

Sommario

1 Introduzione	5
2 Descrizione dei porti del Mar Ligure Occidentale	9
2.1 Il Porto di Genova	10
2.2 Il Porto di Prà.....	10
2.3 Il porto di Savona.....	11
2.4 Il porto di Vado Ligure.....	12
3 Perché elettrificare le banchine	13
3.1 Emissioni in atmosfera.....	14
3.2 Rumore e vibrazioni.....	15
3.3 Costo dell'energia alla nave	15
4 La situazione legale e normativa	17
4.1 Elettrificazione delle banchine in Europa e nel Mondo	18
4.2 Leggi e regolamenti internazionali.....	18
4.3 Le norme tecniche.....	19
5 L'infrastruttura per il cold ironing	21
5.1 Architettura del sistema di alimentazione navi.....	22
5.2 Modalità di allaccio delle diverse tipologie di navi	22
5.3 Il convertitore di frequenza.....	23
5.4 Disponibilità di potenza	24
5.5 Distorsione armonica	25
5.5.1 IEC 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems	25
5.5.2 IEC TR 61000-3-6 Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.....	26
5.5.3 EN 50160 (CEI 8-9) Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica	27
5.6 Sicurezza delle operazioni.....	27
5.6.1 Protocollo di scambio dati nave-porto	27
5.6.2 Logiche di sicurezza e interblocchi.....	28
5.6.3 Logica terre 11 kV.....	29



6 L'elettificazione delle banchine	31
6.1 Area Bacini e Riparazioni Navali.....	32
6.1.1 Il convertitore 50/60 Hz da 10 MW.....	33
6.1.2 L'alimentazione delle navi	34
6.1.3 La gestione del neutro della rete a 60 Hz.....	36
6.1.4 Il cavo sottomarino.....	38
6.1.5 Lo SCADA.....	38
6.1.6 Le protezioni adattative.....	40
6.2 Elettificazione dei Terminal Crociere e Traghetti	41
6.3 Elettificazione delle banchine del porto di Prà	42
6.3.1 Procedure di affido dell'appalto.....	42
6.3.2 L'alimentazione elettrica del Porto di Prà	44
6.3.3 Alimentazione delle Portacontainer	45
6.4 Elettificazione delle banchine del porto di Vado Ligure.....	47
6.4.1 L'alimentazione elettrica della Piattaforma Maersk	47
6.4.2 Alimentazione e ridondanza	48
6.4.3 Il cold ironing di Vado Ligure.....	49
7 Le lezioni da imparare	51

■ **1**
Introduzione



Alimentare da terra le navi ormeggiate in porto o nei bacini è in generale complesso, e richiede infrastrutture altamente tecnologiche, ingombranti, e costose. La complessità cresce ulteriormente per i porti europei, perché la maggior parte delle navi distribuisce l'energia elettrica a 60 Hz (lo standard americano) mentre in Europa abbiamo la rete elettrica a 50 Hz. Questo rende necessario inserire dispositivi che convertano la frequenza di rete da 50 a 60 Hz. Fino a qualche tempo fa sarebbe stato necessario utilizzare sistemi elettromeccanici rotanti, mentre oggi possiamo farlo utilizzando convertitori statici, di tipo elettronico, più compatti e dalla manutenzione più ridotta. Si tratta comunque di macchine complesse in ragione delle elevate potenze richieste dalle navi e delle problematiche di sicurezza che l'alimentazione elettrica delle navi pone che impiegano tecnologie di ultima generazione. L'assorbimento di energia di una grande nave da crociera è grossomodo equivalente a quello di una città da 80.000 abitanti (diciamo Savona e le due Albisola insieme), mentre una grande portacontainer richiede l'energia equivalente a quella di 25-30.000 persone (circa Voltri e Prà insieme). Queste grandi quantità di energia sono concentrate in spazi molto ristretti e passano tutte dal sistema di connessione banchina-nave.

Ad aumentare la difficoltà, i porti liguri soffrono inoltre di un problema tipico della nostra regione: la mancanza di spazi. Realizzare infrastrutture di rete complesse è particolarmente difficile nei porti liguri dove le diverse utenze tecnologiche negli anni sono venute spesso a sovrapporsi; trovare le vie di passaggio dei cavi o gli spazi dove realizzare i punti di allaccio delle navi o le cabine di conversione richiede spesso interventi di tipo strutturale complessi. Al di là delle opere in area strettamente portuale è poi necessario pensare agli interventi di sistema, a volte ancora più difficili. L'alimentazione delle navi richiede infatti elevate quantità di energia elettrica, quando la rete di distribuzione nella nostra regione è da anni in condizioni di sofferenza. L'alimentazione delle navi richiede quindi interventi di potenziamento della rete elettrica che devono essere coordinati col distributore (per i porti liguri è oggi "e-distribuzione", in precedenza "Enel Distribuzione").

In questi ultimi dieci anni, l'Autorità Portuale ha affrontato e risolto questi problemi ed ha realizzato, o sta realizzando, l'elettrificazione delle banchine dei Bacini di Carenaggio di Genova, del Porto di Genova e di Prà, e della nuova piattaforma Maersk di Vado Ligure. Si tratta, come si vedrà in dettaglio nel seguito, di interventi molto importanti che fanno dei porti del Mar Ligure Occidentale il primo sistema portuale italiano e del Mediterraneo ad offrire la possibilità di alimentare da terra tutte le tipologie, o quasi, di navi ormeggiate. Occorre sin da subito sottolineare come in realtà siano oggi ancora poche le navi predisposte per l'alimentazione da terra. Infatti, come è complessa l'infrastruttura di banchina, così la rete elettrica della nave richiede un intervento importante per poter essere messa in grado di ricevere un'alimentazione da terra. Mentre le navi nuove nascono già predisposte all'alimentazione da terra, quelle esistenti stanno, lentamente, adeguandosi. La disponibilità di banchine elettrificate, insieme ai necessari interventi normativi per spingere in questa direzione, renderanno questa transizione possibile e più rapida.

Nel seguito adotteremo spesso la più sintetica dicitura inglese "cold ironing" (letteralmente "stiratura a freddo") per indicare l'alimentazione da terra delle navi. È un termine in slang americano dall'origine poco chiara, che si giustifica per il fatto che essendo alimentata da terra la nave spegne i propri generatori e quindi diventa "un pezzo di ferro freddo". Il termine nasce per le navi a vapore che nel porto di New York venivano alimentate da un impianto centralizzato a terra che garantiva il mantenimento in temperatura della caldaia di bordo, dando così la possibilità per le navi di salpare in tempi ridotti in caso di necessità e garantendo il funzionamento degli impianti di bordo. In tempi più recenti, il cold ironing, più formalmente chiamato Alternative Marine Power (AMP), fu promosso inizialmente nel 2006 dalla California del governatore Schwarzenegger, seguita poco dopo dall'Autorità Portuale di Miami, ed ha oggi applicazione in alcuni porti nord americani, cinesi, e parzialmente in alcuni porti di Svezia e Germania. Non è casuale il fatto che l'elettrificazione dei porti europei ha avuto inizio nei paesi dove sono presenti i maggiori costruttori delle apparecchiature necessarie al cold ironing, e dove quindi le installazioni locali rappresentano un banco di prova ed una vetrina per le aziende. Le infrastrutture dei porti liguri rappresentano quindi un'eccellenza Europea, ed un unicum nell'intero Mediterraneo.

Questa dispensa affronta in maniera approfondita tutti gli aspetti elettrici ed energetici del cold ironing, dando solo un breve panorama degli aspetti più sistemici ed economici che sono stati oggetto di numerosi convegni e studi anche da parte di questa Autorità Portuale.

La dispensa descrive in dettaglio e mostra le soluzioni tecnologiche adottate negli interventi fatti o in corso, riassumibili in:

- cold ironing di tutte le navi in bacino nell'area delle riparazioni navali di Genova, dove il cold ironing è entrato in servizio ai primi del 2018,
- estensione del cold ironing al Terminal Crociere di Stazione Marittima e al Molo Giano, in fase di studio,
- predisposizione all'elettrificazione della banchina del terminal Messina nel Porto di Genova,
- elettrificazione della banchina del Porto di Prà, in fase di realizzazione con entrata in servizio nel corso del 2020,
- predisposizione all'elettrificazione della banchina della Piattaforma Maersk di Vado Ligure.

▣ **2** ▣

**Descrizione dei porti del
Mar Ligure Occidentale**



Le immagini ai capitoli seguenti mostrano con piena evidenza come tutte le strutture portuali di Genova, Prà e Savona siano di fatto integrate nelle città. Più decentrato il Porto di Vado Ligure, anche se sempre a breve distanza dal centro abitato. La vicinanza dei recettori rende particolarmente importante ridurre al minimo le emissioni in atmosfera e acustiche quando le navi sono attraccate o in bacino.

2.1 Porto di Genova

Il Porto di Genova ha uno sviluppo totale di oltre 22 km, con una superficie a terra di circa 700 ettari, e circa 500 ettari di superficie a mare.



Fig.1 Vista aerea del Porto di Genova

Il Porto di Genova è dotato di 25 terminal idonei ad accogliere sia passeggeri, sia merci (container, prodotti deperibili, rinfuse solide e liquide). La Stazione Marittima ha sbarcato nel 2017 quasi un milione di passeggeri da più di 200 navi da crociera e circa due milioni di passeggeri da più di 1800 navi traghetto. Nella zona di Miltedo è posizionato un terminal petrolifero che movimentata circa 14,5 milioni di tonnellate di prodotti petroliferi, ricevendo più di 400 navi all'anno.

I bacini di carenaggio sono situati nella zona est del Porto di Genova (vedi Figura 1). Vi vengono svolte le attività di riparazione, trasformazione, manutenzione, e costruzione delle navi. Sono presenti cinque bacini di carenaggio di lunghezza variabile da 150 a 270 metri. La superficie totale occupata è intorno a 150.000 m² con una linea di accosto complessiva di circa 2.000 metri. A pieno regime, nell'area gravitano fino a 6000 lavoratori.

2.2 Il Porto di Prà

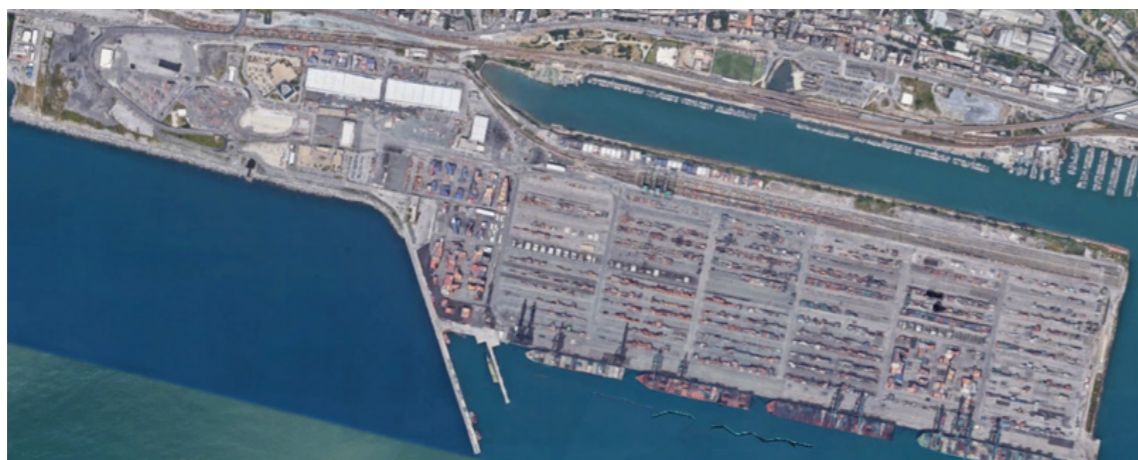


Fig.2 Vista aerea del Porto di Prà

Il Porto di Voltri-Prà si estende per una superficie di quasi 1 milione di metri quadri, e consente l'approdo contemporaneo di quattro navi portacontainer. E' equipaggiato di otto gru di banchina che gli consentono di operare navi di classe Ultra Large e New Panamax fino a 20.000 TEU. Il porto può ricevere fino a 1500 container refrigerati (reefer), ed ha accesso diretto alla rete ferroviaria nazionale e, mediante un viadotto dedicato, alla rete autostradale.

2.3 Il porto di Savona

Il Porto di Savona è dotato di terminali specializzati nella gestione di prodotti sfusi (bulk), ed in particolare: prodotti del legno, acciaio, automobili, camion ed altro. Il Terminale Alti Fondali consente di scaricare carbone ed altri prodotti sfusi che possono essere smistati o su gomma o attraverso una funivia che scavalca l'Appennino



Fig.3 Vista aerea del Porto di Savona

I due Terminal passeggeri del Porto di Savona hanno sbarcato nel 2017 più di 850.000 passeggeri da più di 180 navi da crociera.

2.4 Il porto di Vado Ligure



Fig. 4 Vista aerea del Porto di Vado Ligure

Nel Porto di Vado Ligure sono presenti due terminal principali:

- il Reefer Terminal, che movimentata circa 500.000 TEU all'anno, ed è leader nel Mediterraneo occidentale per la frutta fresca;
- il Forship Terminal, che opera navi da e per la Corsica.

È in fase di realizzazione una nuova piattaforma per il carico/scarico di container completamente automatizzata, in grado a regime di movimentare 860.000 TEU all'anno.

□ 3 □

**Perchè elettrificare
le banchine**

3.1 Emissioni in atmosfera

Una nave da crociera attraccata in banchina in 10 ore produce circa la stessa quantità di anidride carbonica (CO₂) di 25 automobili di media cilindrata in un anno. Oltre alla CO₂, le principali emissioni inquinanti delle navi consistono di:

- ossidi di azoto (NO_x)
- ossidi di zolfo (SO_x)
- composti organici volatili (VOC), in particolare idrocarburi
- particolato atmosferico (particolato grossolano, PM10, PM2,5)
- monossido di carbonio (CO) [1]

Mentre la CO₂ è un gas serra, che presenta quindi un rischio ambientale su scala globale ma nessun rischio specifico locale, gli altri elementi inquinanti presentano effetti locali sulla qualità dell'aria. Il cold ironing rappresenta quindi una misura efficace localmente, in quanto annulla, o almeno riduce in maniera drastica, le emissioni nel porto, spostandole nei luoghi dove viene prodotta l'energia elettrica. Entra quindi in gioco un aspetto sistemico legato al mix delle fonti energetiche utilizzate per produrre l'energia elettrica.

I dati del Gestore Servizi Energetici italiano [2] indicano per il 2017 il mix previsionale riportato in Fig.5. Si osserva che il 36% dell'energia elettrica proviene da fonti rinnovabili (nell'ordine idraulica, solare, biomasse, eolica, geotermica), il 42% da gas naturale, e che solo meno del 1% dell'energia elettrica è prodotta utilizzando combustibili derivati dal petrolio (nafte). Di fatto il 100% dell'energia elettrica prodotta dalle navi per il proprio consumo proviene dalla combustione di olio combustibile denso (OCD).

