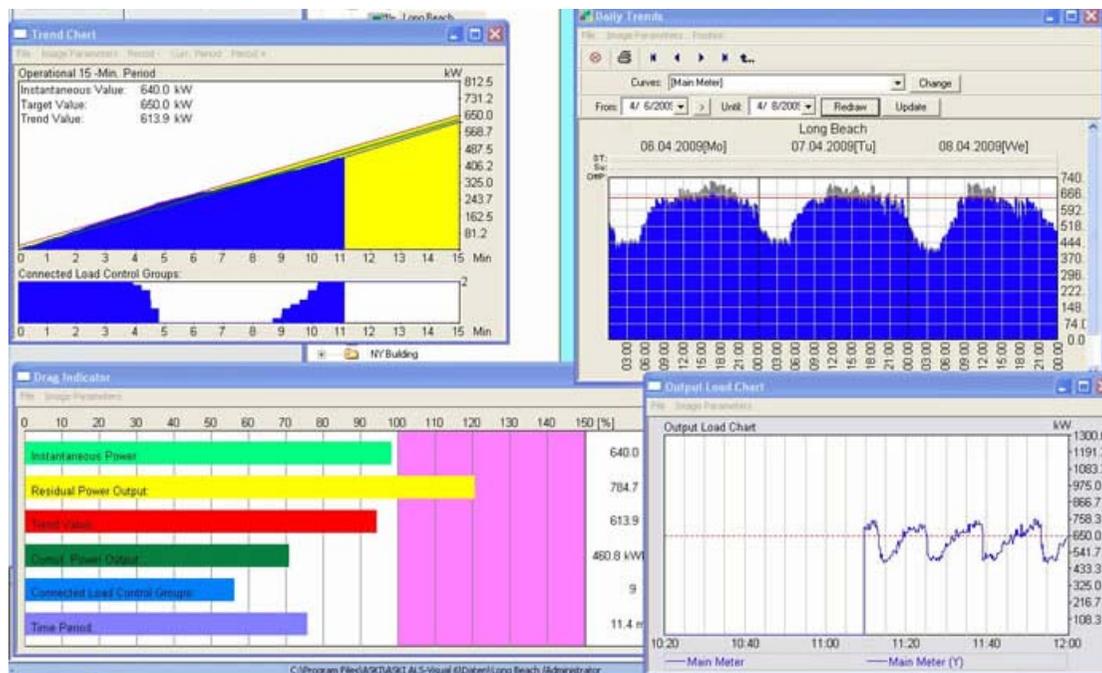


TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ

Il sistema di controllo dell'FSI Energy Smart box gestisce inoltre le registrazioni dei consumi per scopi amministrativi e di fatturazione.

A tal scopo il sistema d'automazione utilizza sistemi di rilevazione dei consumi, comunicazioni protette cybersecurity e interfaccia a SAP o altro sistema ERP secondo le ultime normative.

Inoltre il database delle informazioni sui dati delle singole navi consente all'Ente Portuale di poter programmare i consumi futuri sulla base dello storico elaborato sulla base dei precedenti arrivi delle stesse navi o di navi simili.



4. Vantaggi della soluzione Energy Box per shore-to-ship. Il beneficio rispetto alla soluzione con convertitori rotanti.



TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ

La soluzione «Energy Box» utilizza convertitori statici ed offre dei vantaggi rispetto all'alternativa che utilizza dei convertitori rotanti:

- Efficienza maggiore.
- Gestione e controllo delle condizioni di corto circuito più efficace, sia in termini di minima corrente sia in termini di massima corrente di guasto.
- Facile connessione con l'Automazione via Profibus o con altri protocolli standard.
- Ridotta manutenzione. Nessun organo in movimento.
- Scarsa rumorosità.
- Flessibilità d'integrazione futura di energia da fonti rinnovabili e sistemi di stoccaggio («energy box» o «smart grid»)

4. Vantaggi della soluzione Energy Box per shore-to-ship.
Il beneficio complessivo della soluzione.



TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ

Vantaggi per l'Ente Portuale:

- benefici per l'ambiente;
- vendita d'energia elettrica alle navi;
- possibilità d'integrare energia da fonti rinnovabili e stoccarla;
- riduzione di costi d'energia elettrica ottenuto mediante integrazione con produzione propria da fonti rinnovabili e mediante l'acquisto dell'energia da rete nazionale alle tariffe più convenienti;
- minor impatto sulla stabilità della rete del territorio dato che la richiesta d'energia delle grandi navi viene diluita e/o posticipata ai momenti di minor consumo cittadino.

4. Vantaggi della soluzione Energy Box per shore-to-ship.
Il beneficio complessivo della soluzione.



Vantaggi per le Società Armatrici:

- riduzione di costi in combustibili;
- riduzione delle ore di funzionamento dei gruppi diesel-generatori di bordo con relativi allungamenti degli intervalli manutentivi e conseguenti risparmi economici;
- maggiore disponibilità di tempo per eventuali lavori di manutenzione a bordo con i diesel fermi;
- possibilità di attraccare nei pressi del centro cittadino senza causare emissioni inquinanti o rumori.

5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.



TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ

Alimentazione per Grandi Navi da Crociera.

Rete di bordo:

- Potenza richiesta a bordo in porto = 12,8 MW con $pf = 0,8$ (16MVA)
- Corrente di corto circuito = 150% di I_n (secondo studi di selettività di sistema)
- Collegamento a terra con alta impedenza
- THD < 5%

Rete di terra @ 50 Hz:

- Tensione pari a 33 kV
- Pcc = 500MVA

Estensione impianto:

- Utilizzo di un campo PV da 5 MW di picco. Il campo PV è stato dimensionato in funzione delle aree disponibili in porto.
- Utilizzo di un sistema di accumulo da 1,8 MWh.

5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

Soluzione prevista con alimentazione da rete pubblica in MT.

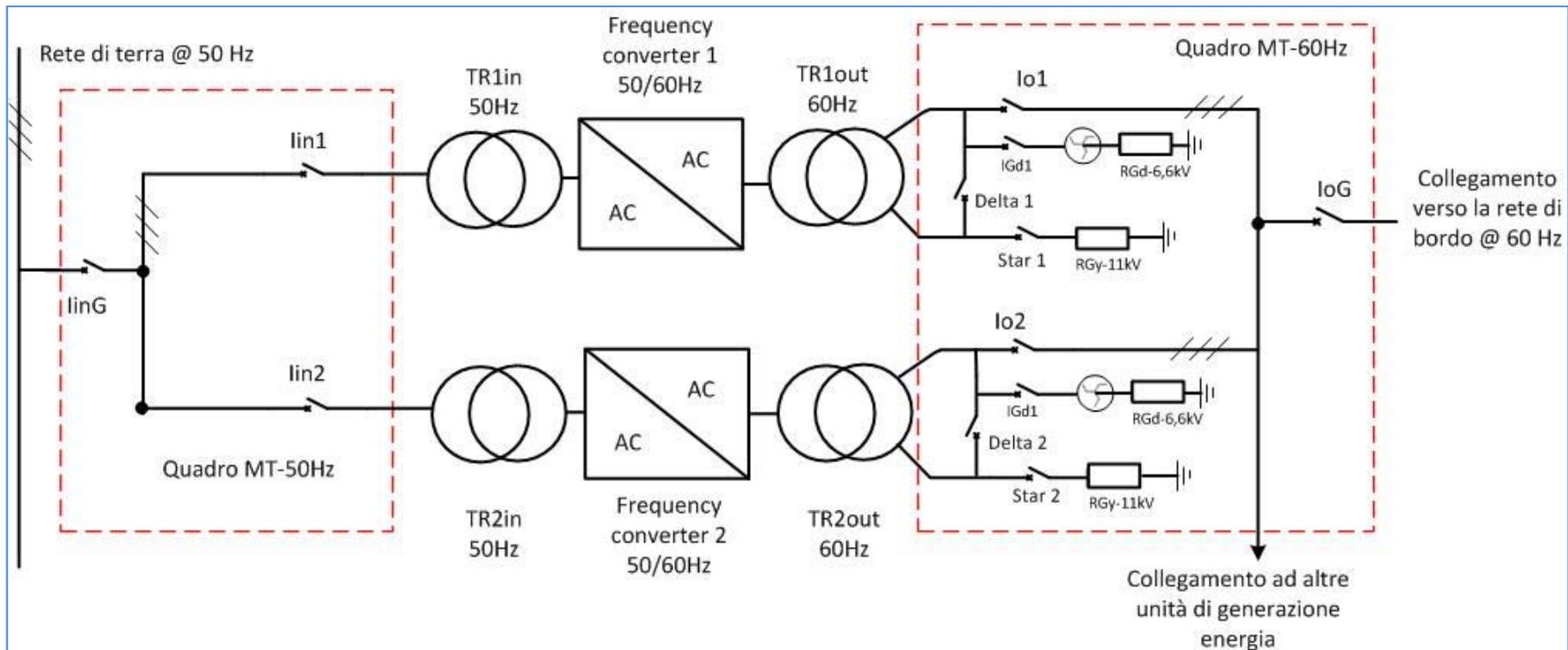
Due linee di conversione 50/60 Hz da 6,4 MW – 8MVA ciascuna.

