

T.1.2.1 Rapporto di studio specifico sul GNL per le manovre ferroviarie nei porti

Ottobre/2019

Regione Liguria

Sommario

Premessa.....	3
1. Analisi delle più significative applicazioni esistenti nel panorama internazionale....	4
2. Raccolta della normativa di riferimento.....	10
2.1 Norme di carattere generale.....	10
2.2 Norme specifiche.....	15
3. Stato dell'arte delle manovre ferroviarie all'interno dei porti nel territorio di cooperazione.....	18
4. Caratteristiche dei locomotori usati per il case-study.....	21
5. Analisi di differenti soluzioni tecniche di refitting dei locomotori.....	23
5.1 Soluzione mista dual-fuel.....	23
5.2 Conversione del motore originale da ciclo Diesel a ciclo Otto Metano.....	24
5.3 Installazione sul locomotore di un nuovo motore CURSOR16 100% metano.....	25
5.4 Possibili alternative di motorizzazione.....	27
5.5 Elementi aggiuntivi conseguenti al cambio di motorizzazione.....	28
5.6 Omologazione AMIS da parte di ANSF.....	28
6. Impatto dell'intervento su emissioni, prestazioni, consumi.....	31
6.1 Impatto ambientale.....	31
6.2 Prestazioni e costi di esercizio.....	32
7. Valutazioni economiche dell'investimento di retrofitting.....	34
8. Considerazioni sulla rete di ricarica.....	35
9. Contatti e ringraziamenti.....	36

Premessa

La diffusione nell'uso del GNL, metano conservato in forma liquida a temperatura criogenica, è ormai consolidata e in continua crescita a livello mondiale, grazie soprattutto alla possibilità di immagazzinare significative quantità di energia con pesi e ingombri competitivi rispetto al gasolio.

Nel campo dell'automotive esiste un'ampia casistica di motorizzazioni, generalmente applicate a veicoli industriali, che sfruttano l'alimentazione a GNL.

Esistono in particolare due tecnologie di riferimento: i motori "dual-fuel", in grado di operare con la doppia alimentazione diesel e a gas (GNL o GNC) basata sull'utilizzo dell'innesco del gasolio per avviare la combustione del metano, e i motori "tutto gas".

Nel campo ferroviario l'alimentazione a GNL non ha ancora una presenza rilevante, e laddove non si disponga di locomotive elettrificate la soluzione di gran lunga più adottata è quella della motorizzazione diesel. Si annoverano le prime esperienze di riconversione dual-fuel di locomotori diesel, in grado di ottenere significativi abbattimenti dell'inquinamento prodotto (CO₂, particolato, fumi) a fronte di un costo di riconversione decisamente contenuto.

Il caso specifico della alimentazione a GNL delle motrici ferroviarie che operano le manovre all'interno dei porti appare particolarmente interessante, a prescindere dalla soluzione tecnologica adottata, laddove inserito in un contesto di infrastrutturazione del porto per fornire il gas non solo alle navi, giustamente considerate il principale utilizzatore potenziale, ma a tutta una serie di servizi che operano nell'area portuale e che potrebbero sfruttare appieno le facilities di stoccaggio locale e di distribuzione del gas.

Nel panorama dell'industria nazionale esistono da una parte aziende che già operano nella conversione dual-fuel dei motori per autocarri e nella realizzazione di motori tutto-gas, dall'altra aziende in grado di progettare e produrre tutte le componenti "criogeniche" necessarie a tali realizzazioni. Si può quindi affermare che si sta parlando di soluzioni tecnologicamente mature, a portata dell'industria manifatturiera.

Partendo da questo scenario di riferimento, la tematica del possibile utilizzo del GNL per alimentare i locomotori che effettuano manovre all'interno del porto trova naturale collocazione nel progetto PROMO-GNL, in particolare nell'ambito dell'attività T1, nell'ambito della quale si intende analizzare le differenti possibilità di impiego del GNL nell'insieme delle attività portuali.

Il presente report T1.2.1 si articola in particolare sulle seguenti attività:

- analisi delle più significative applicazioni già esistenti sul mercato;
- raccolta della normativa di riferimento;
- esame dello stato dell'arte delle manovre ferroviarie all'interno dei porti nel territorio di cooperazione;
- individuazione dei locomotori usati per il case-study e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratterizzazione di differenti soluzioni tecniche di refitting dei locomotori;
- valutazione dell'impatto dell'intervento di refitting su prestazioni, emissioni, consumi;
- valutazione economiche;
- considerazioni sulla omologazione e sulla infrastruttura di ricarica.

1. Analisi delle più significative applicazioni esistenti nel panorama internazionale

Il panorama mondiale offre alcuni case studies da analizzare, peraltro non molti e per la maggior parte riferiti alla trazione lungo linea e non alle manovre in porto, con l'eccezione del caso di Tarragona.

In particolare si trova notizia di recentissime esperienze all'estero su locomotive pesanti: a parte un esempio russo di locomotiva a turbina, pare diffuso il concetto di alimentazione "dual-fuel", che richiede, sui grossi motori diesel, interventi meno pesanti rispetto alla riconversione completa.

- **Ferrovie Russe (RZD)**

Un primo esempio di analisi sono Le Ferrovie Russe (Rossijskie Zeleznye Dorogi - RZD), che hanno sperimentato il primo locomotore a GNL nel 2014, e stanno ora sviluppando un programma di riconversione a metano dei veicoli a motore utilizzati nelle altre attività di business della Società.

Nel 2014 Gazprom e le Ferrovie Russe hanno stipulato un accordo di cooperazione; nel 2016 le Ferrovie Russe hanno adottato il programma 2015-2025 per introdurre locomotive alimentate con GNL all'interno dell'area operativa di Sverdlovsk Railway.

Nel 2016 Gazprom, Ferrovie russe, Sinara Group e Transmashholding (TMH) hanno firmato l'accordo di cooperazione nel settore del gas naturale che permette a Gazprom di costruire moderne infrastrutture per depositi del carburante nelle località concordate con le Ferrovie russe e alimentare il trasporto su rotaia con GNL.

Gazprom Gazomotornoye Toplivo, distributore di gas naturale di Gazprom per i trasporti, dal Luglio 2017 ha iniziato ad alimentare le ferrovie russe con gas naturale liquefatto nella stazione di Egorshino nella regione di Sverdlovsk, dove attualmente operano tre locomotive a gas nella sezione Egorshino-Serov-Sortirovochny della ferrovia di Sverdlovsk: una dual fuel e due esclusivamente a gas. L'infrastruttura di rifornimento di gas naturale di Sverdlovsk ha posto le basi per l'uso del GNL nel trasporto ferroviario e i piani prevedono l'installazione di ulteriori depositi di GNL lungo le altre sezioni ferroviarie non elettrificate. La stazione di Egorshino dispone ora anche di un deposito di GNL, che viene rifornito con autocisterne criogeniche da Gazprom Gazomotornoye Toplivo.

In occasione del Russian Investment Forum tenuto a Sochi il 15 febbraio 2018, Gazprom ha firmato un nuovo accordo con Ferrovie Russe, Sinara-Transport Machines e Transmashholding per implementare l'Accordo di Cooperazione nel Settore Gas firmato nel 2016 relativo all'impiego di locomotive alimentate a GNL sulla rete ferroviaria russa di Sverdlovsk.

In base al nuovo programma, Ferrovie Russe prevede di aumentare la flotta di locomotive a turbina alimentate con gas naturale liquefatto della consociata Ferrovie Sverdlovsk da 3 a 22 unità entro il 2023.



*Locomotiva russa LNG con turbina a gas (2017).
Rifornimento con autobotti Gazprom*

Sul fronte della logistica dei rifornimenti Gazprom intende costruire due impianti di produzione di GNL su piccola scala presso le stazioni di distribuzione del gas a Tobolsk e Surgut, nonché piattaforme per rifornimenti mobili presso le stazioni di Voynovka e Surgut.

In coerenza con il nuovo piano i produttori Sinara e Trasmashholding saranno invece impegnati a migliorare i progetti delle loro locomotive a gas e a sviluppare nuove serie di locomotori.

Basandosi sulle specifiche fornite da Ferrovie Russe, le due società costruttrici di macchine russe finora hanno costruito due locomotive per treni merci e una da smistamento, tutte alimentate a GNL, che sono già in regolare servizio nella sezione tra Egorshino - Alapayevsk - Serov-Sortirovochny nella regione di Sverdlovsk.

Il gruppo Sinara ha certificato la locomotiva a turbina a gas GT1h che ha trainato un treno merci da 9.000 tonnellate per 700 km senza rifornirsi di GNL e ha predisposto un sito per la produzione in serie.

Un interessante prototipo di locomotiva di manovra alimentata a GNL è stato

sviluppato nel 2014: si tratta della T3M19, prodotta da Trasmashholding subsidiary BMZ, Uralcryomash VolzskyDiesel e Vnikty institute in Kolomna. La macchina è stata testata dalla compagnia ferroviaria Sverdlovsk nel parco di Yegorshino presso Yekaterinburgh: oltre 1300 ore di operatività in normali condizioni di esercizio, per un totale di oltre



19.000 carri movimentati. Questa sperimentazione ha evidenziato un risparmio nei costi di gestione stimato intorno al 24% rispetto alla alimentazione diesel tradizionale.

- **Ferrovie indiane “Indian Railways”**

Un secondo caso a livello mondiale è costituito dalle ferrovie indiane “Indian Railways” che hanno scelto GNL come soluzione di carburante alternativo. Il vettore è in attesa delle approvazioni normative per lo svolgimento di prove. Indian Railways ha recentemente sottoscritto un accordo con GAIL, la più grande compagnia indiana di produzione e distribuzione del gas, per creare nuove infrastrutture per la fornitura di GNL alle officine, unità produttive, depositi e colonie residenziale del trasportatore.



*Locomotiva indiana dual-fuel(2017)
(CNG/LNG 20-40% del gasolio)*

Tale iniziativa si colloca all'interno di

un programma nazionale varato dal governo indiano, che punta a modificare il proprio mix energetico portando la quota di GNL dall'attuale 6% al 15% entro il 2022.

- **Florida East Coast Railway**

La Florida East Coast Railway è la prima ferrovia del Nord America che ha adottato il gas naturale liquefatto per l'alimentazione dell'intera flotta di locomotive di linea. Il GNL è stato testato come combustibile per locomotive per 25 anni in Nord America ed è ancora in fase di valutazione da parte di diverse compagnie ferroviarie.

Le locomotive della Florida East Coast sono conformi allo standard Tier 3 del Environmental Protection Agency (EPA), che definisce le caratteristiche dei carburanti e dei veicoli per ridurre l'impatto sulla qualità dell'aria e sulla salute pubblica; si tratta di macchine General Electric ES44AC retrofittate con la tecnologia NextFuel low pressure, che consente di operare in modalità duale gasolio o GNL. Nel 2013, General Electric ha costruito la locomotiva ES44AC, GECX 3000, come banco di prova per il loro kit di alimentazione a gas naturale NextFuel, mantenendo il diesel ai fini dell'accensione a compressione.

Il deposito di gas è stato appositamente sviluppato da Chart Industries e consiste in un serbatoio criogenico montato in modo stabile su un tender, con il peso del veicolo di 67,9 tonnellate a pieno carico.

Il tender è progettato per sopportare un impatto laterale da un camion senza danni e il veicolo è completamente protetto sotto il telaio per eliminare il rischio di schegge che trafiggano il serbatoio in caso di deragliamento. Il progetto è stato ampiamente modellato al computer per simulare scenari di impatto e deragliamento nelle peggiori condizioni.



Il serbatoio criogenico è costituito da un serbatoio in acciaio inossidabile, realizzato all'interno di un serbatoio esterno in acciaio al carbonio, separato da uno strato di isolamento termico, fissato al carro e protetto da una massiccia struttura in acciaio.