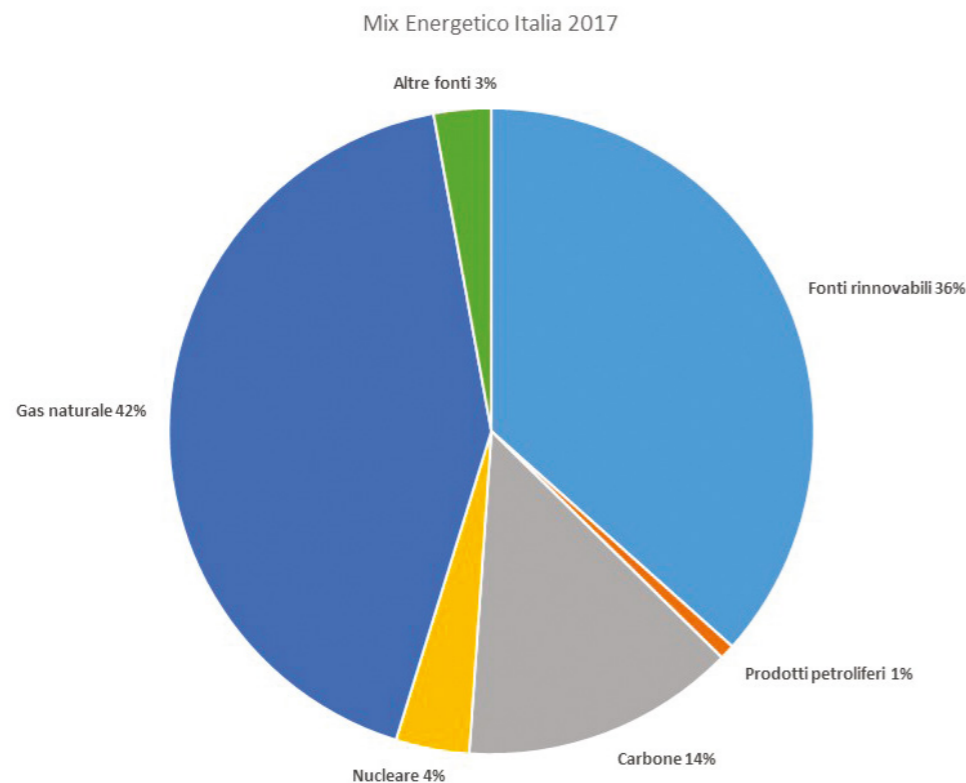


Fig.5 Mix energetico per la produzione di elettricità in Italia nel 2017

Il cold ironing ha quindi una serie di molteplici effetti benefici sulle emissioni in ambiente:

- elimina totalmente gli inquinanti locali (porto ed aree circostanti);
- riduce globalmente le emissioni di inquinanti perché sposta il consumo energetico verso fonti non inquinanti (le rinnovabili ed il nucleare) o comunque con emissioni molto inferiori rispetto ai derivati petroliferi (il gas naturale).

Se in prima approssimazione consideriamo egualmente inquinanti il carbone e il petrolio, che rappresentano il 15% del mix produttivo italiano, la riduzione delle emissioni è globalmente di circa un fattore 6. In altri termini, alimentare oggi da terra le navi riduce di circa 6 volte le emissioni che si avrebbero se le navi auto-produssero l'energia consumata. Il vantaggio aumenta all'aumentare della produzione di energia da fonti rinnovabili; ancora una volta la California è leader, ed ha posto il traguardo di avere il 100% di energia da fonti rinnovabili nel 2045. A quel punto il cold ironing azzererà totalmente l'impatto ambientale delle navi in porto.

3.2 Rumore e vibrazioni

I generatori di bordo sono per lo più costituiti da grandi motori a combustione interna che trascinano generatori sincroni. Anche se alloggiati nel cuore della nave, il rumore e le vibrazioni prodotte durante il funzionamento, essendo la nave una struttura metallica, si propagano all'esterno. Si tratta per lo più di rumore a bassa frequenza (< 100 Hz) che si propaga per lunghe distanze ed è poco schermato da muri e da finestre. Ridurre o schermare le emissioni rumorose delle navi agendo sulle sorgenti di rumore richiederebbe interventi strutturali sulla nave, ed avrebbe comunque benefici limitati. Il problema è ben conosciuto, e già nel 2008 il progetto europeo NoMEPorts ha prodotto una guida per la mappatura e la gestione del rumore nei porti che definisce un approccio quantitativo e scientifico per la riduzione delle emissioni acustiche[3]. Un più recente progetto europeo, MESP, affronta in maniera sistematica e multidisciplinare il problema delle emissioni dei porti, con particolare attenzione per le emissioni acustiche[4].

Il problema del rumore è particolarmente sentito nei porti che, come quelli liguri, sono integrati nel tessuto urbano. In nord Europa utilizzano il numero di telefonate di protesta all'anno come parametro dell'impatto acustico del porto, come fu fatto nel passato per definire la stabilità della tensione elettrica (il problema del flicker che va variare fastidiosamente la luce emessa dalle lampade). A Carignano e a Prà-Pegli il problema del rumore è particolarmente sentito, e sono sorti comitati civici per richiedere interventi di riduzione del disturbo.

Alcune navi container di tipo LOLO che ormeggiano nel porto di Prà utilizzano i gruppi elettrogeni di emergenza per l'alimentazione della nave ormeggiata. I gruppi si trovano nella parte alta della nave vicino alla ciminiera e sono uno per lato della nave. La posizione alta della fonte di emissione del rumore e la conformazione ad anfiteatro di Prà-Voltri rendono udibile il gruppo a svariati chilometri di distanza. Un recente studio dell'Università di Genova (DINAV, ora DITEN) ha suggerito di mantenere in esercizio solamente il gruppo lato mare per ridurre l'effetto sulla cittadinanza limitrofa.

3.3 Costo dell'energia alla nave

Il costo dell'energia elettrica prodotta dai generatori della nave dipende in massimo grado dal costo del combustibile, e risente quindi del trend dei prezzi del petrolio. La produzione di un kWh di energia elettrica, considerato il rendimento dei motori a combustione interna e dei generatori sincroni, richiede circa 0,35 litri di combustibile. Il consumo specifico (l/kWh) varia in maniera sensibile dalla taglia dei generatori, dal modello, e molto anche in funzione del carico; 0,35 l/kWh può essere considerato un ragionevole valore per considerazioni di tipo generale.

Il costo del combustibile (bunker oil) è legato al costo del petrolio, e presenta quindi la medesima volatilità. La Fig.6 riporta il prezzo del petrolio negli ultimi dieci anni; si osserva una variabilità da meno di 30 a più di 110

dollari al barile (1 barile ≈ 159 litri). La stessa si ritrova nel prezzo del combustibile, amplificata dalle diverse leggi e regolamenti che si sono succeduti nel tempo che modificano la composizione del combustibile ammesso (in particolare in termini di contenuto di zolfo). Una tale variabilità dei prezzi rende molto difficile fare valutazioni credibili sui costi di lungo periodo, necessarie ad una qualsiasi seria analisi costi/benefici.



Fig.6 Costo medio del bunker oil dal 2008 al 2018

Oggi il costo medio del bunker oil è intorno ai 450-500 dollari a tonnellata. Considerando un prezzo medio di 470 \$/t ed un cambio dollaro/Euro a 0,86, il costo di produzione dell'energia elettrica a bordo è di circa 0,14 €/kWh. Aggiungendo un 20% di costi di manutenzione e esercizio, si ha un valore orientativo di 0,17 €/kWh, variabile in un range 0,10÷0,25 €/kWh.

I dati dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) indicano tra il 2014 ed il 2016 un prezzo medio dell'energia elettrica agli utenti industriali con un consumo tra 2 e 20 GWh/anno intorno a 0,16 €/kWh, inclusivo di tutte le imposte. Se si aggiunge il costo delle infrastrutture di terra e di bordo, è evidente che il cold ironing non può trovare una motivazione economica, anzi al contrario il cold ironing rappresenta un onere sia per il gestore del porto, sia per l'armatore. Sono necessari interventi regolatori per evitare che il mercato si trovi a favorire i porti dove il cold ironing non è presente, agendo sulla leva degli oneri che gravano sul costo dell'energia elettrica in Italia (oneri di sistema, tasse, e accise centrali e locali), offrendo nello stesso tempo sgravi per gli investimenti finalizzati al cold ironing.

4

La situazione legale e normativa



4.1 Elettrificazione delle banchine in Europa e nel Mondo

Nell'agosto 2004 la portacontainer NYK Atlas, attraccata al molo 100 del Porto di Los Angeles (POLA) è stata la prima nave al mondo ad essere alimentata da terra [7]. Negli anni successivi altri moli del POLA sono stati attrezzati per alimentare portacontainer e navi da crociera (molo 93 dal 2011). Nel 2004 il Porto di Long Beach (POLB), secondo porto container degli Stati Uniti, ha emesso una specifica tecnica per la realizzazione del cold ironing su alcuni suoi moli che è poi diventata la base per le normative IEC: "Design Standard for Shore to Ship Power". Nel 2007 il Porto di Oakland ha iniziato un progetto di cold ironing che prevede anche l'autoproduzione di energia per mezzo di un impianto a LNG (Liquified Natural Gas).

La riduzione delle emissioni da parte delle navi è oggetto della Direttiva Europea 2005/33/EC che impone l'utilizzo di nafta a basso contenuto di zolfo (<1,5%) per la navigazione nel Mare del Nord, la Manica ed il Mar Baltico. La Direttiva impone anche l'impiego di nafta con contenuto di zolfo < 0,1% per alimentare i motori delle navi nei porti europei. Si tratta di limiti inferiori a quelli imposti dalla Convenzione MARPOL 73/78 del 2004. La **Raccomandazione della Commissione Europea 2006/339/EC** pur non avendo alcun valore coercitivo, promuove la realizzazione di infrastrutture per il cold ironing, e sulla base di questa sono molti i progetti che stanno andando avanti nei porti europei. L'antesignano fu il porto di Göteborg, in Svezia, che già nel 2000 offriva l'alimentazione da terra ad alcuni traghetti Ro/Ro. Oggi il porto alimenta da terra quasi il 50% della navi che vi approdano, e possiede un impianto di produzione di energia eolica. Il porto di Antwerp, in Belgio, secondo porto commerciale europeo dopo Rotterdam, ha iniziato l'elettrificazione della prima banchina nel 2008. Simili azioni sono state prese dal porto di Amburgo, di Bergen, e da quasi tutti i porti del Baltico e del Mare del Nord.

4.2 Leggi e regolamenti internazionali

Le emissioni inquinanti delle navi sono state regolamentate dalla MARPOL Convention 73/78 (Marine Pollution 1973/78) alla quale aderiscono oggi praticamente tutti i paesi del mondo[5]. La convenzione si compone di sei allegati che trattano le diverse sorgenti di inquinamento di una nave (scarichi, combustibile, prodotti pericolosi, ecc.). In particolare, l'allegato VI si occupa delle emissioni in atmosfera, regola le caratteristiche dei combustibili impiegati ed il rendimento energetico delle navi, ma non fa riferimenti al cold ironing. L'Unione Europea, con la raccomandazione n. 2006/339/CE del maggio 2006, promuove lo sviluppo del cold ironing per il miglioramento della qualità dell'aria e la riduzione dell'impatto acustico. Il concetto è ribadito dalla Direttiva 2012/33 del 21 novembre 2012 che pone limiti al contenuto di zolfo dei combustibili usati dalle navi ma identifica anche l'alimentazione da terra delle navi come soluzione alternativa per ridurre le emissioni (art. 3bis). La direttiva dice anche che "Gli Stati membri possono adottare misure finanziarie a favore degli operatori interessati dalla presente direttiva" ma ad oggi nessuna misura di agevolazione è stata ancora adottata in Italia (art. 4 septies).

Anche sul piano della tariffazione dell'energia elettrica ceduta alle navi, non esiste oggi alcuna indicazione da parte di ARERA, né tantomeno alcuna agevolazione di tipo economico. Esiste anzi una gran confusione classificatoria relativamente ai cosiddetti "Sistemi di Distribuzione Chiusi", oggetto della delibera 276/2017/R/eel, che renderebbe necessaria un chiarimento sulla posizione del cold ironing (sono SEU, o SEESEU, o RIU, o SCU, o ASDC, o cos'altro?). In una visione riduttiva, la nave può essere considerata come un carico facente parte del sistema portuale, e quindi non distinta dalle altre utenze elettriche dei porti, ma questo urta contro il fatto che l'energia elettrica le viene ceduta a fronte di un compenso e questo potrebbe far nascere problemi di tipo fiscale. Un intervento normativo sul cold ironing, auspicabilmente semplice, è sicuramente necessario.

Le linee guida per la redazione dei piani Regolatori di Sistema Portuale raccomandano, (pag. 93 e 94) tra gli indirizzi strategici da perseguire per la sostenibilità energetica ed ambientale, la elettrificazione delle banchine prevedendo misure di incentivazione per gli armatori che intendano adeguare le navi.

Il trattato internazionale per la sicurezza della vita nei mari (SOLAS) definisce gli standard di sicurezza

per la costruzione, le apparecchiature, e la gestione delle navi. Il trattato, originariamente nato nel 1974, è oggi firmato da 162 Paesi, e copre di fatto l'intera flotta mondiale. Vengono periodicamente proposte ed approvate modifiche ed aggiornamenti al trattato che si compone di quattordici capitoli a coprire tutto il ciclo di vita di tutte le diverse tipologie di navi. E' in fase di approvazione una modifica ai capitoli II-1 e II-2 proposta dall'International Maritime Organization (IMO) per includere le procedure operative per l'allacciamento elettrico delle navi in banchina. In questa variante (amendment) è descritta in dettaglio la sequenza di operazioni, scambio di informazioni, e verifiche che devono essere poste in atto quando una nave deve passare dall'alimentazione propria a quella da terra, e viceversa, identificando con precisione soggetti responsabili e metodi.

4.3 Le norme tecniche

Se pensiamo oggi di partire per un viaggio intorno al mondo, cosa che le navi fanno abitualmente, dobbiamo equipaggiarci di un adattatore che ci consenta di collegare i nostri apparecchi elettrici alle diverse prese che troveremo nei vari paesi che visiteremo. Persino tra i paesi dell'Unione Europea, che pure da anni porta avanti un processo di standardizzazione molto spinto, prese e spine sono diverse e non compatibili (vd. Fig.7). Se un adattatore per piccole potenze in bassa tensione è facilmente realizzabile e di basso costo, è tecnicamente impossibile realizzare un adattatore per le potenze e le tensioni in gioco nel cold ironing. Da qui l'assoluta necessità di una standardizzazione globale del sistema di connessione delle navi in banchina.