Capacità in corto circuito verso rete a 60Hz: 12MVA per linea.

Il sistema può funzionare con una o con entrambe le linee, in funzione del tipo di nave.

Il sistema di conversione utilizza un inverter da 6,6 kV collegato alla rete a 50Hz tramite un raddrizzatore a 24P. Ogni inverter è alimentato da un proprio trasformatore.

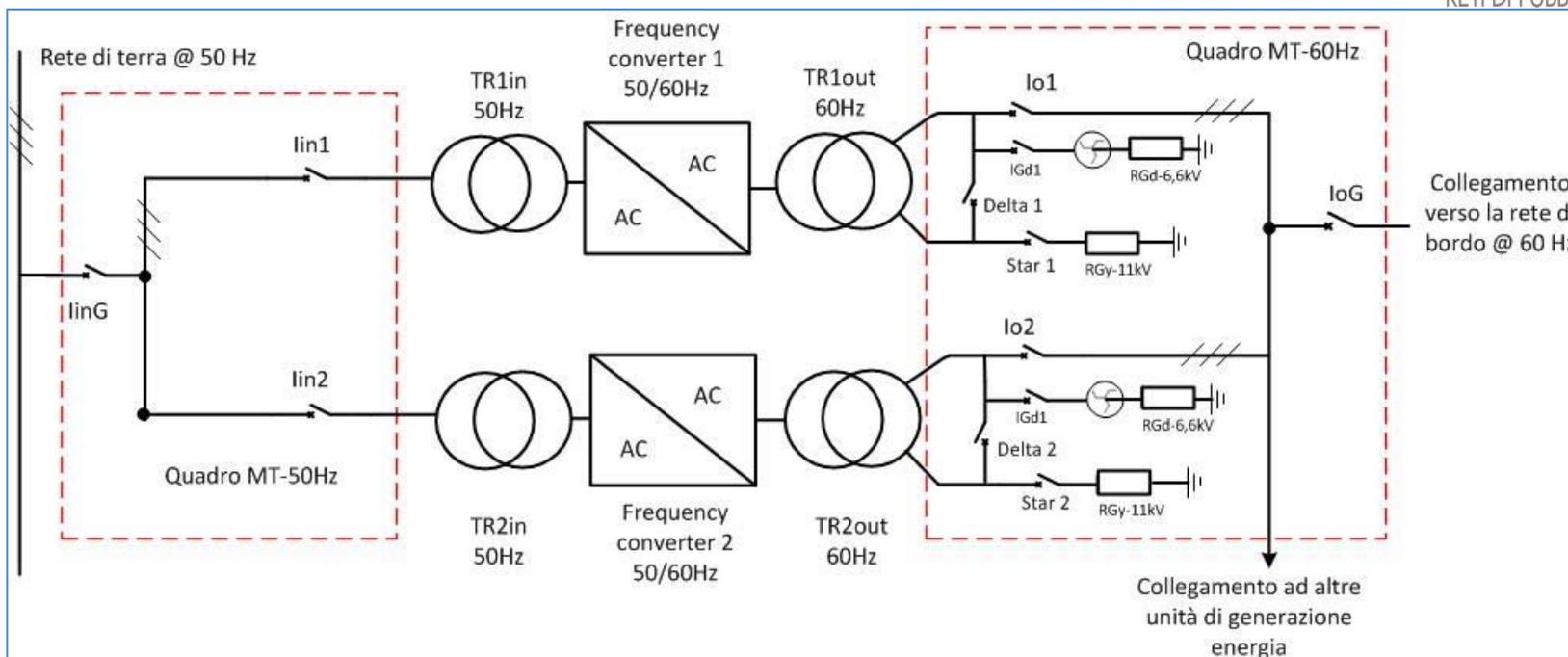
Il collegamento Y/Δ consente di commutare la tensione da 6 a 11 kV. La messa a terra è garantita da impedenza o da trasformatore zig-zag.



5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto.
Esempio.

Soluzione prevista con alimentazione da rete pubblica in MT.

TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ



	Ingresso rete 50 Hz	Ingresso inverter	Uscita inverter	Uscita rete 60 Hz
Potenza apparente	2 x 7,4 MVA (pf = 0,92)			2 x 8 MVA (pf = 0,8)
Potenza attiva	2 x 6,8 MW	2 x 6,7 MW	2 x 6,5 MW	2 x 6,4 MW
Efficienza		0,985	0,97	0,985

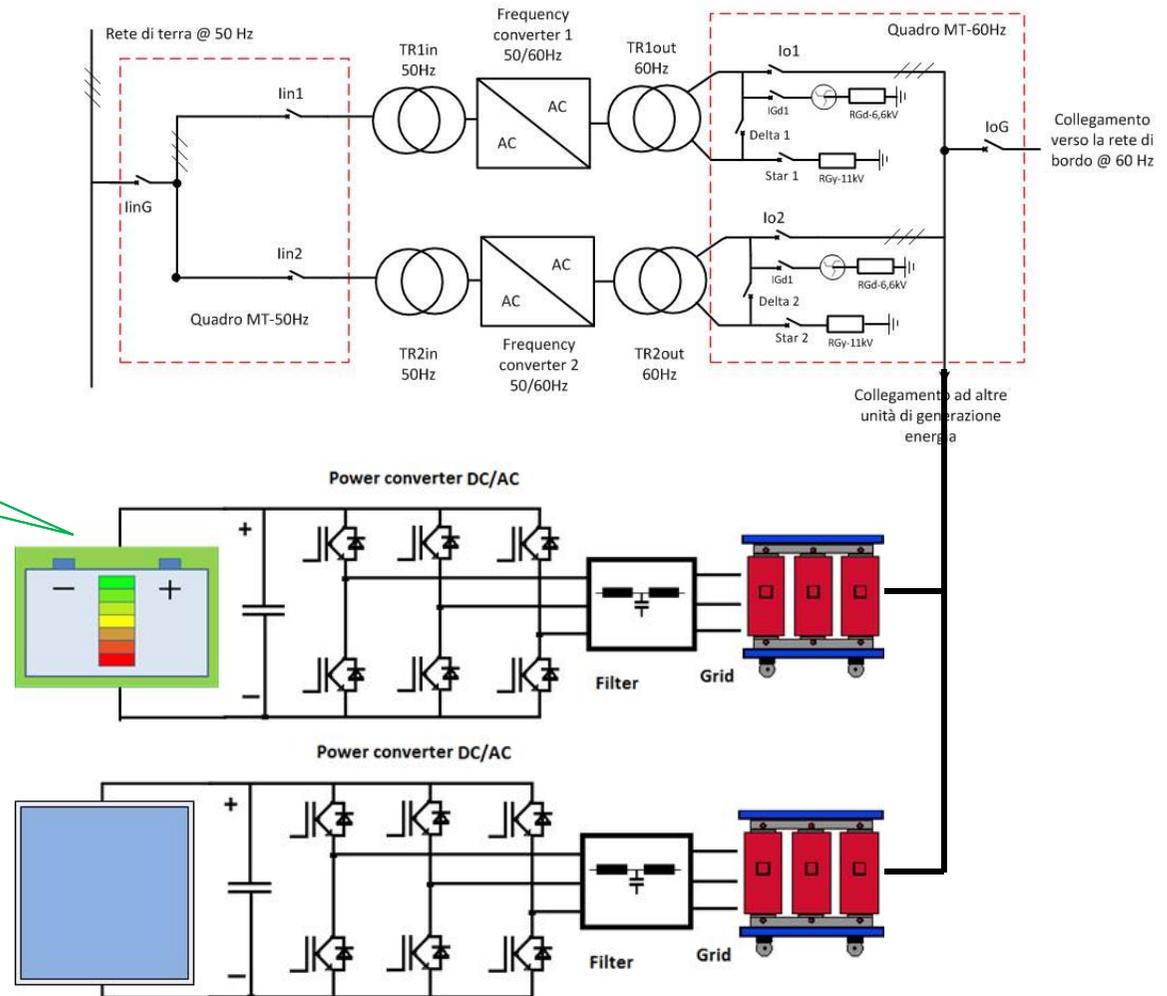
5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

Soluzione prevista con alimentazione da rete pubblica in MT ed estensione integrata con fotovoltaico ed accumulo.