Il sistema di gassificazione prende il GNL e lo trasforma in gas per il sistema di iniezione del carburante. Le funzioni di sicurezza includono valvole che si bloccano automaticamente se l'impianto idraulico GNL è danneggiato, prevenendo perdite.

Il rifornimento di un tender vuoto dura circa 90 minuti e fornisce carburante per un massimo di 1450 km di servizio di trasporto pesante che opera ad una velocità massima di 97 km / h.

- **Ferrovie Spagnole Renfe**

In Spagna è stata avviata nel 2018 una sperimentazione che riguarda i treni passeggeri. Ad attuare questo test è stato l'operatore ferroviario nazionale Renfe, in partnership con la società di certificazione Bureau Veritas e con i fornitori di gas naturale Gas Natural Fenosa e Enagás. Il tradizionale motore diesel di una delle due vetture è stato sostituito con un propulsore a GNL, che ha spinto il convoglio per circa 20 Km tra Trubia, Baiña e Figaredo, nella regione iberica delle Asturie, nel nord del Paese.

Da queste prove sono attese indicazioni sui requisiti tecnici di spazio, peso, refrigerazione e portata per la propulsione del gas naturale, oltre ad altre considerazioni e variabili comparative in termini di emissioni ed economia. In particolare è attesa una riduzione tra il 20% - 30% delle emissioni di CO2 e il sostanziale azzeramento di quelle di ossido di zolfo, mentre le emissioni di particolato

potrebbero calare anch'esse in misura molto consistente, fino al 90%. Inoltre, trattandosi di un'alternativa più economica rispetto all'elettrificazione, il GNL potrebbe consentire una significativa riduzione dei costi operativi. Se le ulteriori sperimentazioni andranno a buon fine, il GNL potrebbe iniziare ad essere introdotto stabilmente almeno su alcune rotte della rete ferroviaria nazionale spagnola.



- **Porto di Klaipeda, Lituania**

Un caso molto interessante si trova in Lituania, dove alcuni membri del Baltic Sea Region GNL Cluster, fra i quali la compagnia di stivaggio Bega, Klaipėdos Nafta, l'Università tecnica di Vilnius Gediminas e l'Università di Klaipeda hanno firmato nel 2017 un accordo per lo sviluppo di una locomotiva da manovra alimentata a GNL, da utilizzare nel porto di Klaipeda; in particolare dalla stazione ferroviaria del porto alle aree di stivaggio, con l'intenzione di estendere il raggio di azione in futuro. Si prevede che la locomotiva sarà pronta per l'uso entro il 2020.

L'obiettivo della realizzazione è quello di misurare concretamente la riduzione nelle emissioni e nei costi operativi rispetto ad una soluzione diesel convenzionale: le stime iniziali indicano che il consumo di carburante della locomotiva GNL sarà inferiore fino al 40% rispetto alla motorizzazione diesel e le emissioni di biossido di carbonio sarebbero inferiori del 25%. Il sistema ibrido GNL sarà combinato con un pacco batterie per bilanciare le prestazioni della locomotiva a scopi di manovra.



Lo sviluppo di tecnologie innovative offrirà grandi vantaggi all'industria della logistica e dovrebbe dare un impatto significativo nella riduzione dell'inquinamento. I partner del progetto sono i primi nell'intera regione del Mar Baltico a concentrarsi sulla possibilità di utilizzare ferrovie più pulite.

- **Linea Bilbao - León, progetto CEF 2016**

Il progetto, finanziato nell'ambito del programma CEF (rif.to 2016-ES-TM-0125-S), riguarda lo studio di una soluzione innovativa legata alla trazione GNL in ambito ferroviario e si inquadra all'interno della strategia nazionale spagnola per promuovere i veicoli alimentati con energie alternative. In particolare indirizza la progettazione e l'ingegnerizzazione di una infrastruttura mobile di rifornimento GNL e il retrofitting di un locomotore, alimentandolo a GNL, con l'obiettivo di valutarne le prestazioni sotto i vari punti di vista tecnico, economico e ambientale.

Il pilota riguarda l'operatività del locomotore retrofittato, in condizioni di normale esercizio, su una percorrenza di 15.000 km, confrontando quindi le prestazioni della

alimentazione a GNL rispetto alla tradizionale alimentazione a diesel. Le prove verranno affettuato sul tratto di linea Bilbao-Leon di RENFE.

Il progetto, avviato nel 2015, prevede la conclusione nella seconda metà del 2020.

Attualmente, in base a quanto si evince dal sito del progetto <https://www.railng.com/en/>, è in fase di svolgimento l'attività di preparazione dell'infrastruttura di prova, che consiste nella predisposizione dei veicoli e dell'infrastruttura di rifornimento; sono inoltre in corso le attività di studio della regolamentazione, la formazione del personale e la individuazione delle concessione di autorizzazioni e permessi necessari per effettuare il test pilota .

- **CORE LNGas, Porto di Tarragona, progetto CEF 2014**

Il progetto CORE LNGas (rif. 2014-EU-TM-0732-S), avente l'obiettivo di sviluppare nella penisola iberica una catena logistica sicura, efficiente e integrata per l'utilizzo del GNL nel settore marittimo, non limitandosi alle navi ma interessando anche differenti servizi in ambito portuale, è stato sviluppato da un consorzio costituito da oltre 40 partners, sotto il coordinamento di Enagàs e di Puertos del Estado.

Fra gli 11 progetti pilota sviluppati all'interno di CORE LNGas, compare "Retrofitting and feasibility (technical and legal) of a LNG-powered port locomotive in Tarragona" (rif.to subactivity EV3), avviato nel 2017 e conclusosi a fine 2018, finalizzato alla progressiva introduzione di locomotori di manovra alimentati a GNL in sostituzione degli attuali alimentati a diesel. Insieme all'individuazione di barriere tecniche e legali, il progetto ha indirizzato la fattibilità sotto il doppio profilo economico e ambientale, arrivando a produrre delle raccomandazioni per la gasificazione dei servizi di manovre portuali.

Particolarmente interessante appare il Deliverable D3.4 prodotto nel corso del progetto, dal titolo "*Retrofitting and feasibility (technical and legal considerations) of a LNG-powered port locomotive in Tarragona*", che riporta in modo dettagliato tutte le fasi dell'attività svolta.

Nella prima parte dello studio vengono analizzati i principali aspetti alla base del progetto di gasificazione dei locomotori:

- adattamento tecnologico dei locomotori prescelti;
- implementazione dell'infrastruttura di rifornimento;
- organizzazione dei processi di gestione e manutenzione delle macchine;
- aspetti legali, di particolare rilievo data la innovatività di tale soluzione e la conseguente assenza di adeguata regolamentazione.

Una seconda parte dello studio riguarda la fattibilità economica e finanziaria dell'intervento, che appare uno dei punti più critici di tutto il lavoro svolto. Vengono analizzati diversi scenari, valutate alcune ipotesi relativamente al trend di costo del carburante, concludendo che l'operatore ferroviario avrebbe un "payback period" non inferiore a 7 anni, dato sicuramente non molto incoraggiante. Si puo' osservare che i costi di conversione (costo del motore e modifiche sulle macchine) sembrano essere stati stimati in modo abbastanza cautelativo, il che contribuisce all'allungamento del periodo di payback.

Decisamente più incoraggianti le valutazioni sulle ricadute ambientali, in termini di riduzione dell'inquinamento acustico e delle emissioni di CO, NOx e particelle per percentuali indicativamente del 70%.

Il progetto CORE LNGas passa quindi alla valutazione progettuale della trasformazione a GNL delle due tipologie di locomotori che operano all'interno del porto: la prima (modello 310) caratterizzato da una potenza di 598 kW, la seconda (modello 311) da 705 kW.



Le alternative progettuali esaminate sono quattro:

- sostituzione dell'esistente motore diesel con un nuovo motore GNL;
- trasformazione dell'esistente motore da diesel a GNL;
- sostituzione dell'esistente motore diesel con un nuovo motore dual-fuel (diesel + GNL);
- trasformazione dell'esistente motore da diesel a dual-fuel (diesel + GNL).

Sono stati analizzati e comparati i costi e i benefici nelle varie soluzioni; la tabella che segue riporta i risultati di tale analisi. Non può essere considerata come un riferimento assoluto, anche perché risulta inevitabilmente condizionata dalle specifiche caratteristiche dei locomotori considerati, tuttavia offre interessanti spunti di

			ADVANTAGES	DISADVANTAGES
DEDICATED ENGINE (NATURAL GAS)	A	NEW NG ENGINE	Reliability Consumption Low maintenance Emissions and noise reduction	Cost Complexity of integration Range reduction
	B	TRANSFORMATION OF THE CURRENT ENGINE TO NG	Cost Ease of integration Reliability Consumption Low maintenance Emissions and noise reduction	Worsen performances Range reduction
DUAL ENGINE	C	TRANSFORMATION OF THE CURRENT ENGINE TO DUAL	Cost Reliability Range Performances	Reduced gas consumption LNG tank integration
	D	NEW DUAL ENGINE	Reliability Range Performances	Cost Complexity of the engine and the LNG tank integration Reduced gas consumption

riflessione.

La scelta considerata ottimale per il caso di Tarragona, al termine dell'analisi comparata delle quattro alternative, consiste nella conversione diesel>>>gas del motore esistente, dettata dai seguenti elementi:

- massimizzazione nella riduzione nelle emissioni, dovuto all'abbandono totale del diesel;
- possibili criticità di funzionamento nell'ipotesi dual-fuel;
- migliore adattabilità ai vincoli dimensionali e di installazione sulle macchine;
- facilità di integrazione.

Una ulteriore interessante tematica affrontata nel progetto è quella della capacità del contenitore GNL da installare a bordo del locomotore. Partendo dall'attuale riferimento sul modello 310, che con un rifornimento di 2700 litri di gasolio copre l'operatività di una settimana, è stato calcolato che per ottenere un'equivalente autonomia occorrerebbe un deposito di circa 4800 litri di GNL. Nel caso specifico del locomotore preso in esame esiste una limitazione dimensionale a circa 2000 litri di GNL, che implicherebbe un abbassamento dell'autonomia operativa a meno della metà rispetto a quella attuale. Questa conclusione non ha alcuna valenza generale, essendo direttamente condizionata dai vincoli costruttivi di ciascun locomotore.

2. Raccolta della normativa di riferimento

La normativa di riferimento risulta articolata; è costituita da alcune disposizioni di carattere generale ed altre più specifico relative al trasporto ferroviario.

Va evidenziato da subito come non esista una normativa specifica relativa all'equipaggiamento di un locomotore con motore alimentato a GNL, fondamentalmente perché non esiste ancora una consuetudine consolidata nello sviluppo di questa soluzione, ma le poche realizzazioni oggi presenti costituiscono di fatto dei prototipi, sviluppati in chiave di studio e non di produzione industriale.

2.1 Norme di carattere generale

• Direttiva “DAFI” 2014/94/UE

La Direttiva 2014/94/CE sullo sviluppo delle infrastrutture per combustibili alternativi nell'Unione Europea è stata pubblicata il 28 ottobre 2014. Entro due anni dall'entrata in vigore della Direttiva, ciascuno Stato membro ha dovuto presentare un piano nazionale per promuovere sul proprio territorio la diffusione dei combustibili alternativi, tra cui il Gas Naturale Liquefatto.

La direttiva stabilisce:

- requisiti minimi per la costruzione dell'infrastruttura per i combustibili alternativi, inclusi i punti di ricarica per veicoli elettrici e i punti di rifornimento di gas naturale (GNL e GNC) e idrogeno, da attuarsi mediante i quadri strategici nazionali degli Stati membri;
- le specifiche tecniche comuni per tali punti di rifornimento e i requisiti concernenti le informazioni agli utenti.

Obiettivo della Direttiva è lo sviluppo di un mercato ampio di combustibili alternativi. Ciascuno Stato membro adotta un proprio Quadro Strategico Nazionale (per lo sviluppo del mercato per quanto riguarda combustibili alternativi nel settore dei trasporti e la realizzazione della relativa infrastruttura), che comprenda una serie di misure minime coerenti con la Direttiva stessa. I quadri strategici nazionali devono tener conto non solo della normativa europea, ma anche delle caratteristiche regionali e della necessità di compatibilità con le norme nazionali.