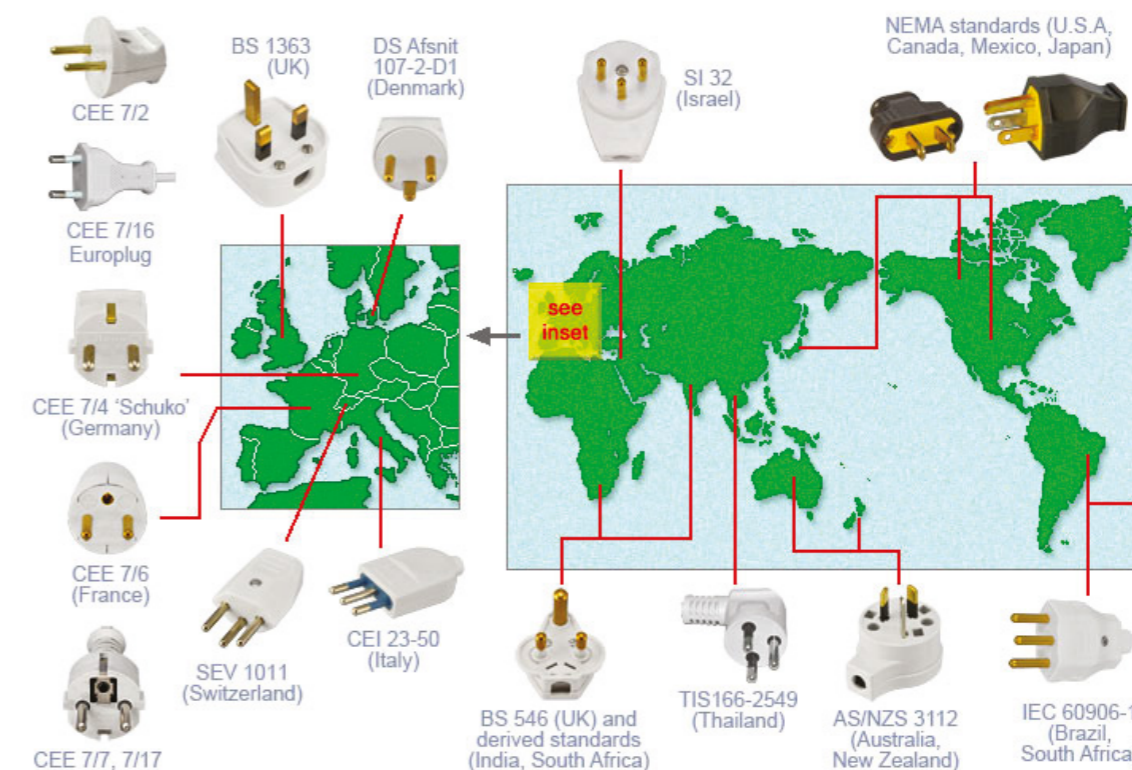


Fig.7 Standard per prese/spine per uso domestico nei diversi paesi del mondo

L'ente normatore a livello globale per le apparecchiature ed i sistemi elettrici è la International Electrotechnical Commission (IEC) della quale fanno gli enti normatori elettrici di 86 Paesi; per l'Italia il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI). La IEC opera attraverso Comitati Tecnici (TC) dedicati ad argomenti specifici. Le proble-

L'elettificazione delle banchine dei porti del Mar Ligure Occidentale

matiche del settore navale sono oggetto dei lavori del TC 18 "Electrical installations of ships and of mobile and fixed offshore units" che negli ultimi anni ha prodotto, oltre le norme sugli impianti e gli apparati di bordo, una serie di norme fondamentali per lo sviluppo del cold ironing. La standardizzazione comprende, come vedremo in dettaglio, sia i componenti, sia i sistemi di alimentazione, ed in particolare:

- IEC 80005-1 Utility connections in port - Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems - General requirements
- IEC 80005-2 Utility connections in port - Part 2: High and low voltage shore connection systems - Data communication for monitoring and control
- IEC 80005-3 Utility connections in port - Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems - General requirements
- IEC 62613-1 Plugs, socket-outlets and ship couplers for high-voltage shore connection 380 systems (HVSC systems) – Part 1: General Requirements
- IEC 62613-2 Plugs, socket-outlets and ship couplers for high-voltage shore connection 382 systems (HVSC-systems) – Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability 383 requirements for accessories to be used by various types of ships
- IEC 60309-5 Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 5: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for plugs, socket-outlets, ship connectors and ship inlets for low-voltage shore connection systems (LVSC)

□ 5 □

**L'infrastruttura
per il cold ironing**

5.1 Architettura del sistema di alimentazione navi

La Fig.8, ripresa dal rapporto europeo [6], mostra la struttura generale dell'infrastruttura necessaria all'alimentazione delle navi.

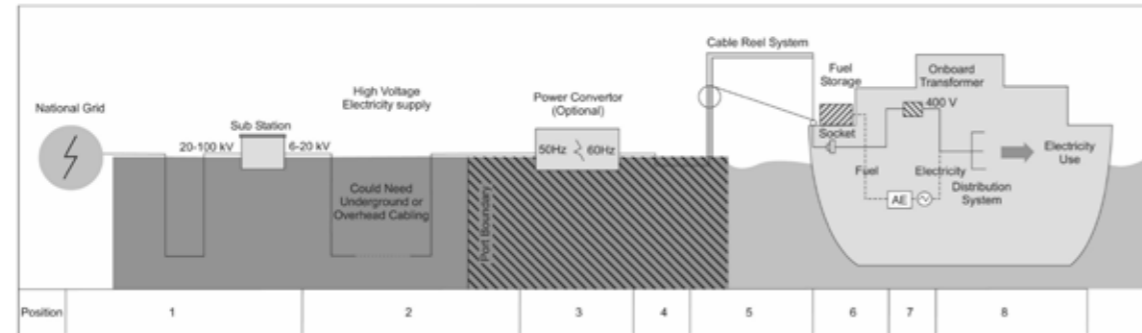


Fig.8 Infrastruttura di terra per l'alimentazione delle navi

Gli elementi che costituiscono il sistema sono, con riferimento ai numeri in figura:

- 1 Cabina di allacciamento alla rete nazionale in media tensione o sottostazione di trasformazione connessa alla rete di alta tensione;
- 2 Distribuzione in cavo di media tensione all'interno dell'area portuale;
- 3 Cabina di conversione 50 Hz → 60 Hz;
- 4 Distribuzione ai punti di allacciamento delle navi;
- 5 Sistema di connessione navi;
- 6 Quadro allacciamento e di interfaccia di bordo;
- 7 Trasformatore MT/BT a bordo;
- 8 Rete di distribuzione della nave.

Un elemento fondamentale del sistema è il sistema di connessione (5). Come si vedrà, per alcune tipologie di navi questo è costituito da un verricello con cavi dotati di spina a bordo della nave, mentre a terra sono predisposti punti di allaccio con prese femmina. Per altre navi invece il sistema è costituito da un argano mobile o da una gru a terra che consente di portare i cavi con le rispettive spine nel punto di ingresso previsto sulla nave, dove sono installate le prese femmine alle quali sono connessi i cavi.

5.2 Modalità di allaccio delle diverse tipologie di navi

La norma fondamentale per garantire l'interoperabilità tra sistema di terra e di bordo è la IEC 80005-1, recepita anche dalla International Organization for Standardization (ISO) e dal Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Pubblicata nel 2012, la IEC 80005-1 specifica in dettaglio le caratteristiche del sistema elettrico di terra per l'alimentazione delle diverse tipologie di navi sia sotto l'aspetto apparati, sia sotto l'aspetto impiantistico. Esistono alcune caratteristiche generali del sistema di terra, ed alcune invece dipendenti dal tipo di nave. Le prescrizioni generali includono tra le altre le specifiche per:

- a. Realizzazione di un circuito di equipotenzializzazione tra nave e terra
- b. Sistema di shut-down immediato dell'alimentazione comandabile sia da terra sia da bordo mediante pulsanti di emergenza

- c. Separazione galvanica tra nave e sistema elettrico di terra
- d. Interblocchi di sicurezza tra interruttori e sezionatori di linea e di terra
- e. Interblocchi di sicurezza tra prese e spine
- f. Protezione dalle sovracorrenti e dall'inversione del flusso di potenza
- g. Sistemi di sincronizzazione tra rete di bordo e rete di terra

I circuiti di sicurezza tra terra e nave sono realizzati mediante circuiti pilota in bassa tensione inseriti all'interno dei cavi di media tensione con terminali integrati nelle prese/spine di potenza. Le caratteristiche specifiche per l'alimentazione delle diverse tipologie di navi sono riportate negli allegati della norma, e sono riassunte nella Tabella I (tra parentesi i valori consigliati).

All.	tipo di nave	connessione		argano	tensione [kV]	messa a terra	Potenza [MVA]	numero cavi		Iccmax [kA]
		terra	nave					potenza	segnale	
B	Roll-on Roll-off	spina	presa	a terra	11	335 Ω	6,5	1	no	16
	Traghetti locali	spina	presa	a terra	6,6	200 Ω				
C	Navi da crociera	spina	presa	a terra	11/6,6	540 Ω	16 (20)	4	2	25
D	Portacontainer	presa	spina	a bordo	6,6	200 Ω	7,5	2	no	16
E	Gasiere (LNGC)	spina	presa	a terra	6,6	isolato	10,7	3	1	25
F	Petroliere	spina	presa	a terra	6,6	non precisata	2 (3) x 3,6	2 (3)	no	16

Tab.1 Caratteristiche cold ironing per IEC 80005-1

5.3 Il convertitore di frequenza

Il convertitore di frequenza è alimentato dalla rete in media tensione (in Italia a 15 o 20 kV a 50 Hz) e genera in uscita una tensione di 6,6 o 11 kV a 60 Hz. Le più moderne tecnologie per questo tipo di macchina prevedono l'impiego di:

- un trasformatore con "n" avvolgimenti secondari in ingresso per abbassare la tensione di rete a valori intorno a 3 kV;
- "n" inverter in parallelo;
- un trasformatore di uscita a più prese.

La Fig.9 mostra lo schema di potenza del convertitore utilizzato per l'alimentazione dei bacini, costituito da quattro gruppi raddrizzatore/inverter in parallelo (n = 4). Gli inverter utilizzano la tecnologia con IGBT a tre livelli, con controllo digitale in PWM (Pulse Wave Modulation). Le maggiori criticità progettuali e realizzative per questo tipo di convertitore, legate per lo più alle grandi potenze in gioco, che sono riscontrate e risolte sono relative a:

- a. Magnetizzazione del trasformatore di ingresso: la Norma CEI 0-16 che regola l'interfaccia degli impianti utente connessi alla rete di media tensione limita la potenza massima del singolo trasformatore connesso al fine di evitare correnti di magnetizzazione elevate che potrebbero disturbare la rete fino a causare l'intervento delle protezioni di massima corrente. Per evitare questo problema, il trasformatore è dotato di un avvolgimento aggiuntivo in bassa tensione utilizzato per pre-magnetizzarlo prima di chiudere l'interruttore lato media tensione;
- b. Magnetizzazione dei trasformatori a 60 Hz: quasi tutte le navi hanno uno o più trasformatori di potenza per portare la tensione da 6,6 o 11 kV a 400 o 690 Volt. Si tratta di trasformatori di potenza rilevante, fino a 4-5 MVA. La corrente magnetizzante di questi trasformatori causa un sovraccarico istantaneo del convertitore che si mette in protezione, bloccandosi. La soluzione di questo problema richiede interventi in termini di:

- procedure di magnetizzazione a rampa dei trasformatori utente,
 - inserimento di resistenze limitatrici alla magnetizzazione,
 - creazione di logiche di controllo che controllano durante il transitorio di inserzione la tensione in uscita del convertitore;
- c. Correnti di cortocircuito: in caso di cortocircuito il convertitore va in limitazione di corrente per un tempo limitato (frazioni di secondo). E' necessario che la corrente generata ed il tempo di iniezione siano coordinati con le protezioni di massima corrente del sistema di distribuzione a valle.

I convertitori danno oggi ottime prestazioni in termini di rendimento elettrico, intorno al 97% a funzionamento nominale, che scende di un altro paio di punti includendo i consumi del sistema di raffreddamento (ad acqua o in aria). A potenza ridotta, il rendimento scende.

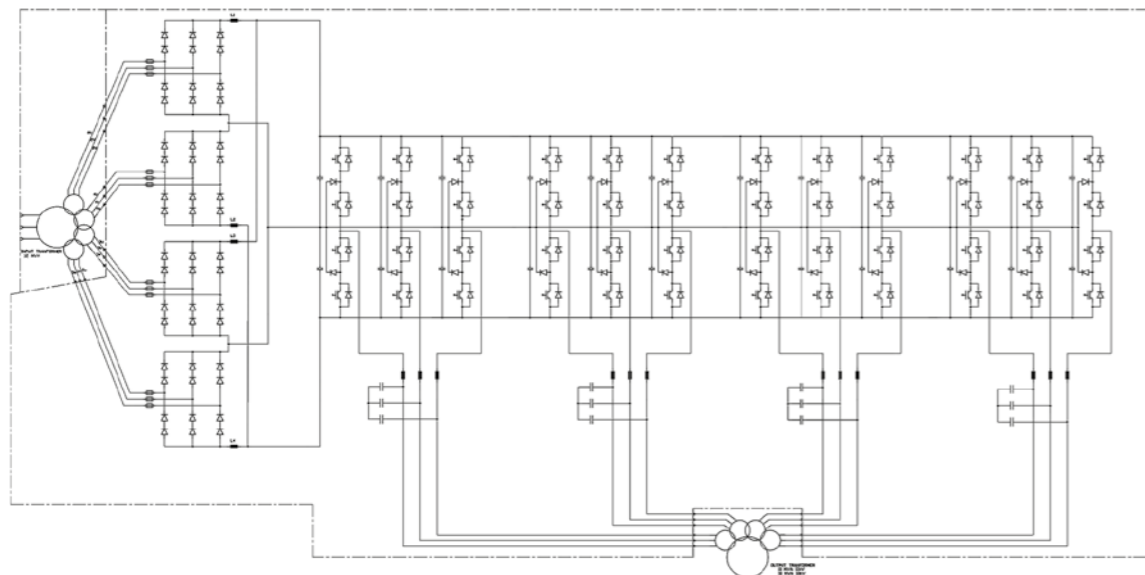


Fig.9 Schema di potenza del convertitore per i Bacini di Carenaggio

5.4 Disponibilità di potenza

L'energia elettrica per le navi proviene dalla rete nazionale. Le potenze in gioco sono già oggi molto rilevanti:

- Bacini di Carenaggio di Genova 10 MW
- Porto di Prà 2x10 MW
- Piattaforma Maersk Vado Ligure 7,5 MW

Per avere un termine di riferimento, la potenza media annua per tutte le utenze domestiche della Città di Genova è intorno ai 75 MW (i dati Istat indicano un consumo di energia per uso domestico pro capite a Genova di circa 1100 kWh/anno). L'elettrificazione delle banchine comporta quindi un rilevante aumento della potenza che deve essere resa disponibile su un territorio, quello di Genova e Savona, caratterizzato da una cronica difficoltà per realizzare nuove cabine di trasformazione (vd. Fig.10). L'elettrificazione dei Bacini di Carenaggio a Genova ha comportato da parte di Enel la realizzazione di una nuova cabina primaria di trasformazione presso

la Fiera di Genova dalla quale alimentare, a 15 kV, il cold ironing dei bacini. Per l'alimentazione della piattaforma Maersk di Vado Ligure, l'Autorità Portuale ha acquisito la sottostazione di alta tensione ex Vetrotex al fine di poter utilizzare l'esistente linea aerea a 132 kV. Per soddisfare agli aumenti di carico attesi nel Porto di Prà, Autorità Portuale ha richiesto a e-distribuzione un collegamento in alta tensione con potenza nominale di 40 MW.



Fig.10 Rete elettrica ad alta tensione a Genova e Savona

5.5 Distorsione armonica

I convertitori di frequenza assorbono dalla rete una corrente distorta che può alterare la forma della tensione di rete, perturbando così il funzionamento delle altre utenze alimentate. Si tratta di una problematica di Compatibilità Elettro-Magnetica (EMC), affrontata utilizzando la scomposizione in armoniche della corrente e della tensione distorte (Trasformazione di Fourier). Sono di seguito riportate le prescrizioni delle principali norme applicabili. L'utilizzo di trasformatori di interfaccia con avvolgimenti secondari multipli realizza una "cancellazione armonica" che aiuta a mantenere i parametri di distorsione lato rete dei convertitori entro i limiti di norma. Allo stesso tempo, l'adozione della tecnologia IGBT e l'inserimento di un filtro in uscita, rende la tensione alla nave altamente sinusoidale (THDV < 3%).

5.5.1 IEC 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems

La Parte 3 della famiglia 61800, "EMC product standard including specific test methods" si applica agli azionamenti a tensione nominale inferiore a 35 kV. Nell'appendice B.2.1.1 la norma definisce un parametro globale di distorsione, la distorsione armonica totale (THD), come:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_{1N}}$$

dove:

- Q_h valore efficace della componente armonica h
- Q_{1N} valore efficace nominale della fondamentale

Il THD è un indicatore sintetico del livello di distorsione di una corrente o tensione, non sufficiente in sé a descrivere pienamente il fenomeno, ma molto utile per una prima valutazione. Un THD ben entro i limiti indica, salvo casi particolari, un sistema poco distorto.