La soluzione prevede come opzione l'estensione ad un sistema fotovoltaico da 5MW picco con un sistema di accumulo da 1,8 MWh.

Il sistema di accumulo attenua le fluttuazioni di potenza prodotte dall'impianto PV e dalle variazioni di carico richieste dalla rete di bordo. Il prelievo di potenza dalla rete pubblica risulta di profilo costante su base oraria. La batteria (ioni-Li) hanno una durata standard di oltre 10 anni.

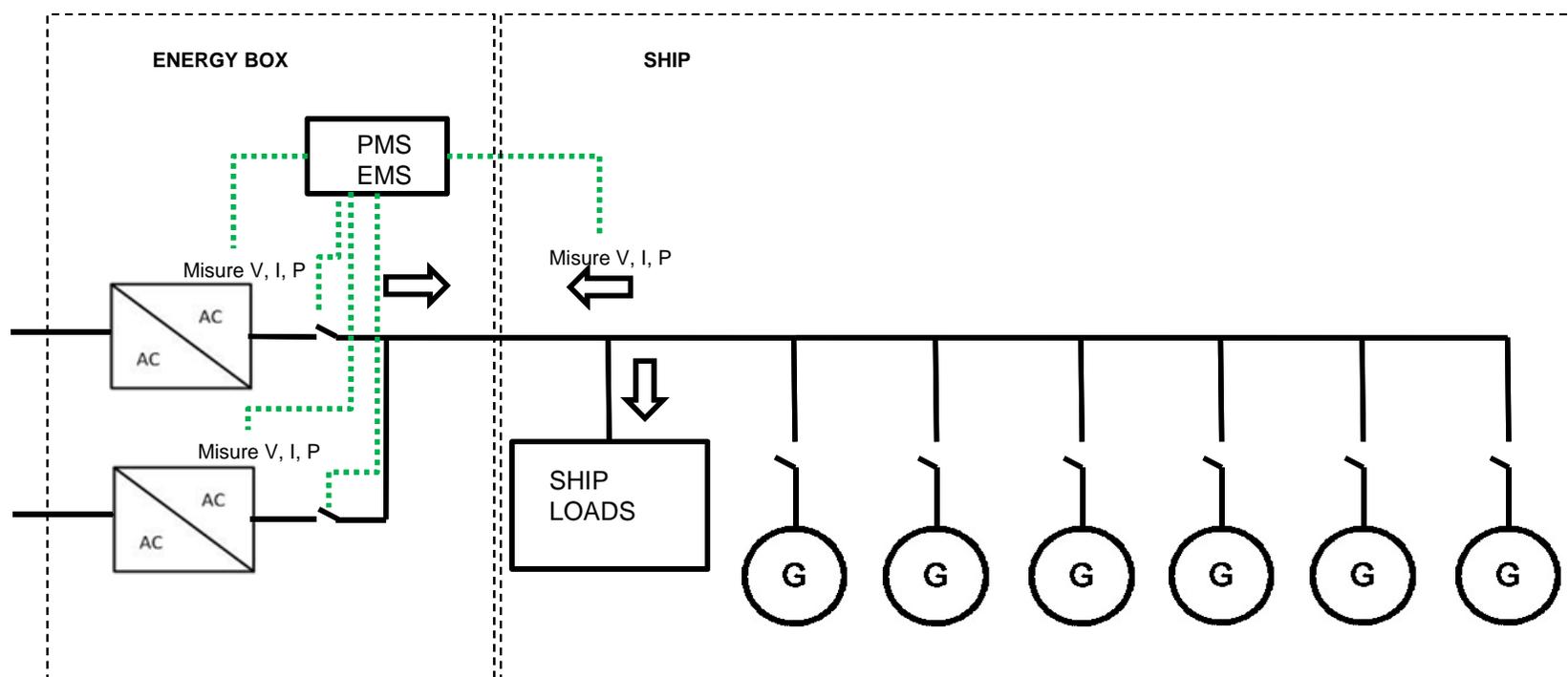
L'impianto fotovoltaico, calcolato sulla base della superficie disponibile, produce circa il 25% dell'energia richiesta per alimentare le apparecchiature a bordo nave.



5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

Soluzione prevista per il PMS/EMS

Lo scopo del sistema PMS/EMS è principalmente quello di monitorare e controllare il sistema Energy Box ed il suo interfacciamento in sicurezza con la centrale elettrica di bordo, come esemplificato nella seguente figura:

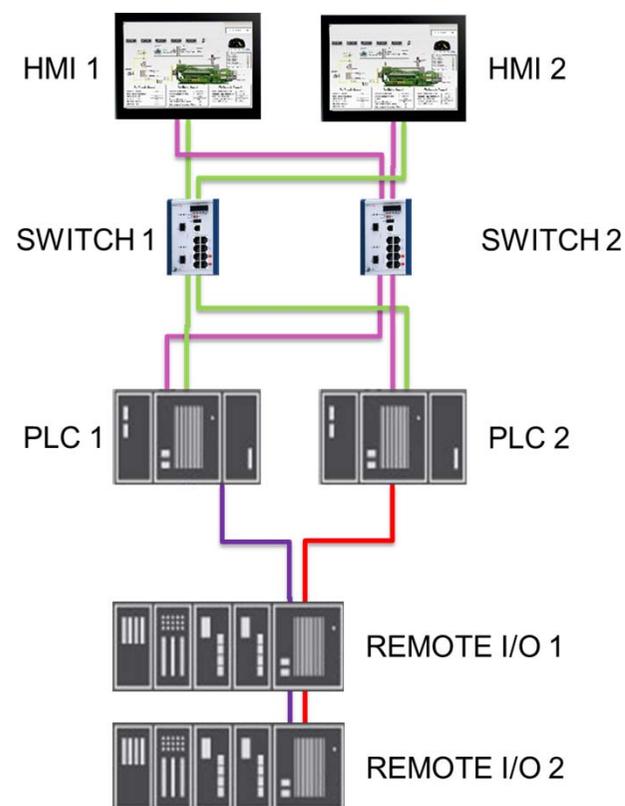


5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

Soluzione prevista per il PMS/EMS

Power Management System (PMS) ed Energy Management System (EMS) sono integrati in un sistema d'automazione provvisto di tutte le ridondanze possibili, rendendo il suo funzionamento immune ad ogni singola avaria:

- hot-standby dello SCADA
- hot-standby della CPU
- ridondanza di LAN
- ridondanza di fieldbus
- ridondanza d'alimentazione.