Per quanto riguarda il GNL, la Direttiva fissa al 2015 la data entro la quale tutti i porti marittimi della UE dovrebbero essere attrezzati per la ricarica delle navi, dotandosi quindi di terminali, serbatoi e containers mobili. La disponibilità di tali infrastrutture di ricarica costituisce una condizione indispensabile per la metanizzazione di veicoli operanti all'interno dei porti, quali appunto i locomotori per le manovre ferroviarie.

L'obiettivo è che entro il 2030 sia disponibile una rete centrale TEN-T di punti di rifornimento per il GNL per le navi che operano nei porti marittimi e nei porti della navigazione interna, senza peraltro escludere che il GNL sia disponibile, in una prospettiva di lungo termine, anche in porti al di fuori di tale rete, in particolare in quelli che rivestono importanza per le navi che non effettuano operazioni di trasporto. È opportuno basare la decisione dell'ubicazione dei punti di rifornimento per il GNL nei porti su un'analisi di costi-benefici, incluso una valutazione dei benefici per l'ambiente. Gli Stati membri dovranno garantire un sistema di distribuzione adeguato tra gli stabilimenti di stoccaggio e i punti di rifornimento per il GNL. Per quanto riguarda il trasporto su strada, la disponibilità e l'ubicazione geografica dei punti di carico per i veicoli cisterna di GNL sono essenziali per lo sviluppo di una mobilità basata sul GNL economicamente sostenibile.

Attraverso i rispettivi quadri strategici nazionali, gli Stati membri assicurano che, entro il 31 dicembre 2025, sia realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il

GNL accessibili al pubblico almeno lungo la rete centrale delle TEN-T per assicurare la circolazione in tutta l'Unione dei veicoli pesanti alimentati a GNL.

- **Direttiva 2010/35/UE**

TPED - Transportable Pressure Equipment Directive è la direttiva 2010/35/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 giugno 2010, relativa alle attrezzature a pressione trasportabili, che abroga le direttive 76/767/CEE, 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE e 1999/36/CE.

Stabilisce norme dettagliate relativamente alle diverse tipologie di attrezzature a pressione trasportabili (tutti i recipienti a pressione, le loro valvole e altri accessori come serbatoi, veicoli / carri batteria, contenitori per gas a elementi multipli, cartucce di gas, recipienti criogenici aperti, bombole di gas per autorespiratori e estintori) per migliorare la sicurezza e garantire la libera circolazione di tali apparecchiature all'interno dell'Unione europea.

In particolare TPED riguarda:

- nuove attrezzature a pressione trasportabili che non recano i marchi di conformità previsti dalle direttive 84/525 / CEE, 84/526 / CEE, 84/527 / CEE o 1999/36 / CE, al fine di renderle disponibili sul mercato;
- attrezzature a pressione trasportabili recanti i contrassegni di conformità previsti dalle suddette direttive, ai fini delle ispezioni periodiche, delle ispezioni intermedie, dei controlli e dell'uso eccezionali;
- attrezzature a pressione trasportabili che non recano i marchi di conformità previsti dalla direttiva 1999/36 / CE, ai fini della rivalutazione della conformità;
- obblighi specifici agli operatori economici, che agiscono in attività commerciali o di servizio pubblico;
- garanzia da parte dei fabbricanti che le apparecchiature siano state progettate, fabbricate e documentate in conformità ai requisiti della presente direttiva e della direttiva 2008/68/CE. Quando tale conformità è dimostrata attraverso il processo di valutazione di conformità, i fabbricanti devono apporre il "marchio Pi" (marchio che indica che l'attrezzatura a pressione trasportabile è conforme ai requisiti di valutazione della conformità applicabili stabiliti nella direttiva 2008/68/CE) all'attrezzatura. Questo marchio Pi deve essere apposto dal fabbricante o, in caso di rivalutazione di conformità, da o sotto la sorveglianza dell'organismo notificato.

La norma stabilisce inoltre che:

- gli importatori e i distributori possono immettere sul mercato dell'UE solo attrezzature a pressione trasportabili conformi alla direttiva 2008/68/CE e alla presente direttiva. Devono assicurarsi che l'apparecchiatura rechi il marchio Pi e abbia il certificato di conformità necessario;
- gli importatori, i distributori e i proprietari devono informare il produttore e l'autorità competente di qualsiasi rischio presentato dall'apparecchiatura. In alternativa, se del caso, il distributore informa l'importatore e il proprietario di tale rischio; vanno documentati tutti i casi di non conformità e le misure correttive; si deve assicurare che le attrezzature a pressione trasportabili siano sotto la responsabilità della società che utilizza il locomotore.

Le attrezzature a pressione trasportabili devono soddisfare le pertinenti valutazioni di conformità, ispezione periodica, ispezione intermedia e requisiti di controllo eccezionali, nonché le specifiche della documentazione in base alla quale l'apparecchiatura è stata fabbricata.

Nessun paese dell'UE può vietare, limitare o impedire la libera circolazione, l'immissione sul mercato e l'uso di attrezzature a pressione trasportabili sul loro territorio se queste sono conformi alla direttiva stessa.

- **Direttiva 2008/68/CE**

La direttiva 2008/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio (24 settembre 2008) istituisce un regime comune per tutti gli aspetti del trasporto interno di merci pericolose su strada, ferrovia e vie navigabili in un qualsiasi paese dell'Unione europea (UE) o tra paesi dell'UE.

Il trasporto internazionale di merci pericolose è regolato da vari accordi internazionali, quali ADR, RID e ADN. Tali norme dovrebbero anche essere estese ai trasporti nazionali al fine di armonizzare in tutta l'UE le condizioni in cui sono trasportate le merci pericolose e garantire il corretto funzionamento del mercato comune dei trasporti. Gli allegati della direttiva fanno riferimento ai testi di questi accordi.

ADR, RID e ADN hanno stilato un elenco di merci pericolose, indicando se il loro trasporto è vietato o meno e definendo i requisiti per il loro trasporto se autorizzato. I paesi dell'UE possono richiedere deroghe temporanee a determinate condizioni.

- **ISO 12991**

Relativamente alla tematica del GNL, ISO ha affrontato gli aspetti relativi al suo trasporto, al suo utilizzo come combustibile marino e al suo utilizzo nelle stazioni di rifornimento. In particolare ha pubblicato la norma ISO 12991: 2012 "Serbatoi per stoccaggio a bordo come combustibile per veicoli automobilistici", preparata dal Comitato tecnico ISO/TC 220 e pubblicata nel 2012.

Per quanto riguarda i serbatoi criogenici utilizzati per il trasporto del gas naturale liquefatto, vengono specificati i requisiti di costruzione e i metodi di prova necessari per garantire adeguati livelli di protezione da incendi ed esplosioni. Questa norma è applicabile ai serbatoi di carburante destinati ad essere fissati permanentemente ai veicoli terrestri, ma può essere utilizzato come guida per altri modi di trasporto.

- **UNI EN 13645**

La norma UNI EN 13645 "Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) - Progetto di installazioni di terra a capacità di stoccaggio fra 5t e 200t", pubblicata da UNI nel 2001 e recepita a livello italiano nel 2006, definisce i requisiti per la progettazione e la costruzione delle installazioni di terra, fisse, per il gas naturale liquefatto (GNL) con capacità di stoccaggio totale compresa tra 5t e 200t. Essa raccomanda procedimenti e regole per ottenere una progettazione, una costruzione e un esercizio delle installazioni di GNL soddisfacenti per la sicurezza e l'ambiente.

La norma dispone che debba essere realizzato uno studio sull'impatto ambientale se la capacità di stoccaggio del GNL eccede la soglia specificata nella regolamentazione locale, o, in sua assenza, una soglia raccomandata di 50t. Tale studio deve tenere conto di eventuali restrizioni sul trasporto di GNL.

Le emissioni provenienti dall'impianto, siano esse solide, liquide (compresa l'acqua) e gassose (compresi gli odori nocivi), devono essere identificate, e devono essere adottate misure per garantire che tali emissioni normali e accidentali non risultino pericolose per le persone, le proprietà, gli animali o la vegetazione. Deve essere stabilita una politica di gestione degli effluenti, e devono essere identificate le prescrizioni per la manipolazione dei materiali tossici.

Deve essere inoltre valutato il possibile aumento dell'attività dovuto all'esercizio dell'impianto, e i livelli indesiderati di queste attività devono essere possibilmente eliminati o ridotti al minimo e limitati, considerando in particolare:

- livelli di rumorosità;
- livelli di vibrazione;
- lavoro notturno, effetti dell'illuminazione;
- combustione in torcia o sfiato del gas;
- riscaldamento o raffreddamento dell'acqua.

Relativamente alle emissioni, la norma prescrive che debbano essere controllati:

- i prodotti della combustione dei compressori, rigassificatori sommersi, riscaldatori a fiamma per la rigenerazione;
- lo sfiato normale o accidentale dei gas;
- i liquidi oleosi provenienti dalla rigenerazione dell'essiccatore o delle macchine;
- nel caso di un'apparecchiatura raffreddata ad acqua, la contaminazione dell'acqua da idrocarburi negli scambiatori che presentano perdite;
- lo smaltimento dei prodotti di scarto (prodotto chimici, residui di olio e composti organici clorurati);
- l'acqua dei rigassificatori;
- i prodotti odorizzanti.

Un capitolo importante riguarda l'identificazione dei rischi, di natura esterna all'impianto:

- veicoli di rifornimento di GNL;
- radiazione termica (incendio);
- nubi di gas infiammabili, tossici o asfissianti;
- impatto di proiettile;
- fenomeni naturali (fulmine, inondazione, sisma, ecc);

e di natura interna all'impianto:

- perdite di gas naturale liquido o gassoso;
- stoccaggio di GPL e di idrocarburi più pesanti;
- traffico all'interno dell'impianto;
- perdita di altre sostanze pericolose, in particolare di refrigeranti infiammabili;
- apparecchiature sotto pressione;
- macchinari rotanti;
- apparecchiature elettriche.

La norma fissa i criteri relativamente alla progettazione e alla realizzazione dei serbatoi criogenici: isolamento termico, fondazioni, strumentazione per garantire il funzionamento in sicurezza, protezioni da sovrappressione.

Di particolare rilievo le prescrizioni relative alla progettazione del sito destinato a ospitare l'impianto: dalla delimitazione ed eventuale recinzione dell'area potenzialmente pericolosa, con particolare riferimento all'area di carico/scarico, alla regolamentazione della circolazione veicolare in prossimità dell'impianto e specifiche attrezzature di protezione.

- **UNI EN 16903**

La norma UNI EN 16903 "Industrie del petrolio e del gas naturale - Caratteristiche del GNL che influenzano la progettazione e scelta dei materiali", pubblicata da UNI nel 2015 e recepita a livello italiano nello stesso anno, fornisce indicazioni sulle caratteristiche del gas naturale liquefatto e materiali criogenici utilizzati nell'industria del GNL, nonché in materia di salute e di sicurezza, ed è destinata a costituire un riferimento ad uso del personale che progetta e opera su impianti di GNL.

La principale caratteristica è che il GNL è una miscela di idrocarburi, composta prevalentemente dal metano ma che può contenere anche altre componenti quali etano, propano, butano, azoto in quantità variabili; in funzione di tale variabilità nella composizione, la massa volumica varia fra 420 kg/m³ e 470 kg/m³, eccezionalmente fino a 520 kg/m³. La temperatura di ebollizione oscilla fra -166 °C e -157 °C, solitamente si considera un valore medio di -160 °C.