La Tab.B.2 della Norma indica i valori limite delle singole correnti armoniche e del THD complessivo per installazioni industriali di potenza superiore a 100 kVA, ed è pertanto applicabile al convertitore di frequenza. I limiti sono espressi come massima percentuale armonica ammessa rispetto alla corrente complessiva dell'installazione ed al valore del rapporto di cortocircuito, definito in B.2.1.5 come:

$$R_{SC} = \frac{I_{SC}}{I_{1LN}}$$

uove:

I_{SC} corrente di cortocircuito del punto di alimentazione

I_{1LN} corrente nominale dell'azionamento

Tab. II Correnti armoniche percentuali ammesse

armonica	$50 \leq RSC < 100$	$100 \leq RSC < 1000$	$1000 \leq RSC$
$h < 11$	10,0	12,0	15,0
$11 \leq h < 17$	4,5	5,5	7,0
$17 \leq h < 23$	4,0	5,0	6,0
$23 \leq h < 35$	1,5	2,0	2,5
$35 \leq h$	0,7	1,0	1,4
THD	12,0	15,0	20,0

5.5.2 IEC TR 61000-3-6 Assessment of emission limits for the connection of disturbing installations to MV, HV and EHV power systems

Il Rapporto Tecnico IEC TR 61000-3-6 propone i limiti di distorsione della corrente assorbita da utenti in media ed alta tensione, ed è quindi perfettamente applicabile all'interfaccia dei Porti liguri con la rete nazionale. Trattandosi di un Technical Report, i valori indicati non hanno valore cogente.

Tab. III Limiti armonici per utenti MT e AT

armonica	Uh % [MT]	Uh % [AT]
3	4	2
5	5	2
7	4	2
9	1,2	1
11	3	1,5
13	2,5	1,5
15	0,3	0,3
17	1,7	1,2
21	0,2	0,2
23	1,2	0,9
>25 [1]	1,9.(17/h)-0,2	1,2.(17/h)
THD	6,5	3

[1] per le armoniche multiple di tre il limite è 0,2 sia in MT, sia in AT

5.5.3 EN 50160 (CEI 8-9) Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica

La Norma EN50160 ha lo scopo di fotografare la situazione dei principali indicatori di qualità dell'alimentazione elettrica nei paesi europei. La Norma non ha valore cogente, né indica limiti o obiettivi di qualità, ma si limita a fornire i valori di riferimento europei. I valori indicati si riferiscono a reti in bassa, media tensione ed alta tensione, per cui hanno importante valore di riferimento per quanto relativo gli impianti portuali connessi alla rete AT (Tab.IV) e MT (Tab.V).

Per quanto attiene la distorsione armonica la norma indica che in condizioni di normale esercizio. Durante ciascun periodo di una settimana, il 95% dei valori efficaci di ogni singola tensione armonica, mediati su 10 minuti, dovrebbe essere inferiore o uguale ai valori indicati nelle tabelle riportate sotto. Il limite per il THD è al momento allo studio.

Tab. IV EN 50160: Valori tipici della distorsione armonica della tensione delle reti AT

Armoniche dispari				Armoniche pari	
Non multiple di 3		Multiple di 3			
Ordine h	Ampiezza relativa u_h	Ordine h	Ampiezza relativa u_h	Ordine h	Ampiezza relativa u_h
5	5 %	3	3 % ^a	2	1,9 %
7	4 %	9	1,3 %	4	1 %
11	3 %	15	0,5 %	6.. 24	0,5 %
13	2,5 %	21	0,5 %		
17	u. c.				
19	u. c.				
23	u. c.				
25	u. c.				

Tab. V EN 50160: Valori tipici della distorsione armonica della tensione delle reti MT

Armoniche dispari				Armoniche pari	
Non multiple di 3		Multiple di 3			
Ordine h	Ampiezza relativa u_h	Ordine h	Ampiezza relativa u_h	Ordine h	Ampiezza relativa u_h
5	6,0 %	3	5,0 % ^a	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

5.6 Sicurezza delle operazioni

5.6.1 Protocollo di scambio dati nave-porto

Prima di attivare l'alimentazione da terra di una nave è necessario che vi sia una verifica della compatibilità prima, ed una predisposizione poi, dei sistemi elettrici di terra e di bordo. E' quindi necessario che venga definito un protocollo di scambio informazioni che preveda la definizione del set minimo di dati costituito da (cfr. IEC 80005-1, pos.4.3):

Tabella VI Informazioni Terra → Nave

#	Parametro	U.M.	Valore
A	Conformità alle logiche funzionali della IEC 80005-1	--	SI
B	Tensione e frequenza nominale [kV/Hz]	kV / Hz	6,6-10-11 / 50-60
C	Massima corrente/potenza disponibili	A / MVA	@11 kV: 580 / 11
		A / MVA	@10 kV: 580 / 10
		A / MVA	@ 6,6 kV: 580 / 7
D	Corrente di cortocircuito min/max	kA	1 / 1
E	Messa a terra del neutro	--	Isolato / 200/340/ 540 Ω
F	Lunghezza cavi di connessione	m	20
G	Taratura delle protezioni di massima corrente	Doc.	Taratura protezioni 60 Hz

Tabella VII Informazioni Nave → Terra

#	Parametro	U.M.	Valore
A	Conformità alle logiche funzionali della IEC 80005-1	--	
B	Tensione e frequenza nominale [kV/Hz]	kV / Hz	
C	Massima corrente/potenza richiesta	A / MVA	
D	Corrente di cortocircuito min/max	kA	
E	Messa a terra del neutro	--	
F	Distanza portellone – quadro interfaccia	m	
G	Taratura delle protezioni di massima corrente		

Oltre ai dati di Tabella VII, necessari in ogni caso, può essere necessario per la nave aggiungere informazioni relativamente ad eventuali:

- carichi di grossa taglia ad inserzione diretta (caratteristica di presa di carico)
- circuiti di blocco/consenso difforni da quanto previsto in IEC 80005-1
- carichi distorcenti (spettro di corrente)
- aree con pericolo di esplosione

Verificate le caratteristiche dell'alimentazione richiesta dalla nave, il porto deve predisporre gli impianti di terra in maniera corrispondente, darne comunicazione alla nave, ed acquisire la disponibilità all'alimentazione esterna. Particolare attenzione deve essere posta alla verifica delle logiche di sicurezza e interblocco relativamente alle messe a terra ed ai consensi di chiusura.

5.6.2 Logiche di sicurezza e interblocchi

Nella Norma IEC 80005-1 le logiche di sicurezza, gli interblocchi, ed i trascinalenti tra i circuiti di terra e di bordo sono realizzati mediante circuiti elettromeccanici. Considerato che:

- la norma non si applica all'alimentazione delle navi in bacino,
- l'utilizzo di sistemi di tipo elettronico programmabile è largamente diffuso e previsto anche dalla normativa IEC (cfr. IEC 61508),
- la necessità di alimentare navi di tipologia diversa a tensioni e frequenze diverse richiede l'implementazione di diverse logiche da selezionarsi volta per volta,

si è ritenuto opportuno realizzare le logiche e gli interblocchi mediante un sistema basato su PLC, applicando i principi della Sicurezza Funzionale della IEC 61508. Il PLC ed i sensori utilizzati garantiscono un livello di sicurezza non inferiore a SIL1 per tutte le logiche relative a funzioni di sicurezza.

Il PLC acquisisce tutte le informazioni relativamente a:

- 1) stato sezionatori di linea e di terra (con verifica congruenza);
- 2) tutti i segnali provenienti dai cavi di segnale delle navi;
- 3) stato interruttore di banchina e sezionatori di selezione uscita;
- 4) relè di protezione (trip 50-51, trip 51N, minima tensione 27, presenza tensione 59);
- 5) allarmi e anomalie (presenza tensioni ausiliarie, rilevatori fumo, ...).

E provvede a:

- a) dare il consenso alla chiusura del sezionatore di terra,
- b) verificare la presenza delle condizioni per il comando in sicurezza dell'interruttore di banchina;
- c) verificare la coerenza dei sezionatori di uscita rispetto alla tensione impostata;
- d) verificare la messa a terra della nave;
- e) dare le segnalazioni di messa a terra richieste dalla nave a seconda della tipologia.

È previsto un segnalatore di allarme ottico e acustico all'esterno della cabina.

5.6.3 Logica terre 11 kV

La Norma IEC 60008-1 prevede che tutti i cavi siano collegati tra terra e nave prima di procedere all'alimentazione. Come già scritto, per le navi in bacino le prescrizioni della IEC 60008-1 non sono cogenti, ma si è preferito, per ragioni di standardizzazione e sicurezza, applicarle per quanto possibile. La norma impone l'uso di 4 terre di cavi per alimentare le navi passeggeri, ma si è ritenuto di installarne solo due in ragione del fatto che la nave in bacino non ha passeggeri a bordo ed ha quindi un carico elettrico molto ridotto. L'operatore seleziona quali cavi alimentare attraverso i sezionatori posti sul quadro della struttura mobile di connessione, e la logica sul PLC verifica che siano connessi i corrispondenti cavi di potenza e di terra.

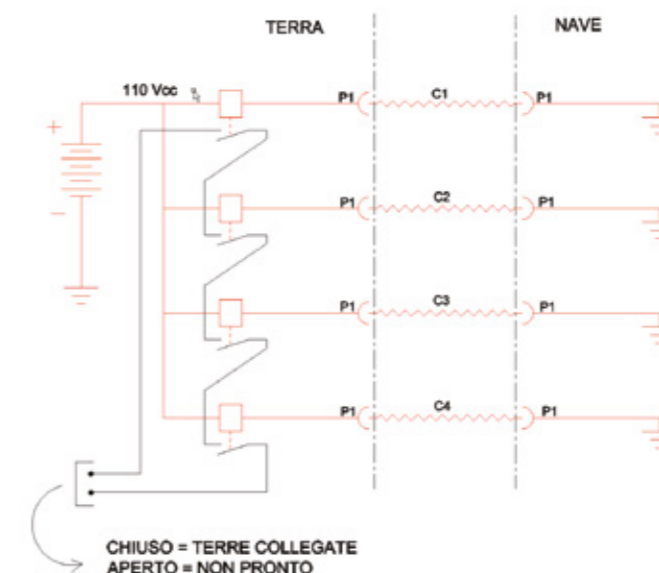


Fig.11 Circuito controllo terra nave

Le Figure 12 e 13 mostrano rispettivamente le prese-spine per navi Ro-Ro e Portacontainer. In entrambi i casi, i cavi di segnalazione sono inclusi nel cavo di potenza.

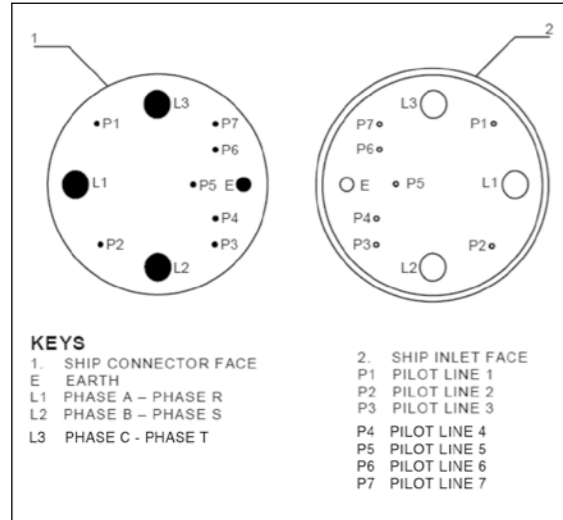


Fig.12 Presa-spina 6,6 kV per Nave Ro-Ro

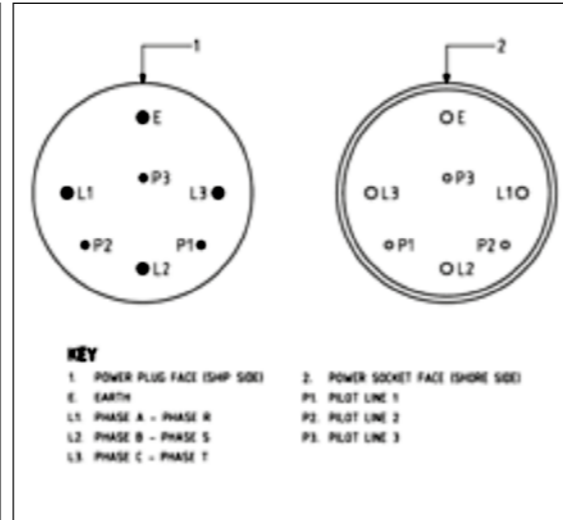


Fig.13 Presa-spina 6,6 kV per Nave Portacontainer

6

L'elettrificazione delle banchine

6.1 Area Bacini e Riparazioni Navali

L'elettrificazione delle banchine di Genova è iniziata dall'area dei bacini di carenaggio e delle riparazioni navali, quella maggiormente prossima alla città e dove le navi hanno una più lunga permanenza. L'intervento è stato progettato a livello di progettazione definitiva dai progettisti interni della Autorità Portuale di Genova nel 2010. La gara della progettazione esecutiva e della esecuzione dei lavori (appalto integrato) è stata bandita nel 2010 ed il contratto è stato affidato all'impresa S.I.C.I. Srl nel 2011. I lavori sono stati completati nel 2017. L'importo dei lavori ammonta ad Euro 9.800.000 finanziati dalla Regione Liguria (mediante fondi POR FESR Liguria 2007-2013) e dal Ministero dell'Ambiente. Gli oneri di allaccio alla rete elettrica nazionale di e-distribuzione ammontano ad Euro 670.000.

Le esigenze di alimentazione elettrica di quest'area sono particolarmente complesse, in quanto è necessario prevedere l'alimentazione di carichi con caratteristiche molto diverse:

- Navi da crociera fino a 10 MW a 10 o 11 kV, 60 Hz
- Navi merci e traghetti
 - 4-5 MW a 6,6 kV, 50 o 60 Hz
 - 2 MW a 690 V, 50 o 60 Hz
 - 2 MW a 400 o 440 V, 50 o 60 Hz
- Carichi di banchina 1-2 MW a 400 o 440 o 690 V, 50 o 60 Hz

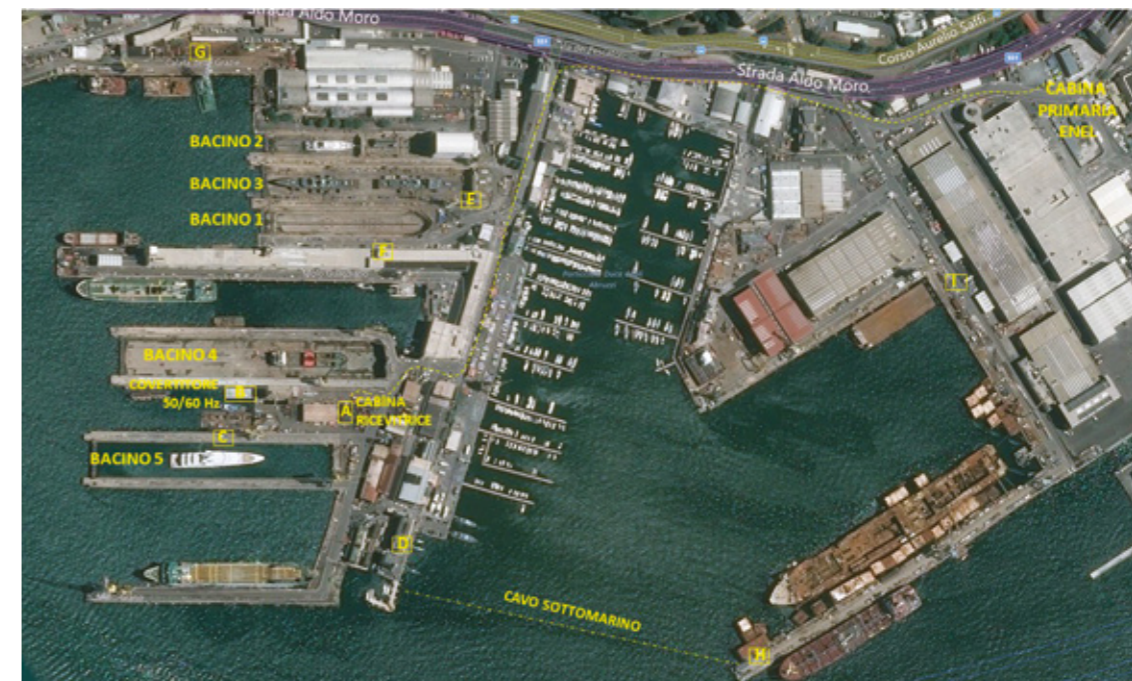
È necessario quindi realizzare un sistema di alimentazione in grado di distribuire potenze molto elevate, e dotato allo stesso tempo della massima flessibilità. Il problema è stato risolto realizzando all'interno dell'area una doppia rete di distribuzione in media tensione (a 15 kV, 50 Hz e a 6,6/10/11 kV a 60 Hz). Il sistema riceve l'energia dalla nuova Cabina Primaria di Enel presso la Fiera del Mare, realizzata appositamente per alimentare l'area portuale, attraverso un cavo interrato che arriva nella cabina Ricevitrice (A in Figura 14). Da questa si diparte la rete a 15 kV, 50 Hz, ed una linea verso la Cabina FV (B in Fig.14) dove è posizionato il convertitore di frequenza da cui è alimentata la rete a 60 Hz. La Rete a 60 Hz a 6,6/10/11 kV viene utilizzata alla tensione di 11 kV per alimentare i trasformatori di banchina che consentono l'erogazione delle alimentazioni nave a 690 V e 440 V. La soluzione di utilizzare la rete a 11 kV a 60 Hz come rete di distribuzione per erogare alle navi la bassa e la media tensione è innovativa ed unica nel suo genere.