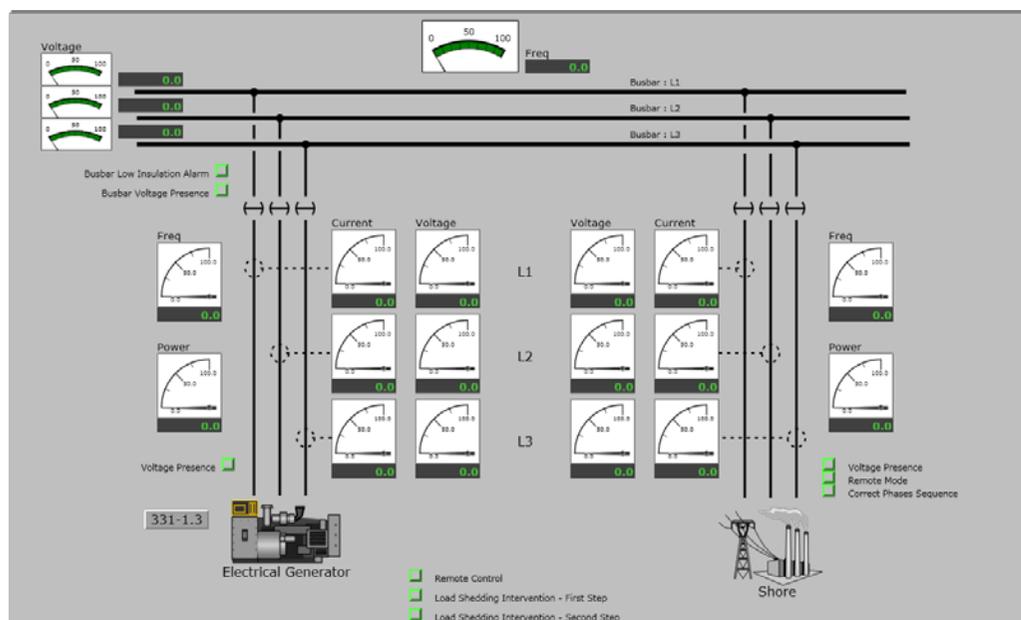


5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

Soluzione prevista per il PMS/EMS

Il PMS si occupa degli aspetti di power management, gestendo il parallelo tra le fonti d'energia ed assicurando l'alimentazione ai carichi di bordo. Funzionalità principali:

- Monitoraggio delle grandezze elettriche
- Controllo degli interruttori
- Gestione dei paralleli di diesel e presa di terra
- Regolazione dei livelli di tensione e frequenza
- Gestione delle sicurezze (per esempio arresto d'emergenza)



5. Applicazione della soluzione Energy Box ad un grande porto. Esempio.

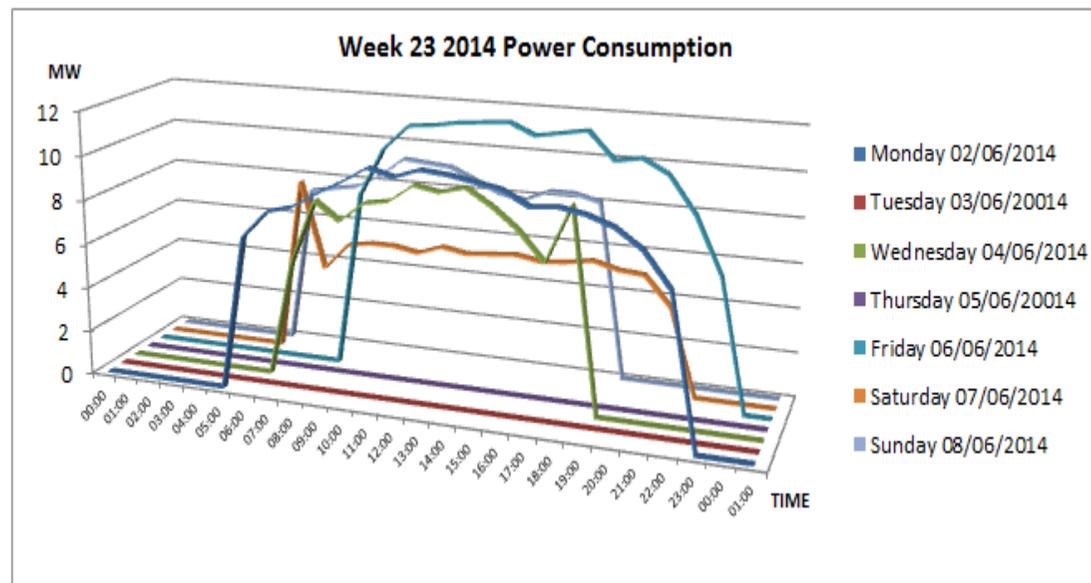


TELECONTROLLO 2017
RETI DI PUBBLICA UTILITÀ

Soluzione prevista per il PMS/EMS

L'EMS si occupa di monitorare, controllare e ottimizzare le performance del sistema di generazione e trasmissione dell'energia. Funzionalità principali:

- Definizione della strategia d'utilizzo delle fonti d'energia finalizzato al risparmio economico ed alla riduzione delle emissioni;
- Definizione delle strategie di stoccaggio dell'energia;
- Definizione dell'integrazione con prelievo d'energia dalla rete elettrica nazionale;
- Gestione dell'energia da fonti rinnovabili;
- Gestione dei limiti di corrente e tensione per il sistema di stoccaggio.



6. Conclusion.



- L'impianto shore-to-ship basato sulla tecnologia Energy Box eroga elettricità a partire dalle reti terrestri e consente d'ottenere totale eliminazione delle emissioni, in particolare per SOx, NOx, particolato visibile e CO2.
- La soluzione è molto attraente sia per le Società Armatrici che possono attraccare nei porti prossimi ai centri delle città senza inquinare e riducendo i costi di manutenzione dei motori sia per gli Enti Portuali che possono vendere elettricità alle navi.
- La soluzione Energy Box ha il vantaggio d'integrare anche sorgenti d'energia rinnovabile dall'eolico al fotovoltaico, all'energia da moto ondoso.
- Inoltre i nuovi sistemi di accumulo (non da ultimo quelli basati sull'idrogeno) rendono più efficiente il sistema e riducono ulteriormente le emissioni.

Grazie per l'attenzione

Energy box per l'alimentazione Shore-to-ship per grandi navi in porto.

Autori:

Silvio Casini (silvio.casini@fincantierisi.it), cell. 335 7566466

Fabio Marchesi (fabio.marchesi@fincantierisi.it), cell. 3440779521

Andrea Piccin (andrea.piccin@fincantierisi.it), cell. 346 1440925

Giordano Torri (giordano.torri@fincantierisi.it) cell. 348 4045031

Fincantieri SI spa – Trieste

1. Motivazione e riferimenti normativi.

L'IMO (International Maritime Organization) ha emesso le regolamentazioni Marpol Annex 6 atte a limitare progressivamente le emissioni di SO_x e NO_x delle navi e rendendo obbligatori a bordo le gestioni dell'Energy Efficiency Design Index (EEDI) e del Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). In Europa, la direttiva 2005/33/EC impone i limiti di tenore di zolfo a 0,1% per i combustibili per navi che stiano più di due ore in un porto Europeo. La direttiva, recepita in Italia con il Decreto legislativo n. 205 del 09/11/2007, si pone l'obiettivo di ridurre progressivamente le emissioni prodotte dalle navi, attualmente responsabili del 6% dell'SO_x, del 15% dell'NO_x e del 2% del CO₂ emessi in atmosfera, e di consentire che esse attraccino nei porti vicino ai centri delle città senza essere fonte d'inquinamento e di rumore. I porti devono investire in nuove tecnologie per esser in regola con le normative sempre più stringenti. La Comunità Europea con la raccomandazione 2006/339/EC richiede di allacciarle le navi in porto alla rete terrestre per alimentare le utenze di bordo e poter spegnere i motori diesel di generazione. La stessa soluzione è promossa dalle raccomandazioni e legislazioni di molti paesi tra cui USA e Cina. La figura 1 illustra i limiti di emissione in osservanza delle normative vigenti.