Il fattore temperatura e soprattutto il forte gradiente termico, condizionano significativamente la scelta dei materiali utilizzati nella realizzazione dell'impianto, con particolare riferimento alla resistenza alla cosiddette fratture fragili. In particolare durante le operazioni di raffreddamento e riscaldamento si producono importanti sollecitazioni termiche non solo sui contenitori, ma anche sulle tubazioni, che devono quindi essere progettate assicurando la dovuta flessibilità in tutte le situazioni operative anche estreme o eccezionali, quali peso, vento, neve, terremoti.

- **Circolare VV.FF 3819/2013 - Guida tecnica e atti di indirizzo per la redazione dei progetti di prevenzione incendi relativi a impianti di alimentazione a GNL con serbatoio criogenico fuori terra a servizio di stazioni di rifornimento.**

Questa circolare rappresenta la evoluzione di precedenti normative in materia, che si riferivano alla progettazione e realizzazione di impianti GPL e metano nelle stazioni di rifornimento per l'autotrasporto. La circolare 3819 prende atto della più recente innovazione tecnologica, costituita dalla tecnica di stoccaggio del metano liquido in contenitori criogenici, adeguando quindi la precedente normativa antincendio che contemplava solamente l'utilizzo di metano allo stato gassoso prelevato da rete fissa o da carro bombolaio.

In particolare, viene richiamata la possibilità di stivare metano allo stato liquido refrigerato entro un serbatoio criogenico, nella maggioranza dei casi realizzato in esecuzione fuori terra, nel quale il prodotto è mantenuto ad una pressione di pochi bar in condizioni di temperatura pari a -160° C. L'isolamento termico del serbatoio è normalmente ottenuto mediante intercapedine in cui è realizzato il vuoto. Il metano liquido viene gassificato, previo pompaggio, mediante un evaporatore riscaldato normalmente ad aria atmosferica dal quale, uscendo, viene conservato normalmente a pressione di 220/250 bar entro pacchi bombole di tipo tradizionale.

La circolare fornisce delle linee di indirizzo di corretta progettazione e buona tecnica realizzativa che possano costituire ausilio ai Comandi Provinciali nella valutazione dei progetti di prevenzione incendi, lasciando comunque al professionista ogni libertà di progettare secondo le metodologie richiamate nel DM 09/05/2007 "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio", dimostrando il raggiungimento degli obiettivi anche con sistemi/distanze/impiantistica diverse da quelle segnalate nella circolare. Viene in particolare richiamata la norma UNI EN 13645 precedentemente descritta.

Vengono inoltre definiti vari aspetti legati alla progettazione e alla realizzazione dell'impianto di distribuzione stradale di gas naturale per autotrazione:

- ubicazione dell'impianto: vengono fissati i limiti di non realizzabilità dell'impianto in relazione al livello di edificazione dell'area circostante: ad esempio è vietata la localizzazione in un'area omogenea totalmente edificata, individuata come zona A nel piano regolatore generale comunale; in ogni caso la rispondenza dell'area prescelta per l'installazione dell'impianto alle caratteristiche urbanistiche della zona deve essere attestata dal sindaco o comprovata da asseverazione a firma di tecnico abilitato, competente per la sottoscrizione del progetto;
 - prescrizioni realizzative relative a tutte le componenti del sistema;
 - distanza minime di sicurezza fra gli elementi pericolosi dell'impianto, e fra questi e le attività esterne, con particolare attenzione al posizionamento delle autocisterne;
 - modalità di esercizio dell'impianto.
- **Circolare VV.FF 5879/2015 - Guida tecnica e atti di indirizzo per la redazione dei progetti di prevenzione incendi relativi a impianti di alimentazione a GNL con serbatoio criogenico fuori terra a servizio di impianti di utilizzazione diversi dall'autotrazione.**

Questa seconda circolare rappresenta una estensione di quella precedente, in quanto riguarda tutte le altre applicazioni industriali che utilizzano il metano liquido differenti dall'autotrasporto.

Per quanto riguarda l'ambito e i limiti di applicazione, vengono presi in considerazione contenitori criogenici aventi le seguenti caratteristiche:

- stabilmente installati sul terreno e stabilmente collegati agli impianti utilizzatori;
- la capacità massima di stoccaggio non può eccedere le 50 tonnellate.

Vengono quindi definite le disposizioni realizzative relative agli elementi significativi dell'impianto:

- i serbatoi criogenici;
- le pompe;
- i vaporizzatori per la distribuzione all'utenza;
- il sistema di contenimento e le barriere di contenimento in caso di perdite;
- le torce fredde per l'emissione temporanea di gas;
- le recinzioni e i sistemi di sicurezza antiincendio;
- i punti di riempimento e tubazioni;
- l'impianto elettrico, di terra, di protezione antiincendio;
- le distanze di sicurezza interne all'impianto, fra le varie componenti dello stesso e le aree e strutture di pertinenza;
- le distanze di sicurezza esterne, fra l'impianto e il territorio circostante;
- le modalità di esercizio.

Per quanto riguarda in particolare il tema delle distanze di sicurezza esterne, estremamente importante nell'ottica della realizzazione di una stazione di stoccaggio a servizio dei locomotori di manovra, la circolare fissa alcuni punti:

- i fabbricati circostanti devono avere una distanza non inferiore a 30 mt dal punto di riempimento, e non meno di 20 mt (per capacità di deposito inferiore a 30 m³) o 30 mt (per capacità superiore) da serbatoi e pompe; queste distanze vengono aumentate del 50% se i fabbricati hanno specifiche destinazioni d'uso di carattere pubblico;

- la distanza da infrastrutture quali strade, torrenti devono essere coerenti con le disposizioni degli strumenti urbanistici comunali; in particolare la distanza dalle strade adibite a circolazione veicolare deve essere superiore ai 15 mt, la distanza da parcheggi pubblici 20 mt;
 - la distanza da linee elettriche aeree deve essere superiore ai 15 mt;
- Tutte queste distanze vanno misurate fra l'infrastruttura esterna (edificio, strada, etc....) e l'elemento "pericoloso" dell'impianto più vicino all'infrastruttura stessa.

2.2 Norme specifiche

- **UNECE 110R "SPECIFIC COMPONENTS FOR VEHICLES USING CNG AND LNG IN THEIR PROPULSION SYSTEM"**

Il regolamento UNECE 110, entrato in vigore nel 2014, comprende le prescrizioni relativamente alla omologazione di:

- componenti specifici dei veicoli a motore che utilizzano gas naturale compresso (GNC) e/o gas naturale liquefatto (GNL) per il sistema di propulsione;
- veicoli per quanto riguarda l'installazione di componenti specifici di tipo omologato per l'utilizzo di gas naturale compresso (GNC) e/o di gas naturale liquefatto (GNL) nel sistema di propulsione.

Nella prima parte vengono regolamentate la domanda di omologazione, le marcature, l'omologazione, le specifiche riguardanti i componenti per la l'alimentazione con GNL, le modifiche di un tipo di componente con GNL ed estensione dell'omologazione, la conformità della produzione, la denominazione e l'indirizzo dei servizi tecnici incaricati di eseguire le prove di omologazione e delle autorità di omologazione.

Nel documento sono contenute delle disposizioni relative ai serbatoi per GNL; deve essere previsto ad esempio un sistema per evitare che il serbatoio del carburante sia riempito in eccesso.

Qualsiasi modifica di un tipo di componente per alimentazione con GNL deve essere notificata all'autorità di omologazione che ha rilasciato l'omologazione.

La domanda di omologazione del componente specifico o del componente multifunzionale deve essere presentata dal titolare del marchio di fabbrica o dal suo mandatario. La domande deve essere corredata dalla seguente documentazione in triplice copia e dalle informazioni seguenti:

- descrizione del veicolo nella quale siano precisate tutte le informazioni pertinenti;
- descrizione dettagliata del tipo di componete specifico o di componenti multifunzionali;
- disegno del componente specifico o dei componenti multifunzionali, sufficientemente dettagliato e in scala appropriata.

Su richiesta del servizio tecnico incaricato dell'esecuzione delle prove di omologazione devono essere presenti campioni di componente specifico o dei componenti multifunzionali. Campioni supplementari devono essere forniti su richiesta.

Se i campioni del componente per alimentazione con GNL presentati per l'omologazione soddisfano le prescrizioni è rilasciata l'omologazione per questo tipo di componente.

Il serbatoio per GNL deve essere dotato per lo meno dai seguenti componenti, che possono essere separati o combinati (speciale cura sarà riservata nell'impedire la cattura di GNL):

- la valvola di sicurezza alla sovrappressione
- la valvola manuale

- la valvola automatica
- il limitatore di flusso

Nella Parte II viene regolamentata la domanda di omologazione, l'omologazione, prescrizioni riguardanti l'installazione di componenti specifici per l'utilizzo di gas naturale liquefatto nel sistema di propulsione di un veicolo, conformità di produzione, modifica ed estensione dell'omologazione di un tipo di veicolo, denominazione e indirizzo dei servizi tecnici incaricati di eseguire le prove di omologazione e delle autorità di omologazione.

L'impianto a GNL deve comprendere i seguenti componenti: Serbatoio o recipienti per GNL; scambiatore di calore - vaporizzatore del GNL; valvola di sicurezza alla sovrappressione del GNL; sistema del svuotamento del GNL; bocchettone del GNL; valvola limitatrice di flusso del GNL; tubi di alimentazione del GNL; raccordi per GNL; valvola di ritenuta o valvola di non ritorno del GNL; indicatore di pressione o indicatore del carburante per GNL; centralina elettronica; rilevatore di gas naturale o camera stagna di ventilazione.

Al servizio tecnico che effettua le prove di omologazione va presentato un veicolo rappresentativo del tipo di veicolo da omologare.

L'omologazione viene rilasciata se il veicolo presentato è provvisto di tutti i componenti specifici per l'utilizzo di GNL. Ad ogni tipo di veicolo omologato viene attribuito un numero di omologazione. Le prime due cifre di tale numero indicano la serie di modifiche comprendente le principali e più recenti modifiche tecniche pertinenti apportate al regolamento alla data di rilascio dell'omologazione.

- **ANSF 1/2015 “Riordino normativo, standard tecnico, sottosistema materiale rotabile. Locomotive da manovra il cui impiego è limitato nell'ambito delle località di servizio del Sistema Ferroviario Italiano”**

Con decreto 1/2015, l'Agenzia Nazionale della Sicurezza Ferroviaria (ANSF) ha emesso lo Standard Tecnico Nazionale relativo alle locomotive di manovra. Oltre ai nuovi prodotti, possono diventare locomotori di manovra anche i locomotori che presentino particolari caratteristiche tecniche e di sicurezza. Le modifiche devono essere realizzate da un'officina autorizzata e secondo un progetto da presentare al Verificatore Indipendente di Sicurezza e all'Agenzia stessa.

Tra gli standard tecnici vi sono le caratteristiche che obbligatoriamente devono avere i serbatoi del carburante, in particolare devono essere dotati di dispositivi di aerazione che evitino il traboccamento del carburante e prevengano la formazione di sovrappressioni; tutte le aperture del serbatoio del carburante devono essere situate al di sopra del massimo livello raggiungibile dal carburante.

Una volta che è stata rilasciata l'autorizzazione di messa in servizio, le locomotive da manovra, prima di essere operative, devono essere registrate nel RIN (Registro di Immatricolazione Nazionale). La registrazione deve essere effettuata nel rispetto di quanto previsto dalle “linee guida ANSF N. 01/2012 per la registrazione dei veicoli sui registri di immatricolazione nazionale” del 29/02/2012.

- **ANSF n. 1/2017 del 20/6/2017 - AMIS “Linee guida per il rilascio dell'autorizzazione di messa in servizio di veicoli e sottoinsiemi strutturali e dell'autorizzazione all'utilizzo di applicazioni generiche, prodotti generici e componenti”.**

Le linee guida stabiliscono i procedimenti tecnici, le condizioni e le attività da svolgere per il rilascio da parte di ANSF dei provvedimenti di autorizzazione fra i quali la messa in servizio di materiale rotabile e degli altri sottosistemi di natura strutturale nuovi o sostanzialmente modificati, non ancora oggetto di STI (Specifiche Tecniche di Interoperabilità) o parzialmente coperti dalle STI sulla base delle dichiarazioni di verifica CE e dei certificati di omologazione.