Ove necessario, la rete a 60 Hz può essere operata a 50 Hz, modificando la frequenza di uscita del convertitore.

In prossimità delle utenze sono state quindi realizzate, o adeguate ove esistenti, una serie di cabine di distribuzione e trasformazione media/bassa tensione. Facendo riferimento alla Figura 14, si hanno:

- B Cabina Bacini 4-5
- C Cabina 5 Sud
- D Cabina Molo OARN
- E Cabina Bacini 1-2-3
- F Cabina Molo Guardiano
- G Cabina Calata Grazie
- H Cabina Riparazioni Navali (alimentata da un cavo sottomarino)
- I Cabina Mobile (containerizzata per lavorazioni specifiche)

In Cabina calata Grazie (G in Fig.14) e in Cabina 1-2-3 (E in Fig.14) sono installato due ulteriori convertitori di frequenza, di potenza nominale pari a 840 kW ciascuno, per l'alimentazione in bassa tensione delle utenze rispettivamente del Molo Boccardo e del Molo Grazie e dei Bacini 1-2-3.



La potenza complessiva che il sistema può assorbire dalla rete Enel sfiora i 10 MW, valore massimo consentito in Italia per le reti in media tensione.

La realizzazione di un sistema così complesso che deve garantire al tempo stesso la disponibilità e la sicurezza dell'alimentazione ha richiesto l'ideazione di soluzioni specifiche e non convenzionali. È stato quindi necessario ricorrere alle tecnologie più moderne, in alcuni casi realizzando soluzioni uniche ed innovative. Ai seguenti capitoli si riportano alcuni degli aspetti tecnici più peculiari del sistema.

6.1.1 Il convertitore 50/60 Hz da 10 MW

Il convertitore di frequenza dei Bacini è stato realizzato dalla Società Poseico S.p.A. di Genova ed è installato nella Cabina FV di nuova realizzazione (vd. Fig.15).



Si tratta di un convertitore a IGBT, con front-end a diodi costituito da:

- trasformatore abbassatore a 4 secondari 15/2 kV da 12 MVA, con connessione D/DDYY. Il trasformatore è dotato di un circuito di pre-magnetizzazione per evitare le elevatissime correnti di inserzione

che causerebbero larghe cadute di tensione e intervento di protezioni con estesi fuori servizio sulla rete del distributore;

- convertitore modulare 4x2750 kVA con inserimento progressivo dei singoli moduli in funzione della potenza da erogare, completo di filtro sinusoidale in uscita, raffreddamento ad acqua, funzionamento voltage source, controllo PWM;
- trasformatore elevatore con 4 avvolgimenti in ingresso dal convertitore a 2,75 kV ed un avvolgimento in uscita con uscite a 11/10/7 kV.

L'utilizzo di un convertitore a 24 impulsi consente di limitare la distorsione della corrente assorbita a valori ben inferiori a quelli di norma. Fig.16 mostra lo spettro armonico della corrente assorbita dal convertitore a pieno carico. Il THDI in queste condizioni è intorno al 3,5 %, con un limite ammissibile di 6,5 % (cfr. pos. 6.5.5). Questo valore percentuale si abbassa ulteriormente quando si considera che al punto di connessione con la rete alla corrente distorta del convertitore si sommano le correnti assorbite dagli altri carichi dei bacini (non distorte).

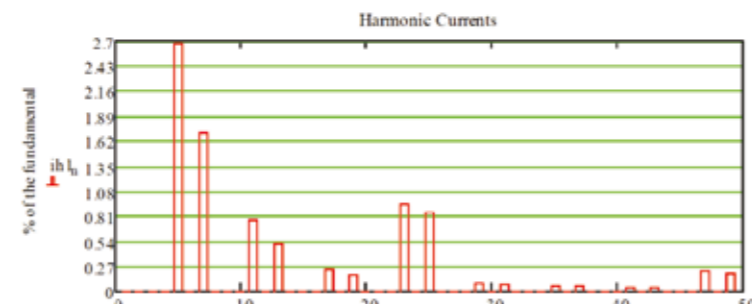


Fig.16 Spettro armonico della corrente del convertitore a pieno carico

6.1.2 L'alimentazione delle navi

La tipologia delle navi in bacino spazia dalla portacontainer, alla ro-ro, alla nave da crociera, per un totale di 14 accosti. Come illustrato in Tab.I, ogni tipologia di nave richiede una specifica connessione in termini di livello di tensione, frequenza, tipo di connettore, numero di cavi. Inoltre, nel Porto di Genova sono presenti 5 Bacini di Carenaggio e due moli di riparazioni navali, e la posizione delle navi rispetto le banchine è variabile. Il punto di connessione può quindi trovarsi in posizioni diverse su qualsiasi banchina. E' stato quindi necessario studiare un sistema di alimentazione delle navi che possa:

- essere posizionata lungo tutta la lunghezza delle banchine
- collegarsi ai punti di alimentazione MT predisposti al piede di tutte le banchine
- ricevere e connettere le spine delle navi che ne sono dotate (ro-ro, portacontainer)
- portare le spine all'altezza giusta per connettersi alle navi dotate di prese (navi da crociera)

Si è quindi realizzata la struttura carrellata mostrata in Fig.17. Quando si deve alimentare una nave in bacino, la struttura è portata in posizione sulla banchina. Utilizzando il tamburo elettrificato nella parte posteriore (vedi Fig.17.a) si connettono due terne di cavi al punto di alimentazione al piede di banchina, insieme ai due conduttori di terra previsti dalla norma (terra e neutro). A seconda della tensione richiesta dalla nave ed impostata sul convertitore (6,6/10/11 kV), l'operatore seleziona i cavi o le prese da connettere. Un quadro MT nella cabina della struttura mobile consente di alimentare solo i cavi o le prese prescelte, sezionando tutti gli altri. La verifica della correttezza delle selezioni ed il controllo della sequenza di energizzazione è fatta da un PLC SIL1 a bordo della struttura mobile.

a) Tamburo per la connessione alla presa di terra

b) Gru per la connessione della nave



Fig.17A Struttura mobile per l'alimentazione delle navi



Fig.17B Struttura mobile per l'alimentazione delle navi



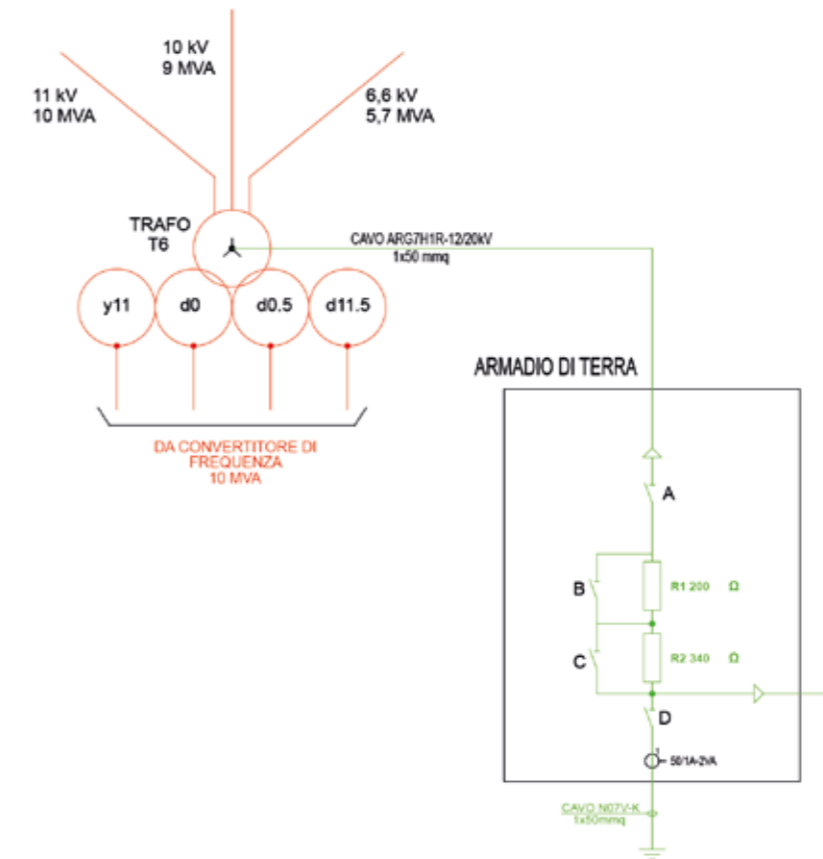
Fig. 18 Quadro di bordo per nave da crociera

6.1.3 La gestione del neutro della rete a 60 Hz

Lo stato del neutro (livello MT) delle navi è differente a seconda della tipologia della nave. Alcune navi sono a neutro isolato, altre hanno il neutro a terra con impedenza limitatrice di corrente. La carena delle navi in bacino è collegata in più punti al sistema di terra del bacino. Nel 2016, nella fase di messa a punto delle procedure di sicurezza dell'impianto, i progettisti hanno partecipato su invito ad una riunione del Comitato Tecnico TC18 "Electrical installations of ships and of mobile and fixed offshore units" di IEC, proponendo una modifica alla IEC 81005 in relazione alla gestione del neutro della media tensione. Il comitato ha accettato, per garantire una maggiore sicurezza dell'impianto, di mantenere sempre collegato a terra il centro stella del secondario del trasformatore a valle del convertitore durante l'alimentazione delle navi (sezionatore D in Fig.18). Nell'intervento alle riparazioni navali questo aspetto è di rilevante importanza in considerazione della presenza di diverse prese di media tensione che, senza questo collegamento, potrebbero avere un conduttore neutro in tensione in assenza di nave.

La distribuzione MT a 50 Hz di bacino è realizzata a neutro isolato o compensato a seconda delle scelte di e-distribuzione. La distribuzione in Media Tensione alle navi (a 50/60 Hz) è gestita con neutro a terra attraverso

resistenza per le motivazioni sopra esposte. Un armadio di messa a terra posizionato in cabina FV, appositamente progettato per offrire la richiesta flessibilità di impiego, consente la selezione della messa a terra per ciascuna tensione di alimentazione nave (6.6/10/11 kV).



Tipo di nave	kV	Hz	A	B	C	D	Neutro
Crociera	11	60	X	O	O	X	Su resistenza da 540 Ω
Portacontainer	6.6	50/60	X	O	X	X	Su resistenza da 200 Ω
Roll-on Roll-off	11	50/60	X	X	O	X	Su resistenza da 340 Ω
Roll-on Roll-off	6,6	50/60	X	O	X	X	Su resistenza da 200 Ω

Fig. 18 Sistema di gestione del neutro per l'alimentazione delle navi

Eventuali guasti a terra sulla MT di bacino sono comunque identificati e rimossi dal sistema di protezione basato su:

- relè direzionali di terra (67N) sulle partenze,
- relè omopolare su messa a terra trasformatore (51N),
- relè di massima tensione omopolare (59Vo).

In nessun caso un guasto a terra permane per più di 1 secondo.

La gestione flessibile del centro stella del secondario del trasformatore sul 50-60 Hz consente il pieno rispetto dei requisiti indicati dalla Norma IEC 60092-503 e IEC 80005-1 riassunti nello schema sotto riportato.

Nel caso di alimentazione BT, uno o più feeder dai quadri di banchina sono connessi al sistema di distribuzione della nave. La distribuzione BT delle navi è realizzata con sistema TN o IT, mentre la distribuzione del bacino è di tipo TN. Nel caso quindi di navi che utilizzano il sistema IT, quando la nave è alimentata da terra il

sistema di misura di isolamento verso terra rileva un guasto e va in allarme. E' quindi prevista una procedura per l'esclusione di tale allarme prima di collegare la nave al bacino.

6.1.4 Il cavo sottomarino

Per portare l'alimentazione all'area delle Riparazioni Navali è stato realizzato un collegamento a 15 kV mediante l'impiego di un cavo sottomarino tra il Molo Giano e l'area della Nuova Banchina Industriale dove sono posizionati i cantieri. L'utilizzo di un cavo sottomarino, oltre ad accorciare il collegamento, ha evitato la realizzazione di un cavidotto in aree dove è già presente un elevato numero di servizi sotterranei che avrebbero originato interferenze difficili da risolvere. Il cavo sottomarino è del tipo tripolare, con conduttori in rame da 240 mm², conduttore di terra da 25 mm², cavo in fibra ottica integrato, con guaina di spessore maggiorato (shock-proof), ed ha lunghezza di circa 450 metri. D'altro lato, un cavo sottomarino presenta una forte criticità legata a:

- il rischio che un'ancora venga trascinata sul fondo da una nave, agganciando il cavo e strappandolo dai suoi agganci,
- le operazioni di dragaggio che periodicamente vengono effettuate per garantire il fondale alle navi.

È stata quindi ideata una soluzione di collegamento del cavo alle due estremità mediante prese-spine sfilabili: se il cavo viene agganciato e tirato sott'acqua, la spina si sgancia, un finecorsa meccanico rileva lo sganciamento ed invia un comando di apertura all'interruttore che alimenta la linea. Attraverso il collegamento in fibra ottica viene realizzata la protezione differenziale di linea (87L), utilizzando relè ABB RED 615 montati alle due estremità. Questo tipo di protezione, oltre ad avere tempo di intervento praticamente istantaneo per guasti sul cavo (<10 ms), consente di interbloccare gli interruttori alle due estremità della linea: quando apre l'interruttore di una delle due estremità, l'interruttore all'estremità opposta viene, mediante la connessione ottica, istantaneamente trascinato in apertura. In questo modo viene evitato il rischio che il cavo possa essere "strappato" da un lato e rimanere in tensione dall'altro; appena sganciato da un lato, entrambe le estremità vengono aperte contemporaneamente ed il cavo disalimentato prima che si possano avere contatti con masse o con l'acqua. Questa soluzione è stata accettata da tutti gli operatori portuali, ed approvata dalla Capitaneria di Porto. La Figura 19 mostra le soluzioni adottate per proteggere meccanicamente il cavo ed un momento della posa.