Anno	Limite SO _x (% m/m)		Limite NO _x (g/kWh)	
	IMO MARPOL Annex VI		2005/33/EC	IMO MARPOL Annex VI
	Alto mare e attracco	SECA (Baltic Sea, North Sea, English Channel)	Attracco	Alto mare e attracco
2009	4.5%	1.5%	1.5%	11.8
2010			0.1%	
2011	3.5%	1.0%	9.6	
2012		0.1%		
2015				
2016	0.5%		2.3	
2020				

Figura 1- Limiti emissioni

La raccomandazione della Comunità Europea n.2006/339/EC promuove quindi la «shore to ship connection» come soluzione per eliminare completamente l'inquinamento delle navi attraccate in porto. La norma IEC 80005 raccomanda di dimensionare gli

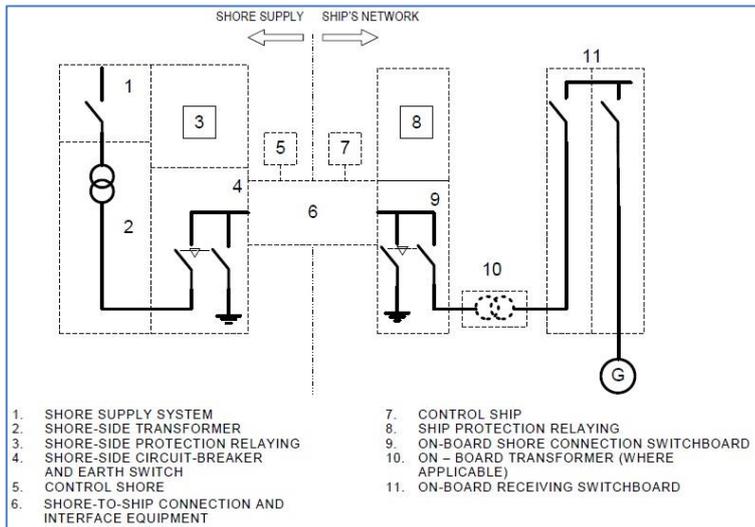


Figura 2 - Schema alimentazione shore-to-ship.

impianti shore-to-ship per navi passeggeri per almeno 16 MVA, e fino 20 MVA ove praticabile, ad una tensione nominale di 11 kV AC e/o di 6,6 kV AC. La fig. 2 mostra sinteticamente lo schema di alimentazione “shore-to-ship”. Questa memoria illustra la soluzione **“Energy Box”** appositamente progettata per connettere l'impianto di bordo di una nave alla rete di terra con speciale riguardo ai temi di efficienza energetica, di risparmio energetico e non da

ultimo di integrazione con le energie rinnovabili.

2. Descrizione tecnica della soluzione Energy Box per shore-to-ship.

Il sistema “Energy Box” consente di convertire la tensione a 50 Hz presente in porto in tensione a 60Hz secondo lo standard previsto a bordo, garantendo che:

- La tensione lato 60 Hz sia fornita secondo gli standard più diffusi a 6,6 – 11 KV.
- Il THD sia entro i limiti delle norme (< 5%).
- L'alimentazione sia compatibile con la rete di bordo a neutro isolato oppure connessa a terra con alta impedenza.
- La selettività delle protezioni di bordo sia mantenuta.
- Il funzionamento possa avvenire sia isolato sia in parallelo con i generatori di bordo, di potenza qualsiasi.
- La commutazione tra i due funzionamenti possa avvenire senza soluzione di continuità.

Il sistema “Energy Box” si presenta come una Micro-rete secondo lo schema di principio di fig. 3. In essa si identificano il carico principale costituito dalla rete a 60 Hz della nave ed una pluralità di sorgenti di energia che possono essere sia in DC sia in AC ed in generale queste ultime funzionanti a tensioni ed a frequenza diverse. Esse alimentano il sistema in maniera coordinata dal Power and Energy Management System (PEMS) di cui l’“Energy Box” è dotato. L'energia può essere quindi prelevata sia dalla rete pubblica sia da sorgenti locali distribuite di tipo convenzionale e/o rinnovabile. Ogni sorgente di energia richiede una interfaccia di potenza dedicata. Si configurano due tipi di connessioni: in corrente continua ed in corrente alternata, come mostrato in fig. 4 e 6. Va

da sé che le interfacce sono di tipo statico e sono basate su sistemi di conversione elettronici.

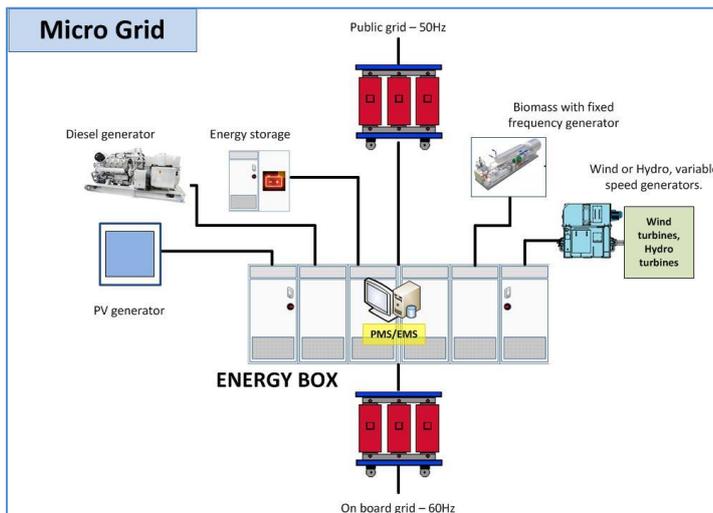


Figura 3 - Micro rete shore-to-ship.

Il sistema di fig. 4 che prevede un collegamento interno in corrente continua, crea un proprio DC bus al quale si connettono unità di conversione DC/DC oppure AC/DC. Successivamente da questo DC bus si diparte un sistema di conversione DC/AC che ha il compito di generare la tensione a 60 Hz. Questo sistema è preferibile per potenze unitarie fino a 5MW, oltre la quale è consigliabile passare alla soluzione con collegamento in AC, anche se è

possibile porre in parallelo diverse unità singole come mostrato in fig. 5 per raggiungere la potenza desiderata.

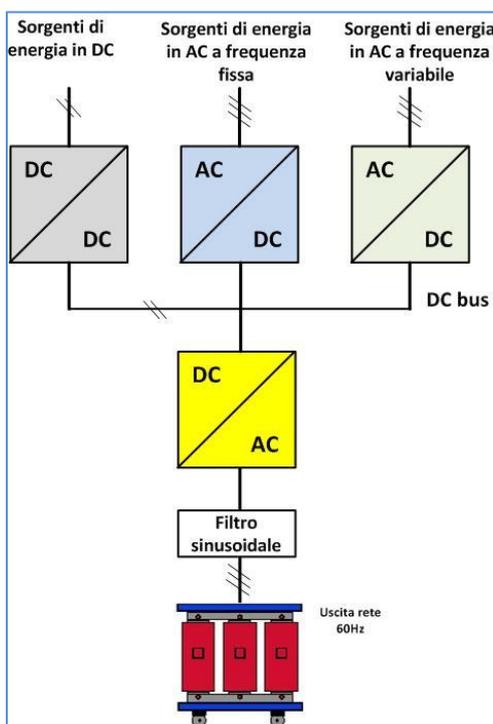


Figura 4 - Soluzione Energy Box con collegamento in DC.

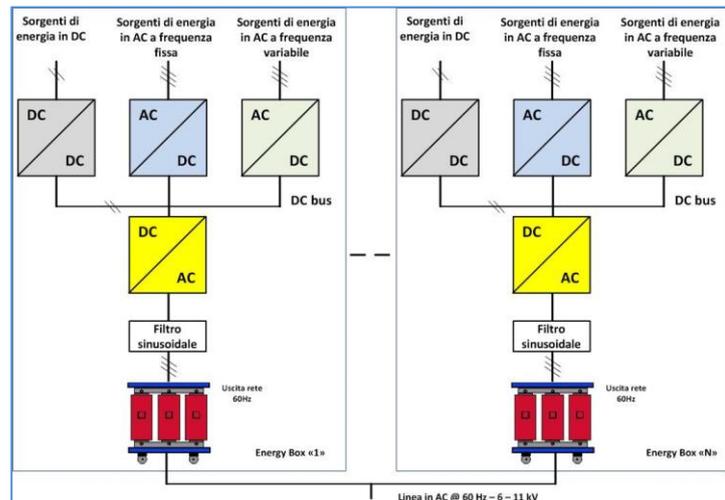


Figura 5 - Energy Box con collegamento interno in DC connesse tra loro in parallelo.