Tali linee guida stabiliscono:

- i riferimenti per la definizione della documentazione tecnica da produrre, lo scadenziario per la sua consegna e le modalità per la verifica e la valutazione di conformità ai requisiti richiesti per le autorizzazioni;
- le condizioni per il rilascio delle autorizzazioni all'effettuazione delle attività di installazione e prova finalizzate al rilascio dell'autorizzazione di messa in servizio;
- le condizioni per il rilascio delle autorizzazioni all'effettuazione di verifiche del funzionamento di prodotti generici o componenti, applicazioni generiche e prime specifiche, sottosistemi strutturali e veicoli in esercizio.

L'Agenzia autorizza la messa in servizio di sottosistemi strutturali soltanto se progettati, costruiti e installati in modo da soddisfare i pertinenti requisiti essenziali nel momento in cui siano integrati nel sistema ferroviario.

Ogniqualevolta sia previsto un intervento su un sottosistema strutturale o su un veicolo in esercizio spetta al richiedente stabilire la tipologia e l'entità della modifica da apportare.

Se si interviene sulla modifica ad un veicolo ferroviario è necessario applicare le linee guida per il rilascio dell'autorizzazione alla messa in servizio; nel paragrafo 7 si parla di Procedimenti tecnici, in particolare il paragrafo 7.2 "Messa in servizio di sottosistemi strutturali e di veicoli esistenti a seguito di modifica". Il caso oggetto del presente studio, consistente nella modifica del sistema di propulsione di un locomotore di manovra per adeguarlo all'alimentazione con GNL, è sicuramente inquadrabile come ristrutturazione, e richiede pertanto una nuova autorizzazione alla messa in servizio, secondo quanto specificato nel punto 4 del paragrafo 7.2.3. "Rinnovo o ristrutturazione che richiedono una nuova autorizzazione di messa in servizio"; rientrano in questa categoria le modifiche che comportano un cambiamento delle caratteristiche essenziali di progetto del sottosistema.

3. Stato dell'arte delle manovre ferroviarie all'interno dei porti nel territorio di cooperazione

Facendo esplicito riferimento agli ambiti territoriali del programma (Liguria, Toscana, PACA, Sardegna, Corsica), è stata avviata una consultazione presso le Autorità Portuali e le imprese ferroviarie che effettuano le manovre all'interno dei porti di Genova, Livorno, Cagliari, Tolone, Bastia.

Sono stati raccolte interessanti indicazioni sulla posizione di tali soggetti in relazione ad una potenziale graduale entrata in esercizio di locomotori di manovra alimentati a GNL, con particolare riferimento a specifici requisiti e vincoli alla base di eventuali scelte strategiche in tale direzione.

• Genova

All'interno delle aree del cosiddetto porto antico, di Sampierdarena e di Voltri (terminal PSA) le manovre ferroviarie vengono operate dalla società FuoriMuro - Servizi Portuali e Ferroviari S.r.l., che è altresì in grado di integrare, attraverso società legate allo stesso gruppo industriale, l'attività di manovra all'interno del porto con la trazione verso le realtà retroportuali, collegando Genova con i maggiori centri logistici e di consumo del Nord Italia e offrendo ai propri clienti un servizio completo, inclusivo del noleggio e della fornitura di carri e casse.

Per operare le manovre FuoriMuro impiega attualmente differenti tipi di motrice, in particolare alcuni esemplari LHB 530C, acquistati di seconda mano e retrofittati. Si tratta di un locomotore diesel di marca tedesca, fabbricato negli anni 60-70 dalla Linke-Hofmann-Busch, particolarmente adatto allo svolgimento delle attività di manovra. Nell'ambito del potenziamento e della modernizzazione della propria flotta, FuoriMuro disporrà a regime di una flotta di 25 motrici di questo tipo, e sarebbe quindi molto interessata a valutare le potenzialità di alimentazione di tali veicoli con GNL.



I punti di attenzione che FuoriMuro ritiene debbano essere approfonditi sono di varia natura:

- la valutazione della convenienza economica in termini di costi di esercizio: oggi il consumo medio di gasolio si aggira su 16 lt/h, che a fronte di una media di 6 h di operatività giornaliera su 200 gg/anno porta indicativamente ad un consumo di 20.000 lt. di gasolio/anno;
- la soluzione ingegneristica relativamente al posizionamento a bordo del serbatoio del gas, che considerati i vincoli di spazio porterebbe, in caso di alimentazione dual-fuel, alla necessità di ridurre la dimensione del serbatoio di gasolio;
- la logistica di approvvigionamento, tenendo conto che questi locomotori operano in aree limitate e tipicamente si ricoverano in alcuni punti fissi, nei quali potrebbero

essere installate le infrastrutture di ricarica; la soluzione ideale sarebbe quella dei containers modulari montati su semirimorchi dinamicamente posizionabili vicino ai locomotori, soluzione peraltro da compatibilizzare con le norme che attualmente non contemplano tale possibilità;

- un'altra possibile soluzione per assicurare l'approvvigionamento, da esaminare in dettaglio, potrebbe consistere nella costruzione di una stazione locale di liquefazione, posta all'interno del parco di manovra nella posizione più agevole e sicura, alimentata dalla rete gas; tale soluzione ridurrebbe decisamente l'esigenza di stoccaggio ed eliminerebbe completamente il problema di trasportare il metano liquefatto fino al punto di consegna.

- **Livorno**

All'interno del porto di Livorno le manovre vengono operate da Mercitalia Shunting & Terminal (MIST), ex Serfer, società del gruppo Ferrovie dello Stato Italiane; oltre a Livorno la società opera all'interno di molti altri scali italiani, fra i quali Savona e La Spezia. MIST ha acquisito da Mercitalia un parco di circa 130 locomotive di tipologia

molto disomogenea, ha quindi deciso di concentrarsi su tre modelli, precisamente D255, D245 e D214; l'attuale parco ammonta complessivamente a 90 veicoli. Tali veicoli vengono progressivamente revampati, in relazione sia alle componenti meccaniche che all'elettronica espressamente richiesta dalle normative vigenti, in particolare la ANSF 1/2015, per consentire l'operatività dei mezzi sulla rete nazionale. Tale attività di revamping è tutt'ora in corso,



potrebbe quindi esserci, in prospettiva, l'interesse di MIST a sperimentare l'attrezzaggio di uno di questi locomotori. Per quanto riguarda il tema della logistica di approvvigionamento, l'AdSP di Livorno non ha ancora definito dove posizionare il deposito GNL, che dovrà essere realizzato per assicurare il rifornimento delle navi alimentate a GNL che presto inizieranno ad operare nel Mediterraneo. In ogni caso, un'ipotesi operativa per assicurare il rifornimento di locomotori di manovra potrebbe essere quella di posizionare un contenitore criogenico mobile all'interno del parco di manovra, in una posizione adeguata e concordata con i Vigili del Fuoco, movimentando poi tale container fino al deposito per rifornirlo e riportarlo nello scalo ferroviario.

- **Cagliari**

Da una approfondita verifica con Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna è emerso chiaramente come il tema non sia di attualità nel contesto sardo, in quanto non esiste di fatto alcun servizio di trasporto merci nave-treno sull'isola, e di conseguenza nessun servizio di manovra ferroviaria nei principali porti di Cagliari e Olbia. Tutto il traffico merci all'interno dell'isola avviene su autocarro, mentre i collegamenti con il continente avvengono imbarcando direttamente i camion o i semirimorchi sui numerosi traghetti in servizio. Le uniche attività portuali merci sono

legate al transhipment nel porto canale di Cagliari, ovviamente di nessun impatto ai fini della presente tematica.

Una nota storica: fino a qualche decennio fa Golfo Aranci, dotato di un parco ferroviario di notevoli dimensioni, movimentava via ferro circa il 50% delle merci in entrata/uscita dalla Sardegna; in tale parco operavano grossi locomotori di manovra, oggi dismessi.

- **Tolone**

Nel Porto di Tolone è attualmente in costruzione il raccordo fra l'area portuale e la rete ferroviaria; l'entrata in servizio è prevista per il 2020. La Chambre de Commerce e de l'Industrie du VAR prevede di assegnare tale servizio ad una società privata. Si dichiarano interessati ad esaminare la possibilità di alimentare i locomotori di manovra con GNL in una prospettiva futura, non oggi in quanto non effettuano tali servizi.

- **Corsica**

Le due linee ferroviarie presenti in Corsica sono caratterizzate da un armamento a scartamento ridotto, il che implica di fatto l'impossibilità di sbarcare veicoli ferroviari provenienti dal continente adatti a linee a scartamento normale. E in effetti i soli servizi ferroviari svolti su tale linee sono di tipo passeggeri. Di conseguenza la tematica delle manovre ferroviarie nei vari porti della Corsica non è quindi di attualità, come confermato da Office des Transports de la Corse.

4. Caratteristiche dei locomotori usati per il case-study

Per sviluppare lo studio ingegneristico su fattibilità, soluzioni tecniche e valutazione budgettaria dei costi legati alla metanizzazione di un locomotore da manovra con carburante GNL, si è scelto di procedere su un case-study concreto, per dare maggiore confidenza e concretezza sui risultati ottenuti.

La scelta del case-study è ricaduta sui locomotori LHB 530C di proprietà di Fuorimuro di Genova, grazie al forte interessamento di tale società nello studio e la conseguente disponibilità a supportare e fornire utili suggerimenti nelle varie fasi di sviluppo dell'attività.

Come già accennato nel precedente capitolo, FuoriMuro ha scelto di rimodernare la propria flotta di locomotori da manovra, utilizzati in particolare all'interno del porto di Genova, acquistando numerose motrici LHB 530C usate e retrofittandole presso le proprie officine.

Nelle immagini seguenti è possibile vedere:

- una prima locomotiva appena giunta dalla Germania prima dell'intervento di refitting,
- una seconda locomotiva in lavorazione all'interno dell'officina di FuoriMuro
- una terza locomotiva perfettamente ristrutturata ed operativa all'interno dell'area portuale.



Nel corso di un approfondito sopralluogo svoltosi presso l'officina di FuoriMuro, al quale ha partecipato anche la Società Ecomotive-Solutions specializzata nella costruzione e nel retrofitting di motori a gas liquefatto per veicoli industriali, sono stati raccolti gli elementi utili alla successiva fase di definizione e dimensionamento della nuova soluzione.



La motorizzazione preesistente su tali macchine è costituita da un motore MTU modello 6V396, le cui caratteristiche salienti sono riportate di seguito:

- Marca: MTU
- Modello: 6V396
- Alimentazione: Diesel
- Sovralimentazione: Biturbo
- N° cilindri: 6 a V
- Potenza max nominale (vuoto): 525 kW a 1800 giri/min
- Potenza effettiva: 465 kW a 1680 giri/min
- Velocità max rotazione: 1932 giri/min a vuoto
- Velocità nominale al minimo: 750 giri/min con erogazione di 60 kW
- Peso: 2300 kg c.a.

- Consumo di carburante: 220 g/kwh
- Consumo medio di carburante in esercizio: 16 litri di gasolio/ora
- Capacità dell'attuale serbatoio di gasolio: 1300 litri

Le immagini seguenti si riferiscono al motore MTU 6V396 smontato, in fase di lavorazione al banco.



5. Analisi di differenti soluzioni tecniche di refitting dei locomotori

Dall'esame della letteratura e delle esperienze sviluppate in altri contesti, sono emersi chiaramente i quattro possibili approcci al tema della metanizzazione di locomotive diesel:

- la conversione del preesistente motore diesel in:
 - [a] un motore tutto GNL;
 - [b] un motore dual-fuel disel/GNL;
- la completa sostituzione del preesistente motore diesel con:
 - [c] un motore tutto GNL;
 - [d] un motore dual-fuel disel/GNL.