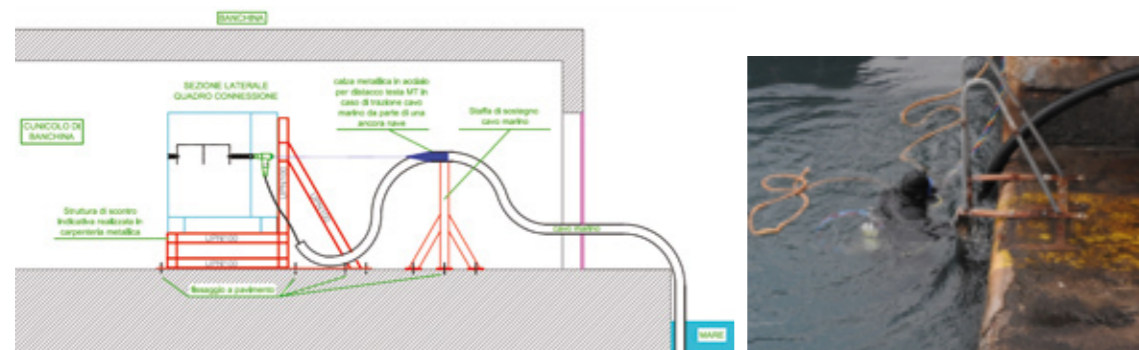


Fig. 19 Attacco del cavo sottomarino

6.1.5 Lo SCADA

Il sistema di supervisione e controllo (SCADA) della distribuzione elettrica dei bacini è basato su una rete Ethernet in fibra ottica (Fig.20). In ogni cabina sono posizionati uno o più switch di tipo managed che connettono mediante doppino in rame (UTP 24AWG Cat.6):

- i relè di protezione attraverso il protocollo IEC 61850. I relè di protezione sono equipaggiati con doppia porta ottica e micro-switch integrato, in modo da realizzare un'architettura in entra-esce;
- i dispositivi di Input/Output remoto (RIO) attraverso il protocollo Modbus/TCP;

- i contatori di energia ed i misuratori di qualità dell'energia fornita alle navi ed assorbita dalla rete, sempre via Modbus/TCP.

Lo SCADA ha una sala controllo principale presso gli uffici dell'Ente Bacini, ed è presente un pannello touch di interfaccia operatore dotato di tutte le funzionalità nella Cabina 45-FV in prossimità del convertitore di frequenza. Durante la messa in servizio del convertitore è infatti obbligatoria, per motivi di sicurezza, la presenza di personale in Cabina. Lo SCADA è remotizzato attraverso la rete internet mediante un'applicazione di remote desktop con autenticazione utente.

Attraverso le pagine video implementate da S.I.C.I. Srl (Fig.21) l'operatore ha piena visione della configurazione dell'impianto e dell'assorbimento di carico mediante applicativi specifici per:

- visualizzazione impianti (PlantViewer) e dati (LogViewer)
- analisi di dati storici (TrendViewer)
- gestione e distribuzione allarmi (AlarmViewer e AlarmRouter)

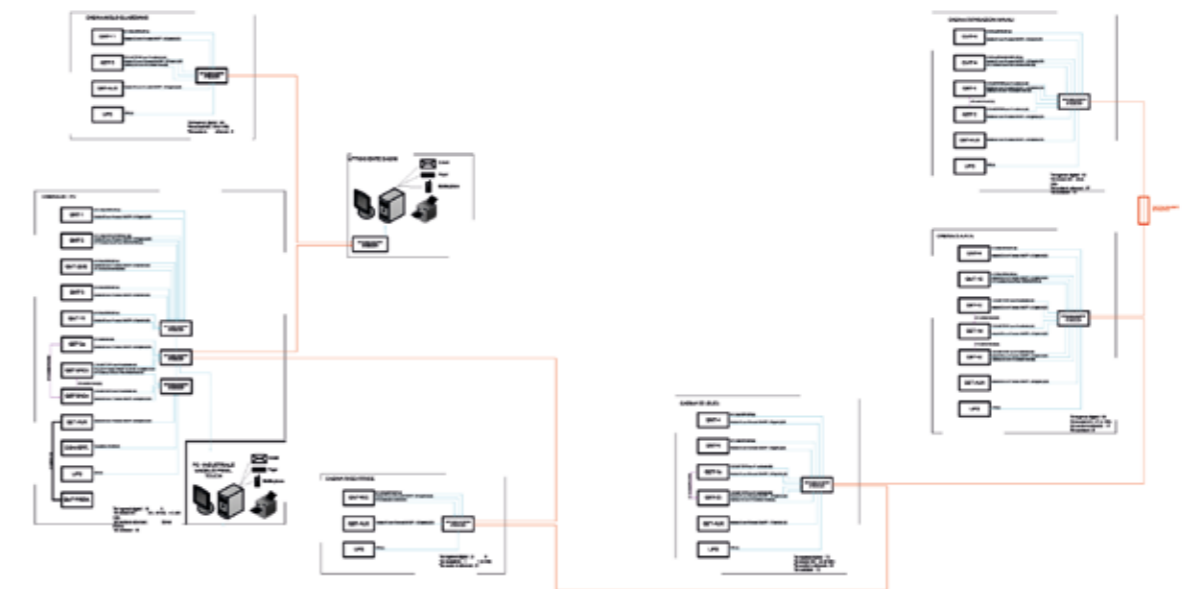


Fig. 20 Architettura del sistema SCADA



a) Interfaccia convertitore 50/60 Hz

b) Layout Cabina 5 Sud

Fig.21 Esempi di pagine video

Sulla stessa macchina dove gira l'applicativo dello SCADA, gira anche il software di configurazione delle protezioni ABB PCM600. Attraverso questo pacchetto è possibile, disponendo di specifiche password di autorizzazione, interagire con tutti i relè della media tensione attraverso il protocollo IEC 61850. I progettisti di Ente Bacini o di Autorità Portuale possono attraverso questo applicativo connettersi a ciascun relè al fine di cambiarne configurazione, parametri di taratura, acquisire le misure, scaricare i file di oscillo-perturbografia.

6.1.6 Le protezioni adattative

La distribuzione a frequenza variabile ai bacini prevede che ciascuna linea possa essere impiegata a 50 o a 60 Hz. Come mostra lo schizzo di Fig.22, la rete è piuttosto articolata, e un livello di selettività accettabile in caso di guasto è ottenuto mediante una taratura dei relè di massima corrente coordinata in tempo e corrente.

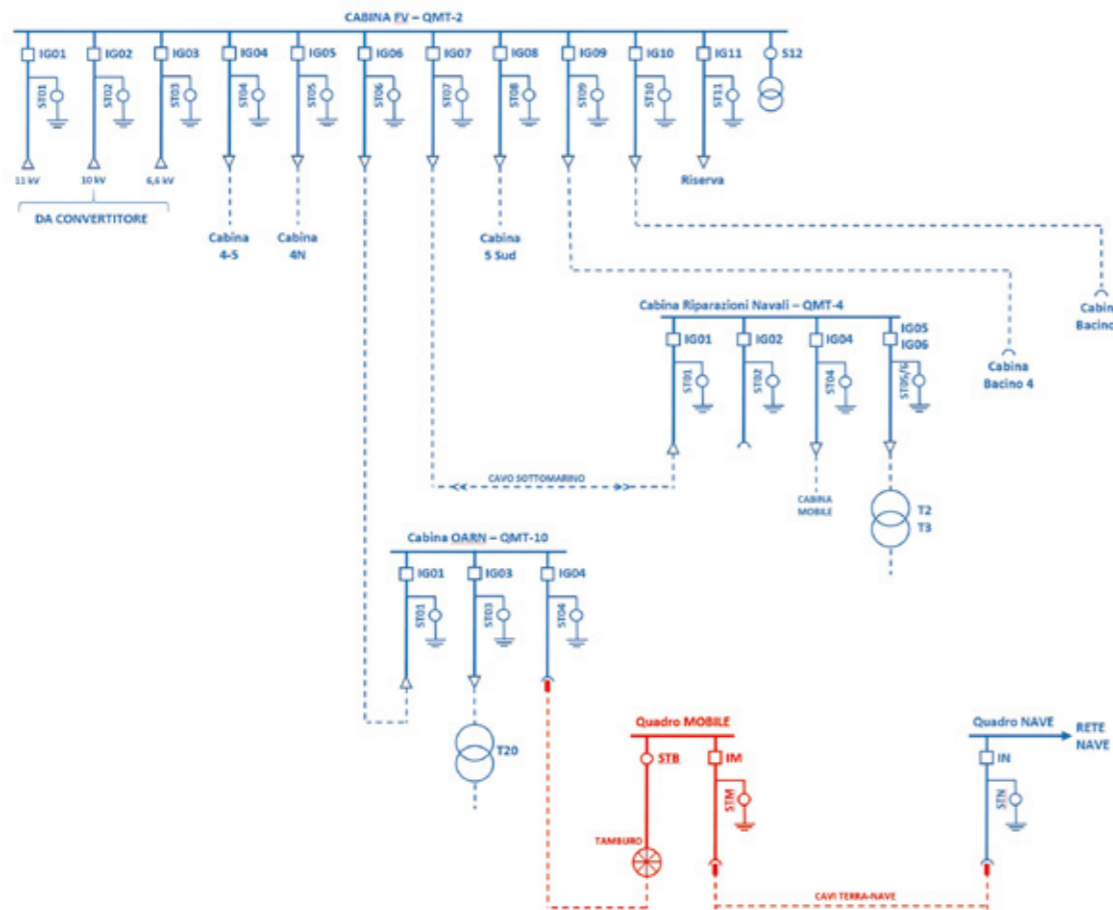


Fig.22 Schema distribuzione 50/60 Hz

Questi criteri sono normali in qualsiasi rete di media tensione, ma acquistano qui un aspetto di criticità unico legato alla variazione della frequenza. Tutti i relè di protezione digitali di ultima generazione infatti operano un filtro della corrente in ingresso, isolando la componente alla frequenza fondamentale. In fase di parametrizzazione del relè si seleziona il valore della frequenza di rete (50 o 60 Hz). Questo valore può essere modificato solo attraverso una nuova configurazione del relè, azione che richiede una specializzazione altissima, l'utilizzo di programmi software, un tempo dell'ordine di una decina di minuti per ciascun relè. E' evidente che una tale soluzione non è praticabile. Quando una nave deve essere alimentata l'operatore seleziona la frequenza richiesta, ma non può certo andare a riconfigurare una decina di relè. D'altronde un relè che è configurato su una frequenza e si trova poi a leggere una corrente a frequenza diversa nel migliore dei casi ha un elevato errore di misura, nel peggiore si blocca. Per risolvere il problema si è deciso di integrare le protezioni nel sistema SCADA,

utilizzando il protocollo di comunicazione IEC 61850 (vd. Fig.23). Quando l'operatore seleziona la frequenza richiesta al convertitore, automaticamente lo SCADA riconfigura tutti i relè, forzando la frequenza di riferimento al valore selezionato. Il sistema di protezione viene quindi in automatico adattato alle condizioni di funzionamento della rete, senza la possibilità di errori (sono previsti feedback di verifica da parte dei relè) e senza la necessità di intervento umano. Si tratta di una soluzione tecnica mai utilizzata prima, possibile solo grazie alle più recenti tecnologie digitali.



a) pagina di configurazione relè

b) relè e contatore di energia digitali

Fig.23 Pagina di configurazione relè e relè su quadro MT

6.2 Elettrificazione dei Terminal Crociere e Traghetto

Al fine di massimizzare lo sfruttamento del convertitore di frequenza installato presso i bacini, è stato sviluppato il progetto di portare un'alimentazione a 60 Hz anche al Terminal Crociere (Stazione Marittima) e al Ponte Doria. E' stato studiato un percorso misto, che prevede un tratto di cavo sottomarino ed un tratto di cavo interrato, come mostrato in Figura 24. Aumentando il numero di utenze, questa soluzione consentirà di aumentare le ore annue di funzionamento del convertitore, quindi l'energia elettrica ceduta alle navi, con i conseguenti benefici ambientali.

Il progetto prevede:

- la realizzazione di una linea sottomarina dalla Cabina FV fino alla sommità di Calata Gadda dove è installato un punto di sezionamento;
- una seconda tratta sottomarina fino alla sommità del Ponte dei Mille e la realizzazione di un punto alimentazione per navi da Crociera (11 kV, 60 Hz, 10 MW, 4 cavi con gru di allaccio);
- un cavidotto lungo Calata degli Zingari fino al Ponte Andrea Dora dove sono previsti due punti di allaccio per traghetti, rispettivamente sulla banchina di levante e di ponente (6,6 kV, 60 Hz, 5 MW ciascuno, 2 cavi con gru di allaccio).

L'alimentazione delle navi in banchina è subordinata alle esigenze dei Bacini di carenaggio, ed è mutuamente esclusiva, con priorità per le navi da crociera che presentano un carico, e quindi emissioni, maggiori.

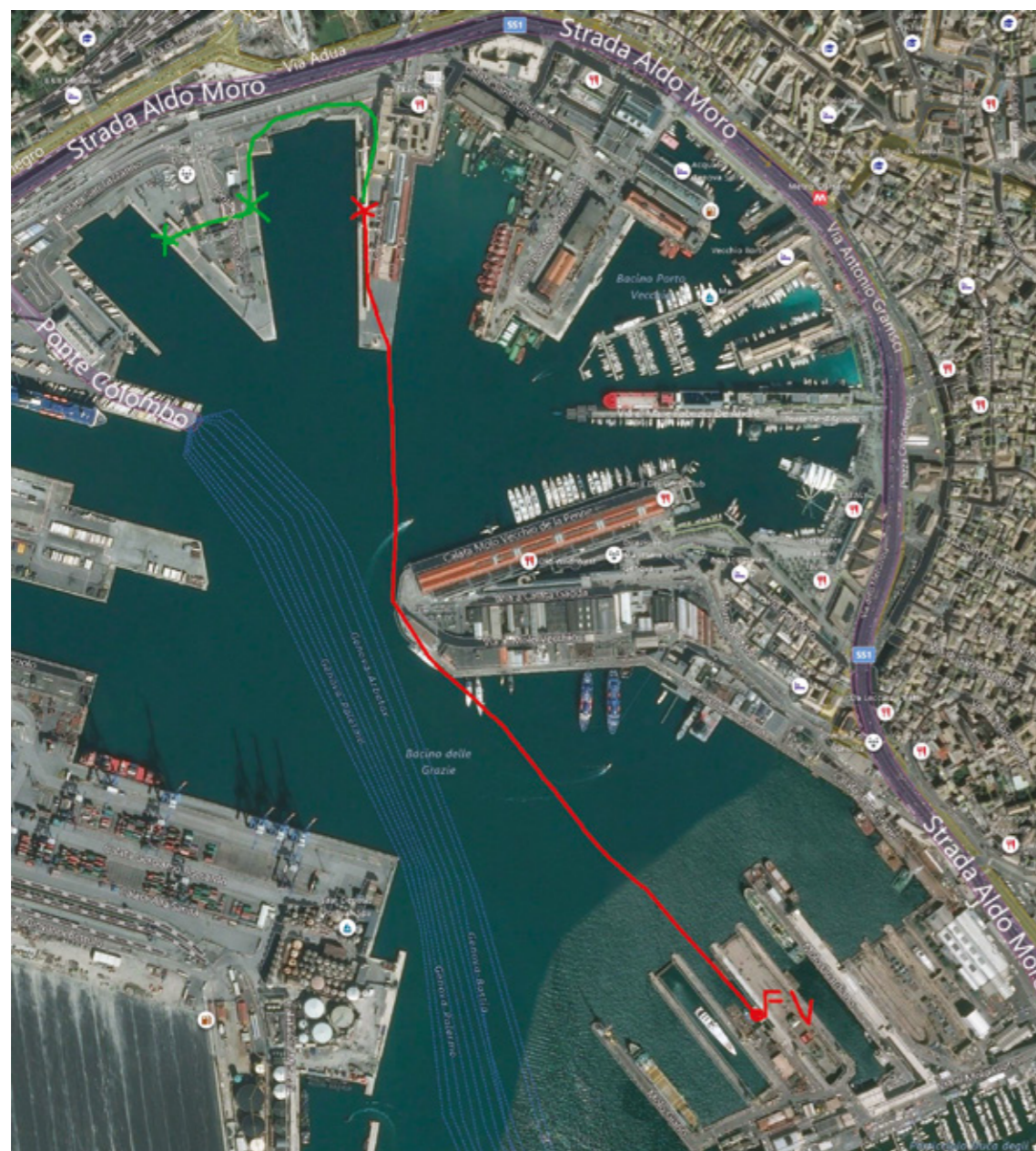


Fig.24 Distribuzione a 60 Hz ai Terminal Crociere e Traghetti

6.3 Elettrificazione delle banchine del porto di Prà

Il Porto di Prà è dedicato allo sbarco/imbarco di navi portacontainer. Può ricevere indicativamente 2 navi da 400 metri (20 kTEU) una nave da 370 metri ed una da 270 metri in contemporanea, ed è equipaggiato con 12 gru di banchina e 1500 punti di alimentazione per container refrigerati.