Il sistema di figura 6 prevede diverse unità di conversione AC/AC oppure DC/AC connesse tutte in parallelo sulla sbarra in AC @ 60 Hz. Questo sistema consente di connettere unità di potenza diversa ed è consigliabile quando le potenze in gioco superano i 5MW. Va rilevato come la gestione del sistema di fig.4 (tramite il PEMS) sia più semplice di quello raffigurato in fig.6. La figura 7 mostra poi come sia possibile utilizzare più unità singole con collegamento in AC allo scopo di ottenere il livello di potenza desiderato.

La conversione statica richiede in entrambi gli schemi un modulo fondamentale. Come rilevato in fig. 8 la conversione DC/AC oppure AC/AC richiede sempre uno stadio invertitore con identiche caratteristiche. L'inverter si configura secondo lo schema "a tensione impressa con modulazione pwm". Il convertitore che genera la tensione a 60 Hz deve conservare tre requisiti fondamentali:

- La tensione prodotta a qualunque livello di carico attivo e reattivo deve contenere il THD entro un 5%.
- Deve poter generare una corrente in condizioni di corto circuito sul carico tale da consentire la selettività delle protezioni a valle, senza andare in blocco.
- Deve provvedere alla regolazione primaria di tensione e di frequenza con ripartizione automatica del carico con i generatori di bordo e con tutti gli altri generatori in parallelo lato shore.

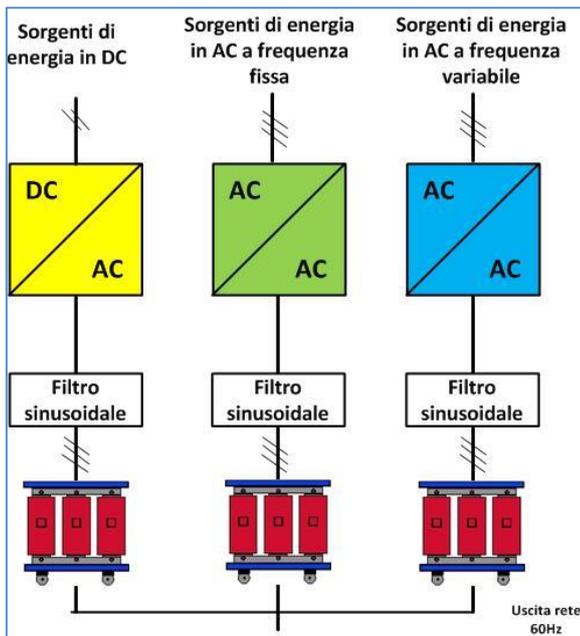


Figura 6 - Soluzione Energy Box con collegamento in AC.

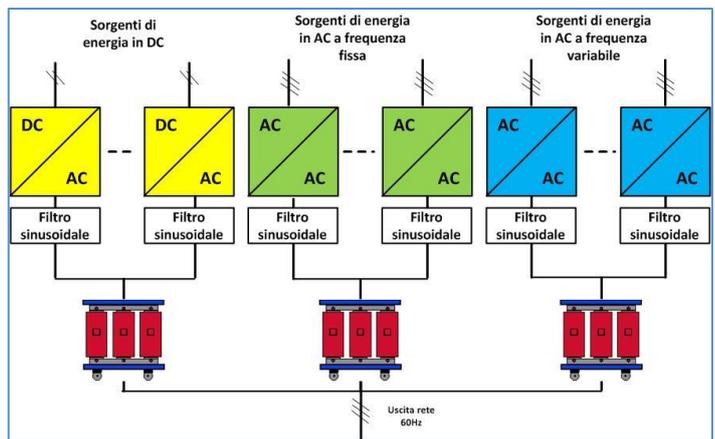


Figura 7 - Energy Box con collegamento interno in AC connesse in parallelo.

Per contenere il THD entro i limiti normativi del 5% è necessario che l'inverter abbia un filtro sinusoidale sulla sua uscita che elimini il contenuto armonico prodotto dalla modulazione

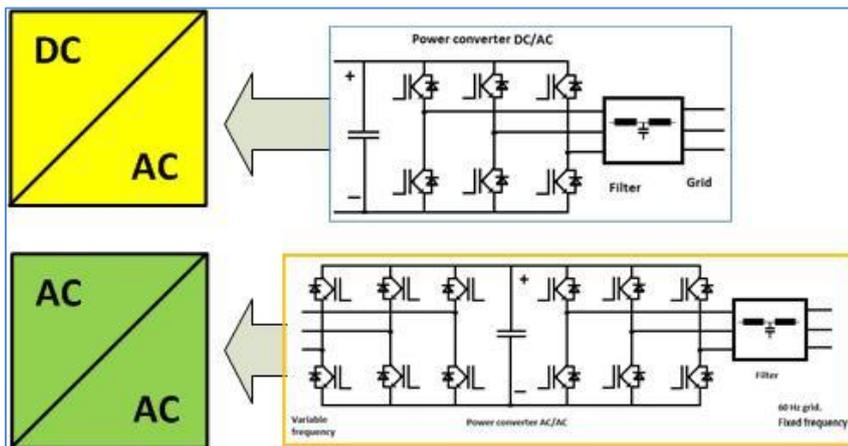


Figura 8- Convertitore DC/AC e AC/AC. Schema semplificato.

pwm ed al tempo stesso non provochi risonanze con il resto del sistema elettrico di bordo. Il filtro è mostrato nelle figure da 4 a 8.

Quanto alla selettività delle protezioni di bordo si osserva che la capacità di generare una corrente di corto circuito senza andare in blocco deve rispettare il diagramma illustrato in fig. 9. In condizioni normali il

convertitore genera la corrente di carico con tensione entro i limiti dell'area verde. Quando il carico eccede il valore ammesso per un funzionamento sia normale sia in sovraccarico entra in gioco il limite di corrente che per solito è predisposto tra valori compresi tra il 150 ed il 300% della corrente nominale. Più elevata è la richiesta di corrente di corto circuito e più grande deve essere il dimensionamento del convertitore con specifico riguardo alla corrente limite I_{cc-max} . Uno studio accurato del sistema di

bordo consente di definire un dimensionamento ottimale del convertitore preservando l'integrità delle protezioni di bordo.

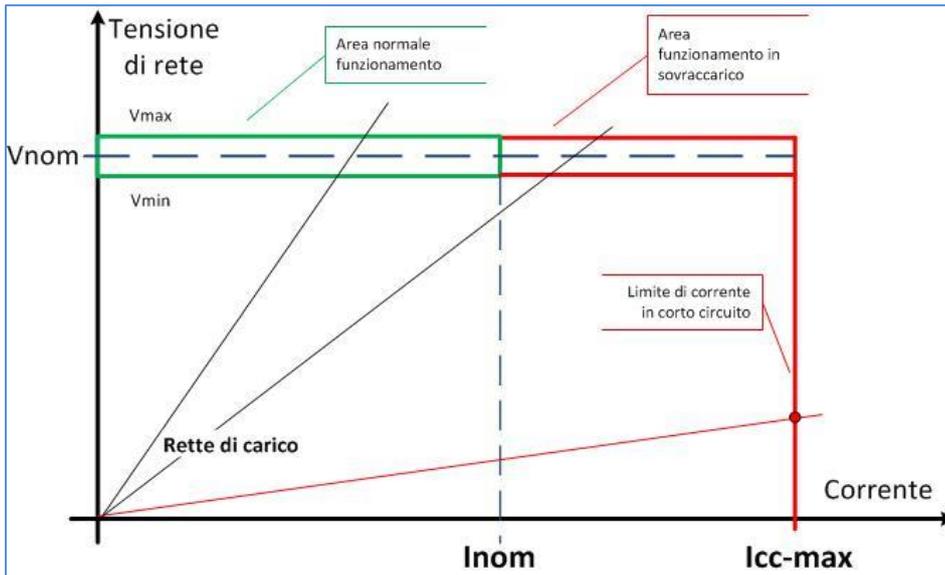


Figura 9- Funzionamento inverter in condizioni normali (In verde) ed in condizioni di cto-cto (In rosso).