Ciascuna soluzione presenta elementi positivi e negativi, ed è impossibile stabilire a priori quale sia la scelta ottimale, ma è necessario calarla di volta in volta sul caso specifico che viene considerato.

Alcuni elementi generali possono essere presi a riferimento:

- dal punto di vista del costo di investimento, le soluzioni [c] e [d] che prevedono la sostituzione completa del motore preesistente presentano un costo superiore rispetto alle soluzioni [a] e [b] che prevedono la sola trasformazione del motore preesistente;
- la riduzione di emissioni e di rumore è decisamente più rilevante nei casi [a] e [c] con motorizzazione 100% GNL rispetto ai casi [b] e [d] con alimentazione doppia;
- anche la riduzione nei consumi risulta più elevata nei casi [a] e [c] con motorizzazione 100% GNL rispetto ai casi [b] e [d] con alimentazione doppia, questo perché le caratteristiche del GNL risultano più idonee per un motore a ciclo Otto rispetto ad un motore a ciclo diesel;
- la complessità dell'intervento risulta più elevata, ma la messa a punto presenta sicuramente minori incognite, nei casi [c] e [d] di sostituzione con un nuovo motore rispetto ai casi [a] e [b] di trasformazione del motore preesistente;
- infine la flessibilità operativa, che favorisce le soluzioni [b] e [d] dual-fuel rispetto alle soluzioni [a] e [c].

Nel seguito sono riportate le casistiche esaminate nell'ambito del case-study sviluppato sui locomotori LHB 530C precedentemente descritti.

5.1 Soluzione mista dual-fuel

La trasformazione di un motore diesel in un motore dual-fuel, che consente la alimentazione mista attraverso sia il gasolio che il metano, risulta relativamente semplice, in quanto lascia pressochè inalterata la struttura del motore, con l'aggiunta di un carburatore che introduce nelle camere di combustione una miscela aria/gas, incendiata al momento opportuno dall'iniezione di una piccola dose di gasolio, che accendendosi spontaneamente permette al resto della carica di bruciare, conservando sostanzialmente un funzionamento in ciclo diesel.

Questa soluzione presenta alcuni elementi di indubbio vantaggio:

- la trasformazione del motore è più semplice e meno costosa rispetto alla trasformazione da ciclo diesel a ciclo otto, che è più radicale ed è in pratica irreversibile;
- consente di sostituire gasolio con metano senza stravolgere l'architettura del motore;
- si avvale del più elevato rendimento del ciclo diesel rispetto al ciclo otto, anche se in dual-fuel non si tratta esattamente dello stesso ciclo diesel seguito dal motore originale in funzionamento a gasolio;
- offre alta flessibilità operativa: se ciò è previsto in sede progettuale all'atto della trasformazione, il motore può tornare al funzionamento a solo gasolio in qualsiasi momento, ad esempio nel caso vi siano carenze nella rete di distribuzione del metano;
- consente l'abbattimento delle emissioni di particolato (anche oltre il 60% rispetto all'alimentazione tradizionale), e la riduzione delle emissioni di anidride carbonica (10 - 15%);
- offre i vantaggi economici legati alla differenza di prezzo tra gasolio e metano.

Vi sono peraltro alcune negatività, che limitano la concreta applicabilità di tale approccio, e di fatto hanno portato ad una maggiore affermazione sul mercato delle soluzioni tutto metano:

- il grado di sostituzione di gasolio con metano giunge al suo valore massimo (di norma 80-85%) soltanto quando il motore funziona a pieno carico, e la percentuale di gasolio iniettato ad ogni ciclo di combustione è la minima necessaria per l'innescio del processo (15-20%); nei regimi transitori e ai carichi bassi, la quantità di gasolio iniettato tende a rimanere costante, o comunque non cala in proporzione alla diminuzione del carico, e quindi la sua percentuale sul carburante consumato totalmente dal motore cresce, riducendo sensibilmente i benefici in termini di riduzione dei costi di esercizio e di abbattimento delle emissioni;
- la completa combustione simultanea di due carburanti molto diversi fra loro all'interno della stessa aria comburente, determina un peggioramento nella qualità dei fumi di scarico, costringendo l'introduzione di dispositivi di post trattamento degli stessi;
- c'è la necessità di mantenere a bordo del veicolo entrambi i sistemi di alimentazione, con conseguente maggiore complessità impiantistica;
- a seconda dei vincoli dimensionali imposti dal veicolo, può risultare difficoltoso far convivere i due serbatoi di GNL e di gasolio, sacrificandone le dimensioni e quindi la capacità;
- vi è infine una maggiore complessità del sistema di regolazione.

Partendo da questi elementi, e calandoli sul caso specifico dei locomotori di manovra e delle loro caratteristiche normali di impiego, si è valutato come una soluzione dual-fuel, ancorchè meno costosa dal punto di vista dell'investimento iniziale, non porterebbe significativi risparmi nei costi di gestione e inciderebbe in misura limitata sul beneficio ambientale.

Si è pertanto scelto, con il supporto sia dei tecnici di FuoriMuro che della Società Ecomotive Solution, di non approfondire ulteriormente tale possibilità, concentrandosi direttamente su una soluzione tutto metano.

5.2 Conversione del motore originale da ciclo Diesel a ciclo Otto Metano

In questa ipotesi progettuale il motore Diesel prodotto da MTU, montato attualmente sul locomotore di manovra, verrebbe convertito per l'utilizzo di metano e biometano come unico carburante alternativo. In particolare, il metano che potrà essere impiegato per alimentare il locomotore dopo la conversione potrà essere di tipo compresso CNG, o liquefatto GNL.

La conversione del motore da ciclo Diesel a ciclo Otto per uso di Metano comporta una serie di interventi sulla meccanica e sull'impianto elettrico del veicolo; i più rilevanti vengono di seguito elencati:

interventi meccanici

- rimozione dell'alimentazione diesel del motore (pompa, iniettori, tubazioni , cavi elettrici, ecc.)
- smontaggio dell'impianto di scarico e del turbocompressore
- smontaggio del condotto di aspirazione
- smontaggio della testata
- smontaggio di bielle e pistoni mediante rimozione della coppa dell'olio
- cambio dell'olio motore sia nella coppa che nel serbatoio aggiuntivo

- marcatura sul volano dei punti di lettura del sensore di fase
- smontaggio e modifica del supporto del filtro dell'aria
- smontaggio e modifica della tubazione di aspirazione del turbocompressore con inserimento del gruppo di miscelazione del gas
- realizzazione e montaggio di tappi sulla testata sui vani di passaggio del gasolio, dei cavi degli iniettori e del vano pompa del gasolio
- lavorazione culatta testata
- sostituzione sedi valvole e valvole di scarico
- lavorazione airbox testata
- lavorazione pistoni
- lavorazione bielle
- realizzazione e montaggio di canotti in bronzo per ricavare il vano candela
- riassetto di bielle-pistoni e testata con sostituzione delle guarnizioni
- smontaggio e modifica della turbina
- installazione della farfalla di potenza sull'aspirazione
- realizzazione e montaggio di canotti in alluminio passa parete per le pipette delle candele
- sostituzione del coperchio punterie e lavorazione dello stesso per ospitare i canotti passa parete
- realizzazione della staffa di supporto bobine con silent block
- installazione di candele, cavi candele, bobine
- installazione della sonda lambda sul tubo di scarico
- foratura collettori di scarico per l'installazione delle termocoppie
- realizzazione carter di riparo dal calore del gruppo miscelatore
- realizzazione e montaggio di tubazione flangiata per l'ingresso del gas

interventi elettrici ed elettronici

- installazione di quadro gestione motore
- rimozione della centralina Diesel e parte dell'impianto elettrico
- installazione di centraline Gas ECU
- installazione di converter per la centralina
- realizzazione di cablaggio interno al quadro
- sostituzione del cablaggio motore diesel
- realizzazione di cablaggio con connettori bobine
- realizzazione di cablaggio stop livello olio
- programmazione delle centraline ECU

Come si può comprendere dall'elenco, peraltro non esaustivo, degli interventi richiesti, la conversione presenta una significativa complessità, ed è facile immaginare come le successive fasi di tuning e di funzionamento prototipale richiedano parecchio tempo e possano presentare delle incognite.

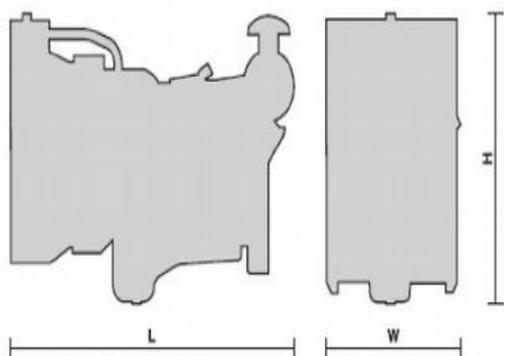
5.3 Installazione sul locomotore di un nuovo motore CURSOR16 100% metano

L'ipotesi progettuale alternativa presa in considerazione consiste nella completa sostituzione del motore attualmente presente sul locomotore con uno di nuova generazione, che nasce già come 100% metano.

E' stato in particolare preso a riferimento il motore ESC16MF, definito come "Spark Ignited Multi Fuel", proposto dalla soc. Ecomotiv Solutions, basato sul motore CURSOR16 prodotto su FTP.

Questa soluzione non è ovviamente l'unica, esistono altri produttori in grado di proporre soluzioni altrettanto valide; nella prospettiva di una concreta applicazione industriale, fuori dallo scopo del presente studio, un'indagine più approfondita su questo aspetto andrebbe sicuramente fatta.

CURSOR16 è un motore a gas multi-combustibile: può infatti essere alimentato da differenti tipologie di combustibili alternativi, in particolare gas naturale, biometano, syngas (gas di sintesi), GPL.



Vengono di seguito elencate le principali caratteristiche della versione ESC16MF (NG), configurato per la sola alimentazione a gas naturale (come dice la stessa sigla NG):

- numero di cilindri: 6
- sequenza di accensione: 1-4-2-6-3-5
- disposizione dei cilindri in linea
- valvole per cilindro 4
- ciclo stechiometrico
- accensione comandata 4 tempi
- sistema di iniezione Electronic fuel mixer
- unità di controllo elettronico Ecomotive Solutions SYNSPARK16
- rapporto di compressione 10,5 : 1
- rotazione del volano antioraria
- volano 14"
- prestazioni a 1500 rpm
 - potenza continua 350 kW
 - potenza principale 400 kW
 - potenza in stand-by 450 kW
 - consumo della ventola 15 kW
- dimensioni 2353 mm (L) x 1114 mm (W) x 1605 mm (H)
- peso a secco kg 1450

I consumi, in alcune tipiche condizioni di esercizio, sono riportati nella tabella seguente:

Carico	Potenza impiegata	N. giri	Consumo specifico	Consumo orario
100%	400 kW/h	1800 rpm	200 g/kWh	80 kg/h

80%	320 kW/h	1800 rpm	200 g/kWh	64 kg/h
50%	200 kW/h	1800 rpm	205 g/kWh	41 kg/h

I suddetti valori si riferiscono ai seguenti parametri di riferimento del gas: T 0 °C, Pa 1 Atm

Appare evidente come la soluzione consistente nella rimozione del motore preesistente e sua sostituzione con un motore nuovo, nel caso specifico tutto a gas, risulti decisamente più semplice rispetto a quella della conversione, in quanto impiega un motore standard, già collaudato ed operativo in svariate applicazioni industriali; è quindi logico attendersi che il processo di messa a punto e di verifica del prototipo presenti minori incognite e quindi richieda uno sforzo decisamente inferiore.