6.3.1 Procedure di affido dell'appalto

L'intervento è stato progettato a livello di progettazione definitiva dai progettisti interni della Autorità Portuale di Genova nel 2014. La gara della progettazione esecutiva e della esecuzione dei lavori (appalto integrato) è stata bandita nel 2015 ed il contratto è stato affidato all'impresa Nidec nel 2017. I lavori sono stati

progettati a livello esecutivo nel 2018. L'importo dei lavori ammonta ad Euro 8.000.000 finanziati dalla Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale. Gli oneri di allaccio alla rete elettrica nazionale di e-distribuzione ammontano ad Euro 670.000.

Nella redazione della progettazione definitiva a base di gara si sono utilizzate, secondo le tecniche del Project Management, le lezioni apprese nel cold ironing delle riparazioni navali. Si riporta di seguito la lezione appresa, l'obiettivo e la tecnica per ogni argomento evidenziato.

Modalità di gara

- Bacini l'impresa selezionata per i lavori alle riparazioni navali (Satrell s.r.l.), seppur dotata delle categorie SOA necessarie alla partecipazione della gara, è fallita determinando notevoli ritardi sulla esecuzione dell'intervento dovuti alle procedure di concordato fallimentare e di cessione del ramo di azienda alla SICI s.r.l..
- Prà è stata definita una procedura di gara per favorire la scelta di un operatore economico di riferimento e primario sul mercato mondiale per ridurre il rischio di fallimento. Invece di utilizzare la scelta del contraente con il criterio del massimo ribasso utilizzato nella gara del cold ironing delle riparazioni navali, si è optato per utilizzare la scelta del contraente con il criterio dell'offerta economicamente vantaggiosa (massimo punteggio tecnico/economico).

Contratto misto

- Bacini il fornitore del convertitore (apparato chiave per il successo del progetto) era diverso dall'impresa capo commessa determinando la necessità di definire un contratto di sub fornitura fra le parti.
- Prà è stata ricercata un'impresa primaria che sia anche produttore del convertitore di frequenza per la massima sinergia e responsabilizzazione dell'operatore. Il cold ironing del Porto di Prà è stato appaltato come contratto misto (parte lavori e parte fornitura e servizi). L'utilizzo del contratto misto consente di inserire come così detta "capacità tecnica" dell'impresa per la sola parte della fornitura la disponibilità dello stabilimento di produzione del convertitore di frequenza come condizione di partecipazione e pertanto solo i produttori di convertitori consolidati hanno potuto partecipare all'appalto. Si precisa che negli appalti di soli lavori non è possibile inserire la capacità tecnica per l'operatore che può essere selezionato solo sulla base della SOA. Tale scelta non ha tuttavia limitato la concorrenza garantendo la partecipazione di almeno 4 operatori economici primari a livello mondiale. L'appalto del cold ironing del porto di Prà è stato il primo contratto misto pubblicato dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale grazie alla preziosa collaborazione dell'ufficio Gare (Dott. Dellacasa e Dott. Badellino).

Manutenzione convertitori decennale

- Bacini la manutenzione decennale era stata già prevista dall'appalto del cold ironing delle riparazioni navali.
- Prà nell'appalto del cold ironing del Porto di Prà si è affinato l'affidamento; in particolare l'utilizzo del contratto misto di cui sopra ha anche consentito di affidare allo stesso operatore il servizio di manutenzione dei convertitori per 10 anni. Un unico operatore fornisce i convertitori, realizza l'impianto e ne cura la manutenzione. Solo il produttore del convertitore è in grado di garantire la manutenzione con efficienza in quanto la tecnologia utilizzata è di tipo proprietario. In più la definizione degli oneri della manutenzione straordinaria e ordinaria decennali a base di appalto consente una economia di scala a vantaggio della amministrazione e sono una garanzia del successo del progetto. Manutenzioni economicamente gravose, tempestive e da affidarsi ad un unico operatore economico sono difficilmente sostenibili con le procedure consentite ad una Amministrazione Pubblica.

Studio di progettazione con esperienza nel settore

Bacini lo studio di progettazione che ha redatto il progetto esecutivo del cold ironing delle riparazioni navali incaricato da Satrel non era adeguato in considerazione della complessità e della innovazione tecnologica del progetto. A valle del fallimento e della cessione del ramo di azienda a SICI s.r.l. è stata incaricata la società di progettazione DBA Progetti, B.U. Transport & Logistics, che ha messo a punto la progettazione esecutiva e consentito pertanto l'efficace esecuzione dei lavori.

Prà il metodo di aggiudicazione con il criterio della offerta economicamente vantaggiosa utilizzato nel cold ironing del porto di Prà ha stimolato i partecipanti al bando a proporre studi di progettazione con esperienza nel settore.

Fornitura e-distribuzione

Bacini la nuova fornitura e-distribuzione da 10 MW del cold ironing delle riparazioni navali ha richiesto tempi particolarmente lunghi in considerazione della debolezza della rete di distribuzione nell'area dell'intervento. e-distribuzione ha realizzato una nuova sottostazione 132/15 kV per soddisfare le nuove esigenze e rendere possibile il cold ironing nell'area delle riparazioni navali.

Prà per ottenere la fornitura dell'energia necessaria alle navi da parte di e-distribuzione in tempo utile, nel cold ironing del Porto di Prà si è verificata la disponibilità con e-distribuzione già in fase di progettazione preliminare. Le due nuove forniture da 10 MW ciascuna sono state rese disponibili nel 2018 e pertanto in tempo utile con la realizzazione del progetto, in attesa della nuova fornitura a 132 kV che richiederà la realizzazione di una sottostazione AT/MT.

6.3.2 L'alimentazione elettrica del Porto di Prà

Il carico elettrico, prevalentemente legato ai consumi delle gru e del parco di alimentazione refeer, è di circa 8-10 MW, a cui si aggiungono fino a 10 MW per il cold ironing. L'alimentazione al porto è garantita da due linee in cavo a 15 kV provenienti dalla sottostazione Enel di Prà-Branega. All'interno del porto sono posizionate diverse cabine MT/BT alimentate attraverso due anelli di cavi MT interrati. L'anello di levante alimenta la cabina C2 dove sono installati i due convertitori di frequenza da 7,5 MVA ciascuno ed il quadro di distribuzione a 6,6 kV, 60 Hz.

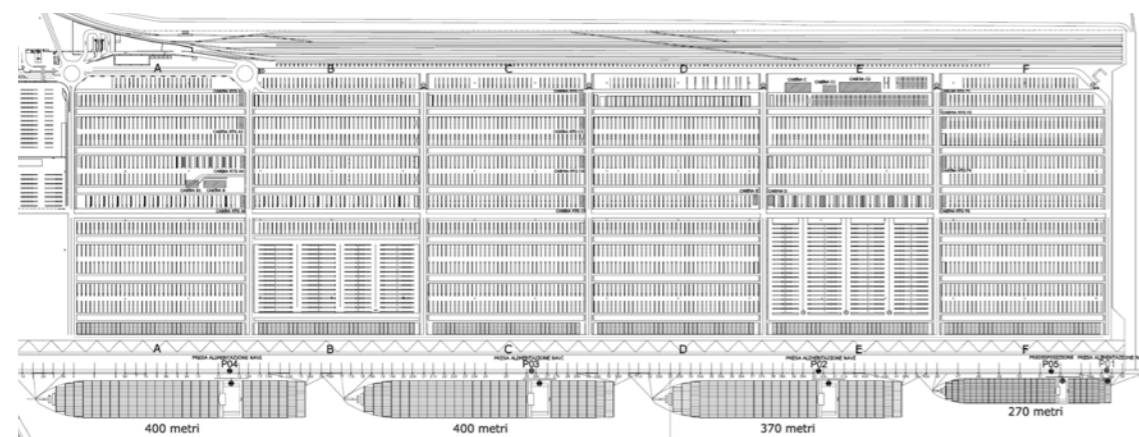
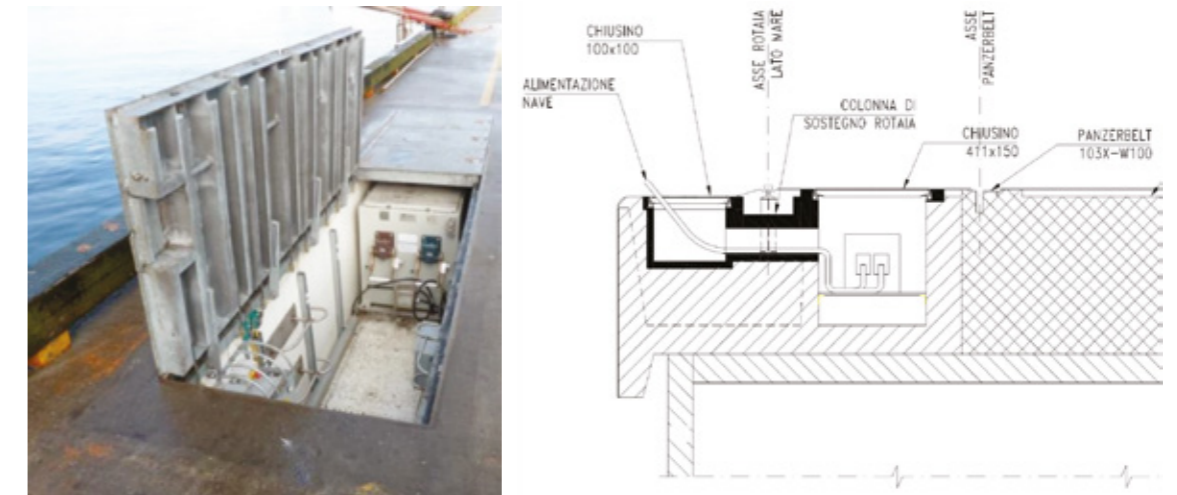


Fig.25 Schema punti alimentazione navi

Sono previsti 5 punti di alimentazione navi più uno futuro (Fig.25), posizionati in maniera da trovarsi in prossimità del quadro di interfaccia della nave. Ogni punto prevede un gruppo prese interrato nella banchina

e dotato di coperchio mobile. Si tratta di una soluzione sviluppata dalla Cavotec SA opportunamente adattata per essere inserita all'interno della struttura di banchina, minimizzando l'impatto sulle opere civili pre-esistenti (Fig.26).



a) Gruppo prese

b) Inserimento in banchina

Fig.26 Inserimento dei punti di alimentazione in banchina

6.3.3 Alimentazione delle Portacontainer

Le navi portacontainer sono alimentate a 6,6 kV, 60 Hz, con assorbimento di potenza fino a 5 MW (7,5 MVA). Le navi di ultima generazione, e certamente tutte quelle destinate ad attraccare negli Stati Uniti, sono equipaggiate di un container posizionato verso poppa che contiene le apparecchiature per la connessione costituite da un quadro MT di interfaccia, un argano mediante il quale sono calati i cavi di alimentazione dotati di spina, un armadio di automazione per la gestione delle sicurezze e degli interblocchi funzionali (vd. Fig.27).

La rete è dimensionata per alimentare due navi contemporaneamente (7,5 MVA ciascuna), con la possibilità di far funzionare i due convertitori in parallelo in condizioni particolari. La maggior criticità dell'impianto è data dall'energizzazione del trasformatore di nave. Con riferimento alla Figura 28 che mostra lo schema semplificato del circuito terra-nave la sequenza delle operazioni è infatti:

- il sistema a 6,6 kV è de-energizzato e messo a terra; il generatore di bordo alimenta i carichi nave attraverso il quadro principale a 440 V;
- l'operatore da bordo nave cala le spine manovrando l'argano, e gli operatori di terra le connettono alle prese di banchina;
- gli operatori di banchina rimuovono le messe a terra e danno alimentazione alle prese;
- l'operatore di bordo chiude l'interruttore IN ed energizza il trasformatore di bordo TS;
- l'operatore di bordo sincronizza il sistema a 440 V con la rete di terra e fa il parallelo chiudendo l'interruttore ACB;
- l'operatore di bordo diminuisce progressivamente il carico prodotto dal generatore/i di bordo spostando il carico nave sotto l'alimentazione da terra;
- l'operatore di bordo sconnette il generatore/i di centrale aprendo l'interruttore GCB

Sul piano elettrico, il passaggio maggiormente critico è l'energizzazione del trasformatore di bordo attraverso il convertitore di frequenza che innesca un transitorio in corrente molto gravoso. A seconda di condizioni

largamente non controllabili (istante di chiusura, magnetizzazione residua, pilotaggio del convertitore, ...) la corrente di magnetizzazione può avere valori molto elevati ($\approx 10 I_n$), ben superiori alla soglia di sovraccaricabilità del convertitore. Nel Porto di Prà sono state previste apposite resistenze di limitazione della corrente di magnetizzazione connesse in serie a ciascun convertitore. La magnetizzazione del trasformatore di bordo avviene dopo aver inserito in serie all'interruttore di terra (52 in Fig.28) le resistenze che limitano la corrente assorbita ad un valore circa pari alla corrente nominale del convertitore. Dopo circa un secondo, esaurito il transitorio di magnetizzazione del trasformatore, le resistenze sono bypassate ed il trasformatore è alimentato a tensione piena.



Fig.27 Alimentazione navi portacontainer

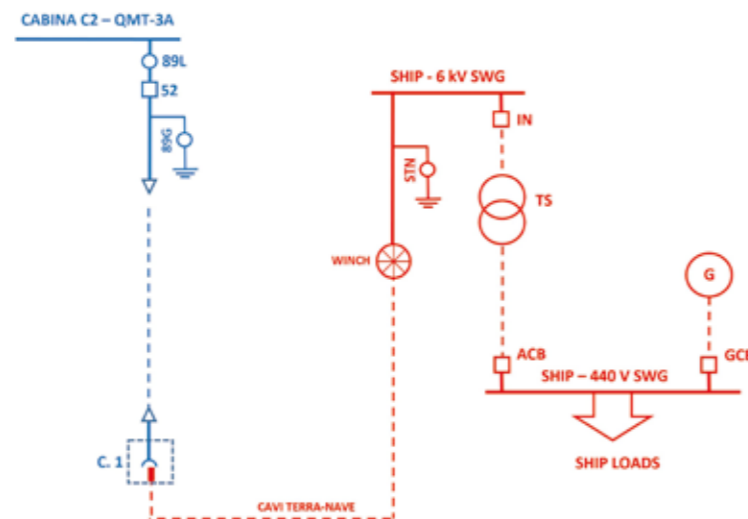


Fig.28 Schema semplificato del circuito terra-nave

6.4 Elettrificazione delle banchine del porto di Vado Ligure

Il porto di Vado Ligure è costituito da tre tipologie di approdi: container refrigerati per lo sbarco della frutta e traghetti per le isole nell'approdo di ponente, navi portacontainer nella Piattaforma Maersk (in fase di costruzione). Per quest'ultima è prevista la realizzazione del sistema di alimentazione da terra delle navi.

6.4.1 L'alimentazione elettrica della Piattaforma Maersk

La fornitura e la distribuzione dell'energia elettrica alla Piattaforma è effettuata da S.V. Port Service, società dedicata alla gestione dei servizi dei Porti di Savona e Vado Ligure.