Quanto alla regolazione primaria di frequenza e di tensione occorre disporre della possibilità di selezionare due distinte modalità: isocrona e droop. Come accade per i gruppi di generazione diesel-elettrici, nel primo caso l'inverter mantiene una frequenza ed una tensione costante

indipendentemente dal carico. Questa modalità è preferibile nel caso di alimentazione della rete con un solo gruppo. Nel caso occorra funzionare in parallelo con altri gruppi diesel oppure con un sistema a più inverter in parallelo è opportuno utilizzare la modalità "droop" come mostrato in fig. 10. All'aumentare del carico attivo il regolatore di frequenza provvede a ridurre il valore con una variazione preassegnata ($\Delta f / \Delta P$) e viceversa. Parimenti, al variare del carico reattivo l'inverter segue una curva ($\Delta V / \Delta Q$) con uno statismo predefinito. In tal modo è possibile ottenere una ripartizione automatica del

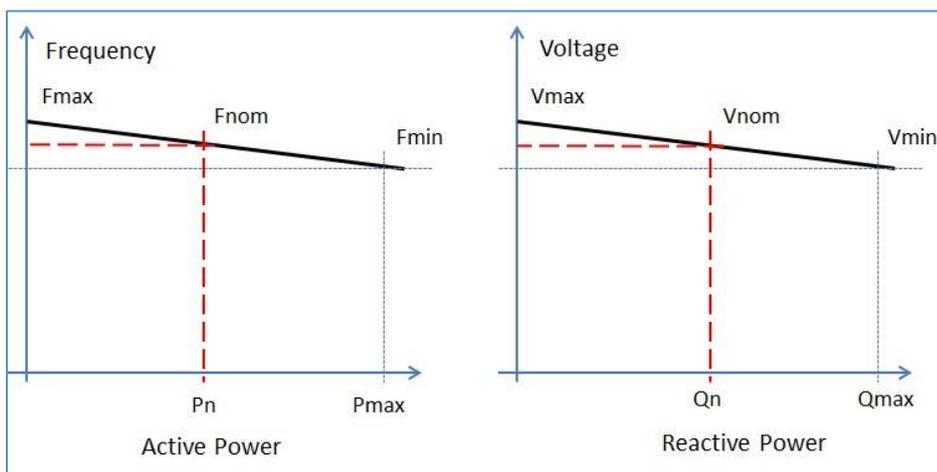


Figura 10- Funzionamento in droop (Tensione e frequenza).

carico attivo e reattivo tra i gruppi in parallelo. Il PEMS può intervenire per stabilire una ripartizione di carico tra i gruppi in parallelo diversa dalla predisposizione naturale oppure per

riportare la frequenza e la tensione di rete ai valori nominali compensando gli scostamenti conseguenti a variazioni di carico (regolazione secondaria).

La tensione di uscita deve poter essere commutata tra due valori normalmente utilizzati a bordo: 6,6 kV ed 11 kV. Un trasformatore di uscita al sistema può consentire tale adattamento. L'utilizzo di un singolo trasformatore è permesso mediante una configurazione degli avvolgimenti secondari a stella per 11 kV ed a triangolo per 6,6 kV,

che, come sarà mostrato nell'esempio applicativo, può effettuarsi con opportuni interruttori.

Si tenga presente che nella configurazione a stella del trasformatore la presenza del neutro consente di vincolare a terra con alta impedenza tutto il sistema. Se il trasformatore viene configurato a triangolo occorre aggiungere un trasformatore zig-zag per ricreare un neutro onde vincolare a terra tutto il sistema.

3. Funzionalità del sistema Energy Box per shore-to-ship.

In questo paragrafo si esaminano le funzionalità automatiche del sistema *Energy Box* di connessione dell'alimentazione terrestre.

Esse sono:

- telecontrollo e supervisione dell'impianto
- gestione della connessione e disconnessione in sicurezza delle sorgenti d'energia e delle utenze alla rete elettrica del porto
- Interfacciamento in sicurezza e scambio dati con il sistema di shore connection di bordo conformemente alle normative di riferimento (es. IEC 80005 e regolamenti dei Registri di Classifica)
- gestione dell'immagazzinamento dell'energia proveniente dalle fonti rinnovabili e programmazione della sua integrazione con energia proveniente dalla rete nazionale nelle ore a tariffe più convenienti o di minor impatto nel caso di limitazioni di potenza di rete
- connessione senza discontinuità di servizio delle utenze della nave ("shore-to-ship"). Il sistema d'automazione opera, di concerto con il PMS di bordo, un parallelo temporaneo con il generatore di bordo con un graduale trasferimento del suo carico, fino alla disconnessione e spegnimento del generatore stesso.
- monitoraggio del livello dei consumi e gestione del parallelo automatico dei convertitori, nel caso di superamento di determinate soglie di potenza o nel caso in cui il PMS di bordo richieda l'inserimento di una grossa utenza in rete.
- database di supporto per le informazioni sui dati delle singole navi, in modo da poter programmare i consumi futuri sulla base dello storico elaborato sulla base dei precedenti arrivi delle stesse navi o di navi simili.
- registrazione dei consumi per la fatturazione alle navi
- possibilità di supervisione remota da parte del personale reperibile e d'invio di allarmi e/o reportistica via email o sms

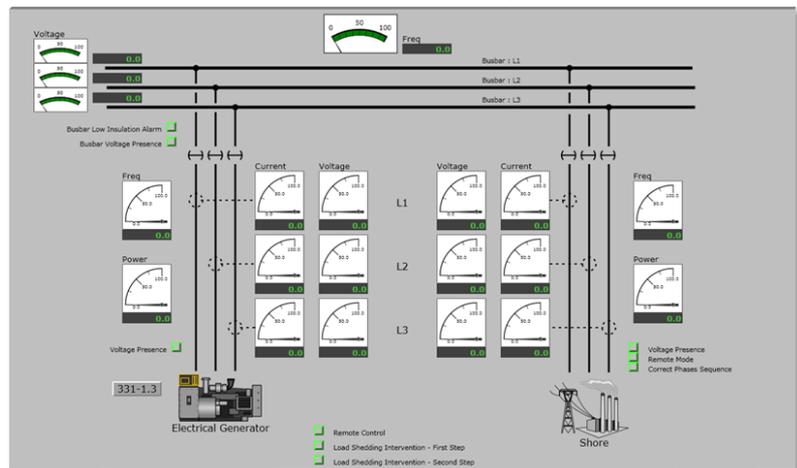


Figura 11 - esempio di schermata dello SCADA

4. Vantaggi della soluzione Energy Box.

Il sistema *Energy Box* consente i seguenti vantaggi per le Società Armatrici:

- riduzione di costi in combustibili
- riduzione delle ore di funzionamento dei gruppi diesel-generatori di bordo con relativi allungamenti degli intervalli manutentivi e conseguenti risparmi economici;
- maggiore disponibilità di tempo per eventuali lavori di manutenzione a bordo;
- possibilità di attraccare nei pressi del centro cittadino senza causare emissioni inquinanti o rumore.

Il sistema *Energy Box* consente i seguenti vantaggi per l'Ente Portuale:

- benefici per l'ambiente;
- vendita d'energia elettrica alle navi;
- possibilità d'integrare energia da fonti rinnovabili e mediante l'acquisto dell'energia da rete nazionale alle tariffe più convenienti;
- riduzione di costi d'energia elettrica ottenuto mediante integrazione con produzione propria da fonti rinnovabili e mediante l'acquisto dell'energia da rete nazionale alle tariffe più convenienti;
- minor impatto sulla stabilità della rete del territorio dato che la richiesta d'energia delle grandi navi viene diluita e/o posticipata ai momenti di minor consumo cittadino.

5. Applicazione del sistema Energy Box ad un grande porto.

Quale esempio concreto si riporta il caso di un grande porto Italiano al quale attraccano navi di ogni tipo incluse le navi da crociera. Queste ultime richiedono tipicamente una potenza di circa 12,8 MW con $pf = 0,8$ (16MVA) quando sono in porto. Studi di selettività consentono di adeguare la corrente di corto circuito ad un valore pari al 150% di I_n . La rete MT di bordo è normalmente connessa a terra tramite alta impedenza. I registri impongono che la tensione presenti un THD $< 5\%$ in qualunque condizione di carico.