5.4 Possibili alternative di motorizzazione

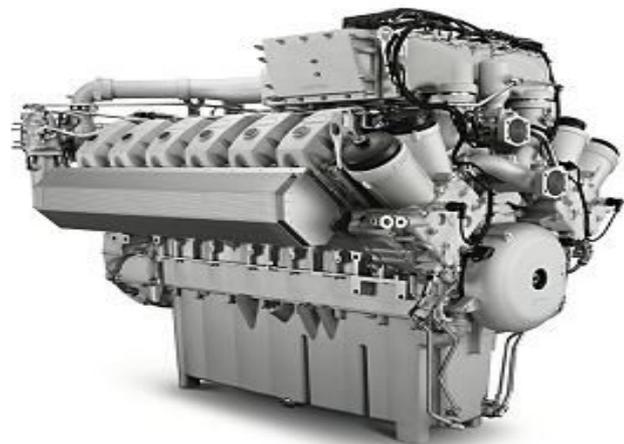
La motorizzazione CURSOR16 presa a riferimento non è certo l'unica possibile, esistono vari produttori in grado di proporre soluzioni altrettanto valide. Nell'ambito del presente studio non è possibile fare un'analisi dettagliata su questo aspetto, comparando caratteristiche prestazioni e prezzi delle varie soluzioni; è però possibile dare un panorama sintetico di alcune fra le possibili soluzioni.

Va comunque rilevato come il mercato di motori a GNL per le applicazioni ferroviario sia attualmente inesistente, in quanto le poche realizzazioni ad oggi attive hanno carattere prototipale e sono lontane da una caratterizzazione industriale. L'unico approccio possibile è dunque quello di prendere in considerazione motori nati per altre applicazioni industriali, che potrebbero essere impiegati in ambito ferroviario a fronte di eventuali modifiche di lieve entità.

MAN E3262 LE202

Questo motore, progettato espressamente per il funzionamento a gas, è un 4 tempi 12 cilindri di tipo spark-ignition, presenta una potenza di 580 kW, quindi un po' superiore a quella del Cursor16, a fronte di dimensioni abbastanza simili (L=1748, W=1243, h=1500).

Il suo impiego potrebbe essere interessante nell'ottica di una concreta sperimentazione per dotare il locomotore di una potenza superiore rispetto ad oggi, condizione che potrebbe risultare utile nella prospettiva dell'adeguamento allo standard europeo (750 mt) della lunghezza dei treni da movimentare ed il conseguente aumento di peso.



PERKINS 4012TESI

Questo motore prodotto da Perkins, società controllata da Caterpillar, fa parte della famiglia Serie 4000, una vasta gamma di motori a gas da 6, 8, 12 e 16 cilindri.

Il modello 4012TESI è un 12 cilindri 4 tempi, è caratterizzato da una potenza di 632 kW ed ha caratteristiche dimensionali L=2680, W=1880, H=1890.

Si tratta di caratteristiche molto simili a quelle del motore precedente, potrebbe quindi costituirne una valida alternativa.



MITSUBISHI GS12R-MPTK

Questo motore è normalmente utilizzato in applicazioni navali, ma si ritiene che con qualche eventuale adattamento potrebbe essere installato a bordo di un locomotore. Come i precedenti è un 12 cilindri 4 tempi, ed ha una potenza di 722 kW a 1500 giri. Le dimensioni L=2421, W=1832, H=2137 sono del tutto simili a quelle dei motori precedenti.



GUASCOR SFGLD360

Questo motore è fabbricato da GUASCOR, società specializzata nella progettazione e costruzione di motori a gas, facente parte del gruppo SIEMENS - DRESSER-RAND. Ha caratteristiche del tutto simili ai precedenti: 12 cilindri 4 tempi, una potenza di 700 kW a 1800 giri, dimensioni L=2637, W=1664, H=1738.



5.5 Elementi aggiuntivi conseguenti al cambio di motorizzazione

La definizione completa di tutti i componenti che devono essere installati a corollario del nuovo motore per dare piena operatività al tutto risulta impossibile allo stato

attuale, in quanto necessita un progetto esecutivo di dettaglio che esula dagli obiettivi del presente studio.

E' però possibile elencare le principali componenti, utili a caratterizzare l'intervento ed anche a fornire elementi di natura economica per la valutazione budgettaria dei costi.

- serbatoio/i criogenico per il contenimento del GNL: in questa fase si ipotizziamo 1-2 serbatoi da 450 litri diametro 650 mm lunghezza 2000 mm c.a.;
- linee di interconnessione motore in acciaio INOX AISI316 conformate su misura con set raccordi per sistemi criogenici;
- cablaggio interfacciamento motore dedicato;
- sistema di monitoraggio GPS/GPRS;
- staffe, canalizzazioni e fittings meccanici per l'installazione dell'impianto;
- sistemi di sicurezza aggiuntivi, da valutare anche in funzione del processo di omologazione.

5.6 Omologazione AMIS da parte di ANSF

Come già accennato in precedenza, una locomotiva con motorizzazione GNL deve ottenere l'autorizzazione alla messa in servizio per poter essere utilizzata sulla rete ferroviaria, nel rispetto delle linee guida previste dalla già citata normativa AMIS "Messa in Servizio di sottosistemi strutturali e di veicoli esistenti a seguito di modifica". In particolare, la messa in servizio a seguito di modifica è disciplinata dal paragrafo 7.2; quella in esame, consistente nella trasformazione del sistema di propulsione di un locomotore da manovra da diesel a GNL, è sicuramente inquadrabile come ristrutturazione, richiede una nuova autorizzazione alla messa in servizio e rientra nel punto 4 del paragrafo 7.2.3 "Modifica".

I passi operativi che caratterizzano il percorso di omologazione sono essenzialmente i seguenti:

1. Il primo passo è quello di fornire all'Agenzia un fascicolo con la descrizione del progetto; tale fascicolo dovrà consentire di definire / delimitare in maniera univoca il sottosistema oggetto di intervento. Il contenuto minimale del fascicolo è riportato al paragrafo 7.2.3 delle linee guida, ed è opportuno che lo stesso sia approvato preventivamente da un VIS (Verificatori Indipendenti di Sicurezza). Tale fascicolo dovrà comprendere:
 - una relazione descrittiva che dovrà:
 - essere contestualizzata alla singola fase da attivare e, nel caso di interventi complessi che coinvolgono più sottoinsiemi strutturali, presentare sezioni testuali distinte per ciascuno di essi;
 - indicare con chiarezza la tipologia di intervento sul sottosistema esistente;
 - evidenziare un confronto fra la configurazione attuale e quella di progetto, utile ad individuare la portata delle modifiche introdotte;
 - ove applicabile, essere corredata da elaborati grafici tali da rendere evidenti le caratteristiche tipologiche, spaziali, funzionali e tecnologiche del sottosistema;
 - l'elenco delle norme di riferimento;
 - un'analisi preliminare del rischio, che evidenzii l'eventuale impatto sulla sicurezza e la rilevanza o meno dell'intervento descritto.

2. Al momento del ricevimento del fascicolo, l'Agenzia ha quattro mesi di tempo per decidere se l'importanza dei lavori giustifichi la necessità di una nuova AMIS; che nel caso specifico è facile prevedere che la nuova AMIS sarà richiesta.

Da questo punto parte la pratica di ottenimento dell'AMIS come descritto al capitolo 8 delle linee guida "Procedura di autorizzazione di messa in servizio di tipi di veicoli":

3. Deve essere inviata una richiesta all'Agenzia corredata di una documentazione preliminare; entro un mese dal ricevimento della richiesta da parte del richiedente, l'ANSF convocherà una riunione con il richiedente e gli organismi di valutazione da esso incaricati. In tale sede il richiedente effettuerà una presentazione della documentazione allegata alla richiesta. Tale documentazione preliminare deve contenere:
 - relazione descrittiva del veicolo riportante il profilo di missione del veicolo, la configurazione da autorizzare, le sue caratteristiche tecniche generali e l'eventuale ambito di utilizzazione;
 - richiesta di accesso al sistema ERATV (European Register of Authorised Types of Vehicle) per un rappresentante del richiedente individuato come responsabile per l'inserimento dei dati tecnici di competenza relativi al tipo di veicolo;
 - lista di riferimento delle specifiche e norme tecniche che il richiedente intende utilizzare durante l'intero iter autorizzativo per la dimostrazione della conformità del veicolo ai requisiti previsti per il rilascio dell'autorizzazione;
 - programma di massima per lo svolgimento delle attività previste nel processo di autorizzazione nel quale siano contenuti i tempi e le modalità con cui il richiedente intende affrontare le fasi del processo autorizzativo.
4. Entro tre mesi dalla data della precedente presentazione l'Agenzia comunica le eventuali integrazioni e modifiche da apportare alla documentazione proposta e l'utenza ERATV (ERATV Auxiliary User) creata per il rappresentante i cui dati sono stati forniti a corredo della richiesta di avvio del procedimento tecnico. Una volta creata l'utenza, l'ERATV Auxiliary User del richiedente può provvedere all'inserimento nella banca dati ERATV, mediante l'accesso via web (<http://eratv.era.europa.eu/eratv>), dei dati tecnici di competenza del richiedente relativi al tipo di veicolo.
5. Entro tre mesi dalla comunicazione dell'Agenzia il richiedente deve integrare la documentazione come richiesto.
6. Al termine della attività di definizione della documentazione preliminare, il richiedente, con riferimento al programma concordato, può procedere all'invio della documentazione tecnica secondo quanto previsto dal piano della documentazione.
7. Segue infine l'attività delle prove che, questa volta necessariamente, coinvolgerà un VIS così come descritto ai paragrafi 8.3 "Autorizzazione temporanea all'esecuzione delle prove in linea" e 8.4 "Effettuazione di prove in linea" delle Linee Guida; è facoltà dell'Agenzia presenziare l'effettuazione delle prove mediante propri rappresentanti.
8. Al termine del processo, una volta bonificato all'Agenzia quanto previsto e riportato nel decreto 5/2011 del 31 marzo 2011, quest'ultima rilascia una AMIS, che può essere temporanea, così come previsto al paragrafo 8.6.1, se ci sono delle non conformità, o definitiva in caso di mancanza di non conformità. In particolare, nel caso in cui il veicolo non soddisfi pienamente i requisiti di sicurezza definiti dagli standard tecnici ad esso applicabili (non conformità), la AMIS contiene idonee misure mitigative, comprensive anche di un monitoraggio in esercizio del veicolo stesso.

9. Le eventuali non conformità devono essere eliminate dal richiedente entro tempi congrui definiti dall'Agenzia; l'evidenza della loro risoluzione deve essere fornita all'Agenzia entro e non oltre i 30 giorni solari antecedenti la data di scadenza dell'autorizzazione temporanea rilasciata, per consentire la propoga del periodo di validità o l'aggiornamento.
10. La risoluzione di tutte le non conformità comporta l'emissione/aggiornamento di un'autorizzazione di messa in servizio senza prescrizioni; con questo passaggio si può considerare chiuso l'iter di omologazione.

6. Impatto dell'intervento su emissioni, prestazioni, consumi

La scelta di convertire l'alimentazione dei locomotori da manovra da diesel a GNL, al di là della valutazione sulla scelta tecnica ottimale, implica una serie di impatti rilevanti dal punto di vista della sostenibilità dell'intervento, in termini di costi diretti per l'operatore, legati alle prestazioni e più in generale all'esercizio del nuovo mezzo, e indiretti in termini di riduzione dell'esternalità legata all'ambiente.

Dall'analisi svolta nei precedenti paragrafi appare evidente come l'utilizzo del GNL in ambito ferroviario sia ancora allo stato sperimentale: le poche realizzazioni ad oggi esistenti hanno carattere prototipale e non è quindi possibile ricavare dalla letteratura valutazioni mirate e consolidate su tali impatti.

Ben diversa è la situazione parlando dell'uso nel GNL nell'ambito della trazione stradale, dove ormai da molti anni, e in altre nazioni più che in Italia, un gran numero di autocarri monta motori alimentati a GNL. Nel caso stradale le valutazioni presenti in letteratura sugli impatti sono numerose e sono suffragate da riscontri oggettivi provenienti dal campo; tali valutazioni possono essere prese a riferimento anche per il caso ferroviario, considerando che i due contesti operativi non sono troppo dissimili fra loro.