La nuova Piattaforma Maersk ha un carico elettrico molto elevato, dell'ordine dei 20-25 MW, dovuto principalmente alle gru di carico/scarico ed alle macchine di movimentazione container nel piazzale. Per alimentare un carico di tale entità è necessario allacciarsi alla rete di alta tensione (il limite di potenza assorbibile in media tensione è posto, in Italia, a 10 MW). A questo carico si aggiungono fino a 7,5 MW necessari per il cold ironing delle navi in banchina. In piattaforma potranno inoltre essere presenti altre utenze (porto petroli, rinfuse, ecc.). L'autorità Portuale ha quindi acquistato, ristrutturato, ed adeguato alle nuove esigenze della piattaforma la sottostazione dismessa della ex vetrerie Saint Gobain Vetrotex. L'attività, iniziata nel 2015, si è conclusa nel 2018 ed ha comportato il rifacimento pressoché totale della sottostazione, oggi equipaggiata con due trasformatori 132/20 kV da 20 MVA ciascuno. La scelta della tensione di 20 kV, invece del 15 kV tipico della distribuzione in provincia di Savona, è stata causata da una specifica esigenza delle gru di banchina che richiedono tale tensione di alimentazione. Come mostrato in Fig.29, dalla sottostazione partono tre linee in cavo a 20 kV che alimentano la cabina posta al piede della Piattaforma. Una delle linee lungo il percorso alimenta in entra-esce le cabine di trasformazione del Varco e del Terminal Ferroviario al servizio della Piattaforma.

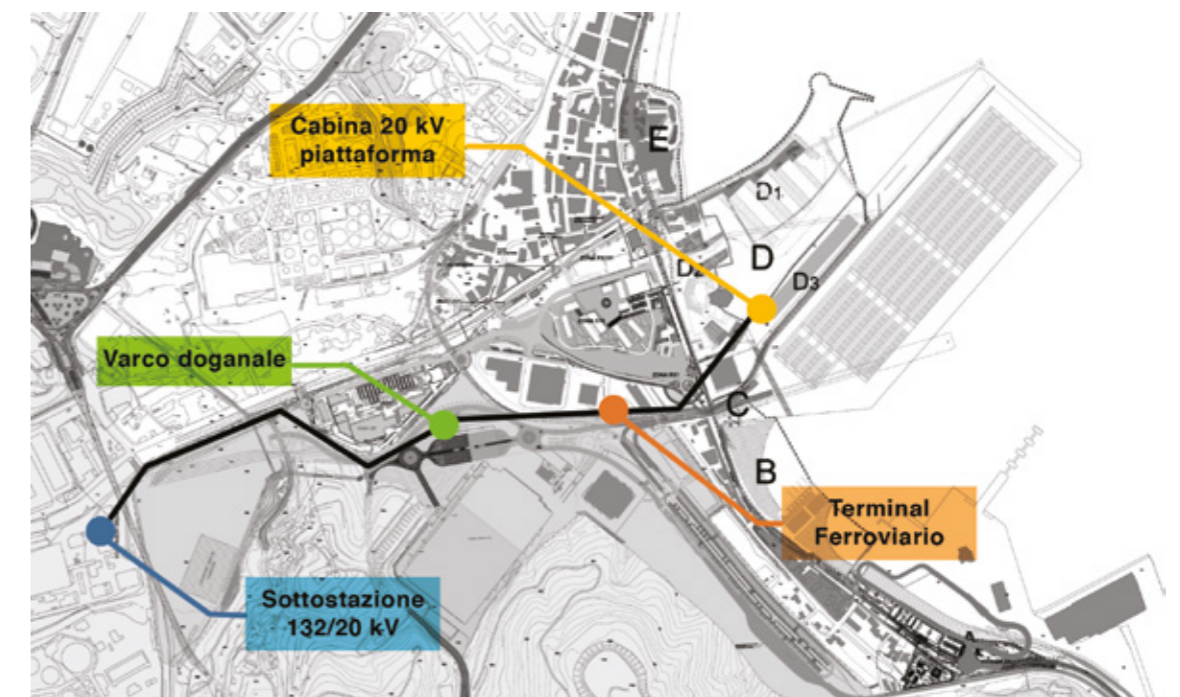


Fig.29 Layout del sistema di distribuzione della Piattaforma Maersk

La fornitura e la realizzazione della sottostazione e del sistema di distribuzione in media tensione è stata realizzata da parte di Ceisis Spa di Genova. I lavori hanno comportato il totale rifacimento della sottostazione AT, compreso l'abbattimento dei due edifici che ne facevano parte e che non possedevano adeguate caratteristiche

di tenuta sismica e l'edificazione di una nuova cabina dove sono alloggiati il quadro MT e gli ausiliari di stazione. La volumetria complessiva si è ridotta di un fattore intorno a 10 rispetto a quanto pre-esistente. E' stato revisionato e rinforzato il portale di ingresso della linea AT, anche grazie alla fattiva collaborazione di Terna.

La sottostazione è costituita da un piazzale AT (Fig.30.a) ed una cabina in muratura che alloggia il quadro principale di media tensione (30.b), le protezioni ed il quadro di comando della sezione AT (30.c), lo SCADA (30.d). Tutte le principali apparecchiature di sottostazione sono di produzione Siemens SpA.



a) Sezione AT e cabina MT



b) Quadro GIS a 20 kV



c) Armadio protezione e controllo 132 kV



d) SCADA

Fig.30 La sottostazione AT/MT del Porto di Vado Ligure

6.4.2 Alimentazione e ridondanza

In fase di progetto è stata definita un'architettura del sistema di distribuzione che garantisca la massima disponibilità per le utenze della Piattaforma. Per tale motivo:

- sono installati due trasformatori AT/MT, ciascuno dei quali in grado di soddisfare le utenze di piattaforma,
- sono posate tre linee a 20 kV, ciascuna delle quali in grado di portare fino a 15 MVA,
- i quadri di media tensione impiegati sono del tipo isolato in gas (GIS), tipologia costruttiva che offre un livello di affidabilità elevatissimo (1 guasto per scomparto ogni 1500 anni circa), suddivisi in sezioni indipendenti al fine di scongiurare la possibilità di guasti estesi all'intero quadro.

Lo studio di load-flow (vd. Fig.31) mostra che, anche in condizioni di pieno carico, i trasformatori di sottostazione lavorano intorno al 66% della loro potenza di targa ed i cavi al 75% della loro portata nominale.

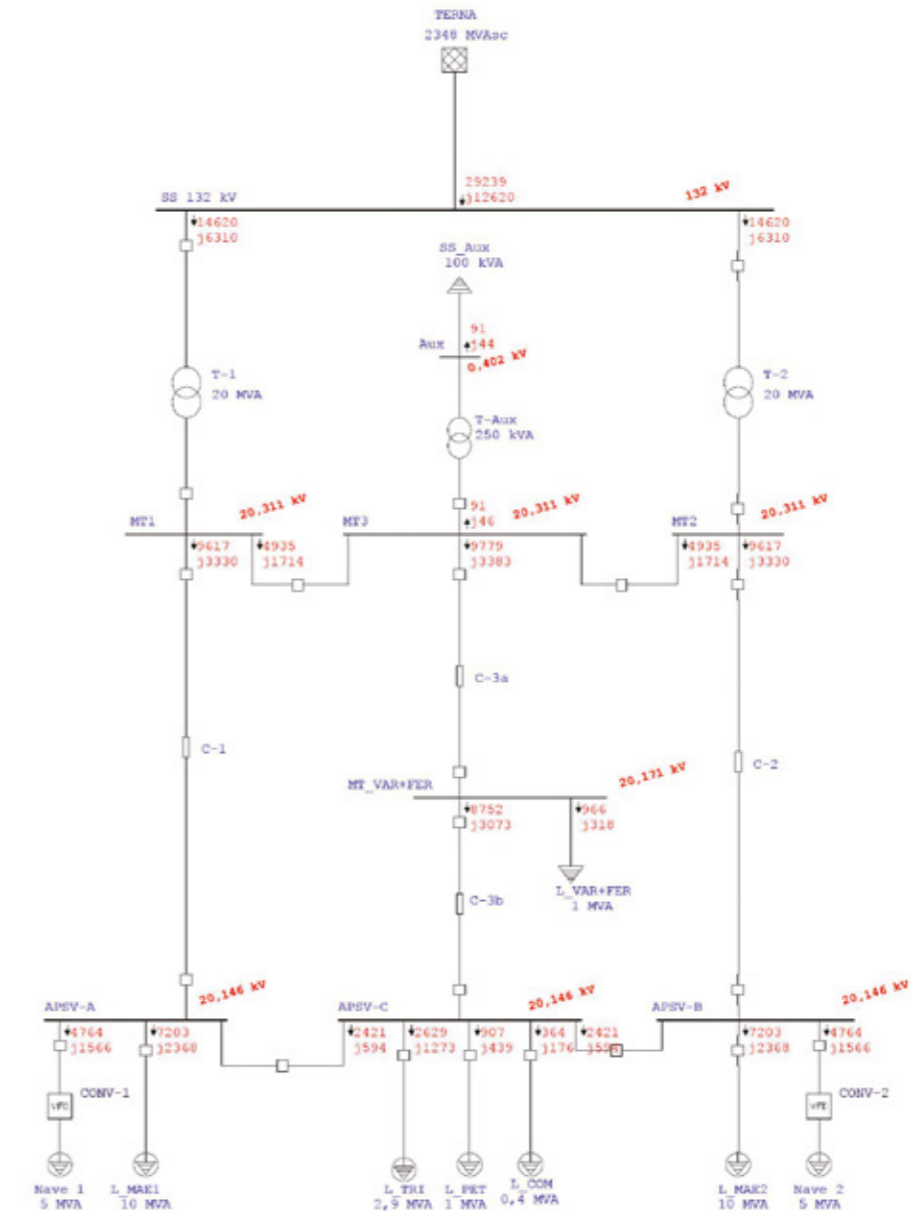


Fig.31 Studio di load-flow: assetto a pieno carico

6.4.3 Il cold ironing di Vado Ligure

Al momento della redazione di questo fascicolo la Piattaforma Maersk è in fase di realizzazione. Sono già realizzate tutte le predisposizioni civili necessarie alla realizzazione del cold ironing, quali:

- disponibilità cabina di conversione,
- vie cavi dalla cabina alle banchine e lungo le banchine,
- alloggiamenti punti di alimentazione in banchina.

E' in fase di sviluppo il progetto elettrico che ricalca l'architettura realizzata nel Porto di Prà, costituita da due convertitori di frequenza da 5 MW ciascuno (parallelabili) che alimentano una rete di distribuzione a 6,6 kV, 60 Hz. Lungo le banchine sono predisposti 3 punti di alimentazione nave.

□ **7** □
**Lezioni
da imparare**



Le attività di progettazione, realizzazione, messa in servizio, ed utilizzo dei sistemi di cold ironing dei Bacini di Carenaggio hanno messo in luce alcuni aspetti fondamentali per un corretto sviluppo dei progetti che è utile qui riassumere.

Sul piano del Project Management le esperienze maturate hanno mostrato come per appalti con un così elevato contenuto tecnologico, l'unico meccanismo di bando sostenibile sia quello che prevede la scelta dell'offerta economicamente vantaggiosa con contratto di tipo misto (parte lavori e parte fornitura e servizi). La maggiore complessità di questo tipo di appalto rispetto ad una più usuale gara al massimo ribasso è più che ampiamente giustificata dalla possibilità di selezionare il fornitore sulla base delle reali competenze tecniche maturate, scremando quindi gli offerenti andando nel merito delle offerte tecnico-economiche. Trattandosi inoltre di tecnologie ancora innovative ed in continua evoluzione, questo tipo di gara consente ai fornitori di proporre le soluzioni più moderne ed efficienti, cosa che si traduce alla fine in un beneficio per la stazione appaltante.

Sul piano più tecnico, le problematiche maggiormente critiche per questo tipo di impianti, e che quindi richiedono uno studio attento ed approfondito, sono relative a:

- la disponibilità di energia da parte del distributore. Le elevate potenze richieste dal cold ironing possono non essere disponibili al distributore locale che deve quindi prevedere un potenziamento della rete (a Genova Enel ha realizzato una nuova Cabina Primaria all'interno dell'area portuale), oppure può essere necessario approvvigionarsi di energia in alta tensione (come è stato fatto a Vado Ligure). Entrambe le soluzioni comportano costi elevati e lunghi tempi di realizzazione, per cui questa attività deve considerarsi propedeutica a qualsiasi progetto di cold ironing;
- necessità di limitare la corrente di inserzione dei trasformatori MT/MT dei convertitori. Si tratta infatti di macchine di taglia elevata (10-12 MVA) quando la massima taglia ammessa sulle reti di distribuzione è di 1,6 MVA a 15 kV e 2 MVA a 20 kV (CEI 0-16). È stato ideato un circuito di pre-magnetizzazione dei trasformatori necessario a limitarne la corrente di magnetizzazione;
- analogo problema si ha per la magnetizzazione dei trasformatori MT/BT a bordo nave. Si tratta di macchine di taglia fino a 4,5 MVA, e le elevate correnti di magnetizzazione causerebbero il blocco del convertitore di frequenza. Per evitare che questo accada, è stato studiato un sistema di regolazione a rampa della tensione in uscita dal convertitore verso la nave per la messa in tensione soft del trasformatore di bordo, quando possibile, o mediante resistori di inserzione.

In ultimo (last but not least), è necessario sottolineare come gli impianti di alimentazione da terra delle navi siano complessi ed intrinsecamente pericolosi, in ragione delle elevate tensioni e correnti in gioco. È quindi necessario in fase di progetto dare assoluta priorità allo sviluppo di logiche di sicurezza molto precise e rispettose dei criteri di sicurezza funzionale definiti dalle norme internazionali (SIL 1). In parallelo a questo, proprio in ragione della complessità degli impianti, deve darsi un ampio spazio alla formazione ed all'aggiornamento tecnico del personale che dovrà gestire e mantenere gli impianti.

A fronte di questi problemi e criticità, è importante riportare i risultati del primo anno di esercizio dell'impianto di alimentazione dei bacini di carenaggio di Genova. Con tutte le difficoltà di avvio e con le inevitabili ritrosie da parte degli armatori, sono stati forniti alle navi più di 3 milioni di kWh, corrispondenti a mancate emissioni per circa 1500 tonnellate di CO₂, 36 tonnellate di SOX, 2 tonnellate di PM (l'equivalente della produzione delle auto sulla Sopraelevata di Genova).

Sul piano regolatorio è essenziale prevedere a livello nazionale ed europeo meccanismi di incentivazione che compensino il maggior costo dell'energia fornita attraverso il cold ironing per non creare indebiti vantaggi competitivi ai porti più inquinanti.

Bibliografia

- [1] F.Ballini, R.Bozzo, "Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold ironing technology", *Research in Transportation Business & Management*, Elsevier, Vol.17, Dec. 2015, pp.92-98
- [2] GSE, "Fonti rinnovabili in Italia e in Europa . Verso gli obiettivi del 2020", Febbraio 2018
- [3] NoMEPorts, "Good Practice Guide on Port Area Noise Mapping and Management"
- [4] C.Schenone, I.Pittaluga, D.Borelli, W.Kamali, Y.El Moghrabi "The impact on environmental noise generated from ports: outcome of MESP project", *De Gruyter Open, Noise Mapp.* 2016; 3:26-36
- [5] G.Arduino, C.Murrillo, D.Guillermo, C.Ferrari, "Key factors and barriers to the adoption of cold ironing in Europe", *SIET 2011, XIII Riunione Scientifica – Messina*, 16-17 giugno 2011
- [6] European Commission Directorate General Environment, "Service contract on ship emissions: assignment, abatement and market-based instruments – Task 2a: Shore-Side Electricity", Final Report, Aug.2005, Entec UK Ltd.
- [7] Papoutsoglou G.Theodors, "A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports", University of Athens, 2012