Per contro la rete di terra è a 50 Hz e nel caso esaminato la linea in porto arriva alla tensione di 33 kV tramite una rete con una potenza di corto circuito di $P_{cc} = 500\text{MVA}$.

Il primo esame viene fatto tenendo conto della sola alimentazione da rete pubblica. Una seconda analisi considera anche una sorgente addizionale da fonte rinnovabile fotovoltaica. Nel porto esiste una area sufficiente per installare un sistema fotovoltaico che nella sua massima estensione consente l'opzione di autoproduzione di energia con 5 MW di picco. In tal caso è consigliabile introdurre un sistema di accumulo per meglio bilanciare la variabilità dell'energia prodotta dal sistema fotovoltaico ed al tempo stesso mitigare le fluttuazioni di potenza introdotte dal carico della nave. Da calcoli effettuati il sistema di accumulo richiede elementi a batterie elettrochimiche per un totale di 1,8 MWh. Date le potenze in gioco il bilanciamento è effettuato su base oraria e non prevede il time shifting.

La soluzione ottimale individuata è illustrata in figura 12. L'impianto è costituito da due linee di conversione in parallelo di metà potenza ciascuna e connesse alla rete pubblica a 50Hz. La soluzione consente di utilizzare l'impianto a due livelli di potenza: 6,4 e 12,8 MW, in funzione del tipo di nave che attracca in porto. La capacità di fornire corrente in

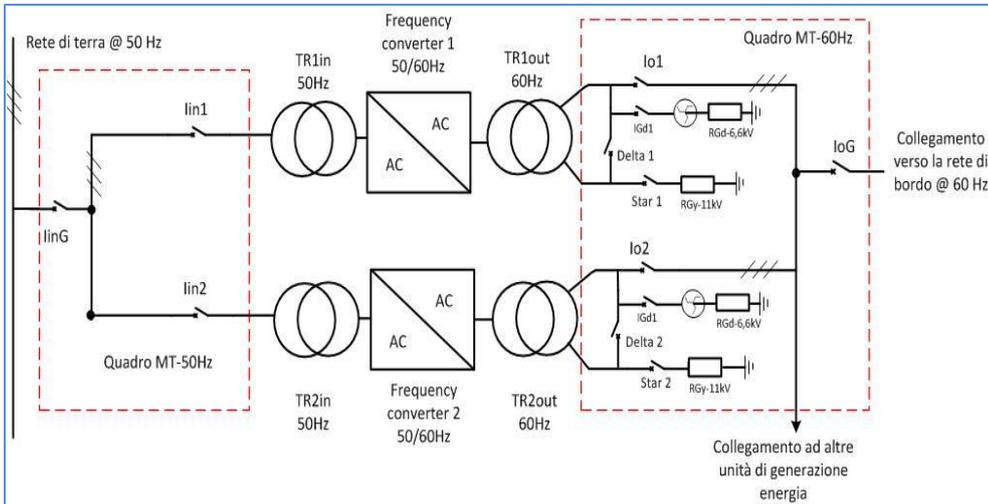


Figura 12 - Schema shore-to-ship da 16 MW @ 6,6 - 11 kV

condizioni di corto circuito verso la rete di bordo è stata calcolata in 150% rapportata ad I_n , per un totale di 24 MVA (2x12MVA). La tensione di uscita può essere predisposta a due

livelli: 6,6 e 11 kV con ulteriore

possibilità di aggiustamento fine fatto mediante gli stessi inverter. Nella figura 13 si mostra il rendimento del sistema nel suo complesso. Tenendo conto dei diversi equipaggiamenti

	Ingresso rete 50 Hz	Ingresso inverter	Uscita inverter	Uscita rete 60 Hz
Potenza apparente	2 x 7,4 MVA (pf = 0,92)			2 x 8 MVA (pf = 0,8)
Potenza attiva	2 x 6,8 MW	2 x 6,7 MW	2 x 6,5 MW	2 x 6,4 MW
Efficienza		0,985	0,97	0,985

Figura 13 - Schema shore-to-ship da 16 MW @ 6,6 - 11 kV

si ottiene un valore attorno al 94,1%. Da notare che il prelievo da rete pubblica avviene con elevato fattore di potenza tipicamente

superiore a 0,92. Lato rete pubblica il sistema presenta un THD inferiore al 3% in quanto i convertitori offrono uno stadio attivo equivalente ad un sistema da 36-P.

L'estensione dell'impianto che include una sorgente di energia locale prevede un campo fotovoltaico da 5 MW picco, come mostrato in fig. 14. Il campo PV è stato dimensionato

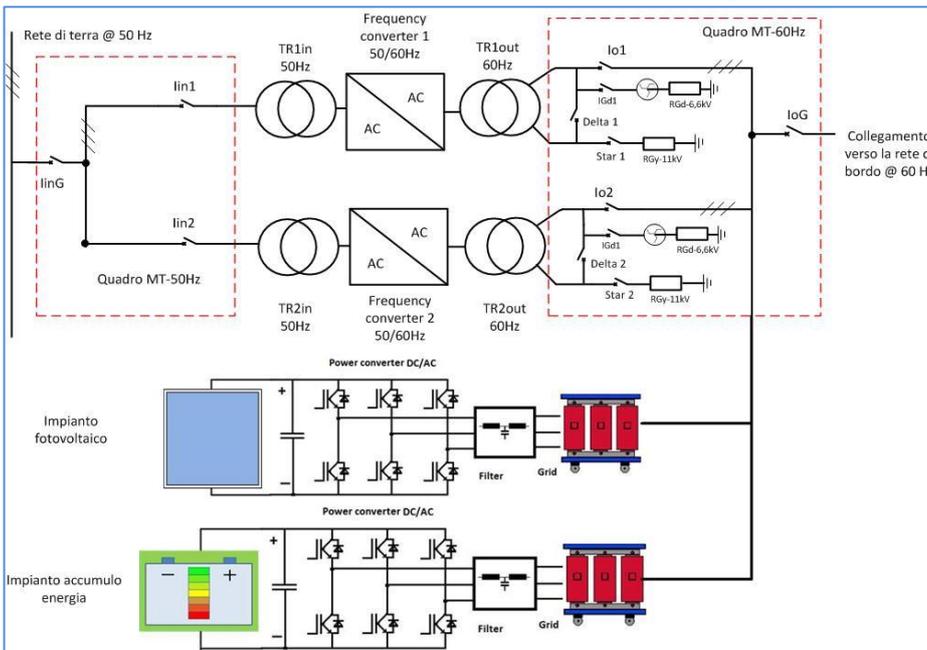


Figura 14 - Impianto shore-to-ship integrato con PV ed accumulo di energia

sullo spazio disponibile per la superficie dei pannelli. Questa sorgente di energia produce mediamente il 25% dell'energia utile alla nave, con un consistente risparmio sul prelievo dalla rete pubblica.

All'impianto viene poi associato un sistema di accumulo con batterie elettrochimiche da 1,8 MWh. Lo scopo del

sistema di accumulo è rendere più costante il

prelievo di energia da rete pubblica compensando sia la variabilità di produzione del campo PV sia la variabilità introdotta dai carichi della nave.

6. Conclusione.

L'impianto shore-to-ship basato sulla tecnologia Energy Box eroga elettricità a partire dalle reti terrestri e consente d'ottenere totale eliminazione delle emissioni, in particolare per SO_x, NO_x, particolato visibile e CO₂. La soluzione è molto attraente sia per le Società Armatrici che possono attraccare nei porti prossimi ai centri delle città senza inquinare e riducendo i costi di manutenzione dei motori sia per gli Enti Portuali che possono vendere elettricità alle navi. La soluzione Energy Box ha il vantaggio d'integrare anche sorgenti di energia rinnovabile, dall'eolico, al fotovoltaico, all'energia da moto ondoso. Inoltre i nuovi sistemi di accumulo (non da ultimo quelli basati sull'idrogeno) rendono più efficiente il sistema e riducono ulteriormente le emissioni.