6.1 Impatto ambientale

Tutti gli studi relativi all'impatto ambientale derivante dall'uso del GNL mostrano rilevanti benefici se rapportati alla tradizionale alimentazione diesel:

- riduzione della contaminazione acustica;
- riduzione delle emissioni di gas inquinanti e dell'effetto serra.

Le emissioni di NO_x, di particelle, di monossido e di biossido di carbonio sono ridotte al minimo; l'anidride solforosa è quasi completamente assente, poiché il gas naturale non contiene né piombo né tracce di metalli pesanti.

Relativamente all'uso dei motori a GNL nella trazione stradale, i dati che generalmente si trovano in letteratura, e discostano nei vari studi per pochi punti percentuali di differenza, indicano i seguenti abbattimenti nel confronto diesel-GNL relativamente al caso stradale:

- CO₂: 20-30%
- CO: 70-90%
- SO₂: 99%
- NO_x: 70-90%
- particelle: 90%
- composti organici volatili: 90%

Nel citato progetto CEF CORE LNGas viene riportata una valutazione tratta da specifici studi sull'ambito ferroviario, che indicano le seguenti riduzioni:

- CO₂: 20%
- NO_x: 70%
- CO: 70%
- particelle: >70%

Come si può vedere, i dati nei due casi stradale e ferroviario sono molto simili fra loro. Altri dati, sempre tratti dal suddetto progetto, forniscono una generica quantificazione del risparmio in termini ambientali. Vengono presi a riferimento i dati relativi alle emissioni tipiche di un locomotore diesel:

- CO₂: 700 g/Km
- NO_x: 9 g/km
- PM: 0,3 g/km

In termini assoluti le riduzioni ottenibili sono quindi:

- CO₂: 140 g/km
- NO_x: 6,3 g/km
- PM: 0,2 g/km

Moltiplicando tali dati per la percorrenza media giornaliera di un locomotore, si può ottenere un'indicazione sull'abbattimento in valore assoluto dei più significativi inquinanti a seguito della conversione gasolio>>>GNL.

A titolo meramente esemplificativo si riportano nella figura seguente i risultati delle simulazioni effettuate dal Institut Cerdà di Barcellona, relative al previsto abbattimento di CO₂, NO_x e PM in caso di metanizzazione della flotta di locomotori operanti all'interno del porto di Tarragona, calcolato su un'arco di 30 anni.



6.2 Prestazioni e costi di esercizio

Analogamente a quanto discusso nel paragrafo precedente, non essendo disponibili in letteratura valutazioni consolidate sulle prestazioni ottenibili, e soprattutto sui costi di gestione di un locomotore convertito a GNL, è possibile impostare alcuni calcoli utili a dare almeno delle indicazioni generali.

Per valutare le prestazioni si può partire dal dato relativo all'energia prodotta per unità di massa, più elevata per il metano (13 kWh/kg) rispetto al gasolio (11 kWh/kg). Occorre poi tenere conto del rendimento medio di un motore, che si traduce nell'energia trasferibile sull'albero di trasmissione: nel caso del motore a ciclo diesel si considera mediamente un rendimento del 44%, mentre nel caso di un motore a ciclo otto con rapporto di compressione elevato (come ottenibile utilizzando metano) si può arrivare fino a un rendimento del 40%. Considerando infine il peso specifico del gasolio (800 Kg/m³) e del metano liquido (c.a. 500 Kg/m³) è infine possibile calcolare l'energia utile per la trazione ottenibile da un litro di carburante.

Nella tabella che segue sono riportati i suddetti conteggi, che indicano una maggiore resa per litro di carburante nel caso del gasolio (3,9 kWh/lt) rispetto al caso del GNL (2,6 kWh/lt).

	GASOLIO (ciclo diesel)	METANO (ciclo otto)
Energia prodotta per unità di massa	11 kWh/kg	13 kWh/kg
Rendimento motore a ciclo variabile	44%	40%
Energia convertibile dal motore sull'albero / kg	4,8 kWh/kg	5,2 kWh/kg
Peso specifico	800 Kg/m ³	500 Kg/m ³
Energia convertibile dal motore sull'albero / lt	3,9 kWh/lt	2,6 kWh/lt

I dati riportati in tabella sono orientativi; valutazioni precise si possono ottenere soltanto analizzando puntualmente i carburanti e le prestazioni dei motori specifici.

Passando alla valutazione dei costi di esercizio, questi risultano differenti da nazione a nazione in funzione dei costi del carburante, che come noto ha regimi di tassazione fortemente diversi, ivi compreso, vedi caso italiano, il recupero delle accise per determinati tipi di utilizzo.

Da alcuni sondaggi fatti presso gli operatori del settore, una ragionevole stima dell'attuale costo netto in Italia può essere fatta sulla base di 1 €/lt per il gasolio e di 0,5 €/lt per il GNL. Combinando quindi questa valutazione con il dato relativo all'energia utile per litro ricavato in precedenza, si può concludere, come riportato nella tabella sottostante, che il costo per kWh nel caso del GNL è di circa il 25% inferiore rispetto al gasolio. Questa valutazione è solo tendenziale, richiederebbe ulteriori approfondimenti che tengano anche conto sia dei volumi di consumo (e quindi delle condizioni commerciali di acquisto più favorevoli), che dei prevedibili trend di variazione dei costi del carburante nel prossimo futuro.

	GASOLIO (ciclo diesel)	METANO (ciclo otto)
Energia convertibile dal motore sull'albero / lt	3,9 kWh/lt	2,6 kWh/lt
Litri di carburante/kWh	0,26	0,38
Costo indicativo carburante	1 €/lt	0,5 €/lt
Costo indicativo / kWh	0,26 €	0,19 €
Risparmio stimato nella conversione diesel>>>GNL	c.a. 25%	

A titolo di mero esercizio, è interessante parametrare tali valori sui dati di consumi indicati da Fuorimuro per i propri locomotori:

- consumo medio di gasolio durante l'esercizio: 16 lt/h
- operatività media giornaliera: 6 h
- operatività media annuale: 200 giorni
- consumo medio annuale/locomotore: 20.000 litri di gasolio
- costo di acquisto carburante: 20.000 €/anno/locomotore.

In base alle precedenti stime economiche, si può ipotizzare almeno a livello indicativo che la conversione da gasolio a GNL potrebbe portare all'abbattimento di tale costo di acquisto da 20.000 a 15.000 €/anno/locomotore.

7.Valutazioni economiche dell'investimento di retrofitting

Le valutazioni che sono state possibili in questa fase dello studio sono forzatamente budgettarie ed indicative, e partono dalle indicazioni fornite dalla società Ecomotive Solutions. E' ovvio che quando si decidesse di procedere con una realizzazione prototipale sarebbe preventivamente necessaria una più approfondita analisi delle soluzioni offerte sul mercato da parte di differenti costruttori, sia per ottimizzare la soluzione tecnica che per definire con maggiore precisione i costi complessivi dell'intervento.

Le presenti valutazioni sono tuttavia utili per fornire un primo quadro dell'impatto economico che l'intervento di metanizzazione delle motrici di manovra potrebbe richiedere.

- Conversione del motore da ciclo Diesel a ciclo Otto Metano: 60.000 euro + iva
- Fornitura del motore ESC16MF-NG: 70.000 euro + iva
- In alternativa: noleggio del motore ESC16MF-NG per il periodo minimo di 6 mesi di test, riscattabile o riconsegnabile alla fine di tale periodo: 6.000 euro/mese oltre iva
- Serbatoio criogenico: 15.000 euro + iva
- Materiali vari: 10.000-15.000 euro + iva
- Sviluppo e test preliminare a banco, previsti indicativamente 10 giorni lavorativi: 10.000 euro +iva
- Installazione, previsti indicativamente 10 giorni lavorativi: 10.000 euro +iva
- Test e collaudo, previsti indicativamente 10-15 giorni lavorativi: 10.000 - 15.000 euro + iva

Occorre inoltre tenere presente il costo una-tantum, legato alla omologazione della testa di serie del locomotore con la nuova motorizzazione a GNL. Non è stato possibile fare una valutazione precisa, anche perché non si tratta della omologazione completa di una nuova macchina, bensì della sola omologazione della motorizzazione su una macchina già precedentemente omologata. Da alcune indicazioni ricavate da esperti del settore si può stimare tale costo una-tantum fra 80.000 e 100.000 euro.

8. Considerazioni sulla rete di ricarica.

La disponibilità di un'adeguata struttura di rifornimento del GNL all'interno dell'area portuale costituisce una condizione imprescindibile per la fattibilità del progetto di metanizzazione dei locomotori di manovra, sia in una fase di prototipazione che a maggior ragione in caso di implementazione a regime.

Esistono di fatto due possibilità: o si dispone di una stazione di stoccaggio GNL a livello portuale, finalizzata al rifornimento delle navi ma dalla quale potrebbe anche essere ricavato il gas destinato a servizi portuali ausiliari quali appunto i locomotori da manovra, oppure occorre prevedere un sistema di rifornimento autonomo alimentato con serbatoi mobili provenienti da altre sorgenti nazionali o estere.

Il tema della stazione di stoccaggio del GNL all'interno del porto di Genova è da tempo all'esame della AdSP del Mar Ligure Occidentale, in quanto molti armatori si stanno orientando verso questa modalità di alimentazione della propria flotta, per ottemperare alle disposizioni internazionali sull'abbattimento delle emissioni inquinanti. La soluzione è molto complessa e condizionata da vari fattori strutturali del porto, primo fra tutti la estrema vicinanza delle aree portuali agli insediamenti abitativi urbani, che rende difficoltoso il rispetto delle normative di sicurezza e al tempo stesso incontra la contrarietà dei residenti. Ad oggi sono state esaminate alcune possibili collocazioni per un deposito per lo stoccaggio di GNL: l'area ex-Ilva di Cornigliano, il Porto Petroli a Multedo, la nuova diga foranea, Voltri. Peraltro in ciascuno di queste siti sorgono specifiche problematiche, non ultimo il cono di atterraggio aeroportuale, che non hanno ad oggi consentito di giungere ad una conclusione. E' stato preso in considerazione anche il Reefer Terminal di Savona Vado, che ovviamente comporterebbe qualche costo aggiuntivo legato al maggior spostamento richiesto alle bettoline.

In assenza di tale infrastruttura portuale, occorre prevedere un sistema autonomo di rifornimento, che potrebbe essere realizzato con due differenti modalità:

- un serbatoio locale di GNL, ubicato presso il parco all'interno del quale operano i locomotori di manovra, rifornito periodicamente da una autobotte, esattamente come avviene per il caso dei distributori stradali;
- un container criogenico mobile, posizionabile presso l'area di manovra dei locomotori, da sostituire una volta vuoto con un altro pieno.

La seconda soluzione appare sicuramente più rapida da realizzare, in quanto non richiede la costruzione di alcuna infrastruttura fissa, e più flessibile da gestire, in quanto consente eventuali cambi di posizionamento nel tempo a seguito di specifiche esigenze. Peraltro, in base alle circolari dei Vigili del Fuoco illustrate nei precedenti paragrafi, parrebbe che ad oggi questa modalità non sia normata, e quindi non immediatamente attuabile.

Nell'ottica di una auspicabile realizzazione prototipale, l'aspetto della modalità di rifornimento andrebbe attentamente analizzato con Autorità di Sistema Portuale e Vigili del Fuoco, al fine di identificare la migliore soluzione nel rispetto delle normative vigenti.

9. Contatti e ringraziamenti

- Roberto Bertuccelli - Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna
- Jean-Christophe Barbagelata - Chambre de Commerce e de l'Industrie du VAR
- Josè Bassu - Office de Transport de la Corse
- Ivano Toni - Autorità di sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
- Matteo Pistolesi - Mercitalia Shunting & Terminal
- Guido Porta, Stefano Schiavi, Riccardo Crovetto - FuoriMuro
- Alessandro Sasso - LIBRA Technologies & Services