

# Combustibili alternativi per la propulsione sostenibile: GNL e altro

Ing. LUIGI GROSSI - Direttore Scientifico DLTM



1. I principali agenti inquinanti
2. Soluzioni per ridurre gli agenti inquinanti
3. Impianti a recupero di energia
4. Dispositivi antinquinamento
5. Combustibili alternativi – il GNL
6. Combustibili alternativi – l' idrogeno
7. Conclusioni

# Principali Agenti Inquinanti (1)

$\text{NO}_x$ : sono ossidi di Azoto, prodotti da elevate temperature e pressioni in camera di combustione; causano principalmente piogge acide, produzione di ozono a livello del terreno e eutrofizzazione delle acque.

$\text{SO}_x$ : sono ossidi di Zolfo, risultato della combinazione durante la combustione dell'ossigeno con lo zolfo contenuto nel combustibile; sono i principali responsabili delle piogge acide.

$\text{PM}_{xx}$  (***Particulate Matter***): è il cosiddetto “particolato”, è un deposito solido derivante nel caso specifico dal processo di combustione, è considerato dannoso sia per l'uomo (patologie apparato respiratorio e cardio-circolatorio) sia per l'ambiente (modifica propagazione e assorbimento delle radiazioni solari). Il pedice individua il diametro aerodinamico massimo delle particelle.

# Principali Agenti Inquinanti (2)

HC (*Hydro Carbon*): sono idrocarburi incombusti, residuo di un processo di combustione non perfetto.

CO: monossido di Carbonio, è tossico per gli esseri umani e gli animali in elevate concentrazioni (impedisce l'ossigenazione del sangue avendo affinità con l'emoglobina).

GHG (*Green House Gas*): sono i cosiddetti gas *effetto serra* come il vapore acqueo ( $H_2O$  in forma gassosa), l'anidride carbonica ( $CO_2$ ), il metano ( $CH_4$ ) e l'ozono ( $O_3$ ) la cui emissione per ora non è del tutto regolamentata per i motori marini.

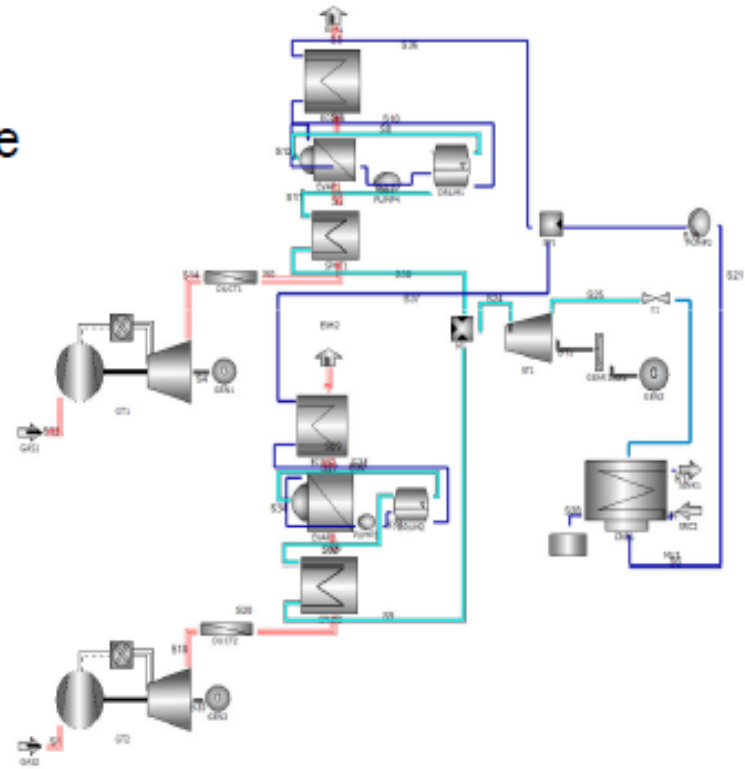
# Soluzioni per ridurre gli agenti inquinanti

- Riduzione consumi di bordo
  - Riduzione resistenza al moto della nave
  - Procedure di conduzione nave
  - Riduzione dei consumi degli ausiliari di bordo
- Miglioramento efficienza motori
- **Soluzioni di recupero energia (cicli combinati)**
- **Adozione dispositivi antinquinamento**
- **Combustibili alternativi**

# Soluzioni per ridurre gli agenti inquinanti. Impianti a ciclo combinato.

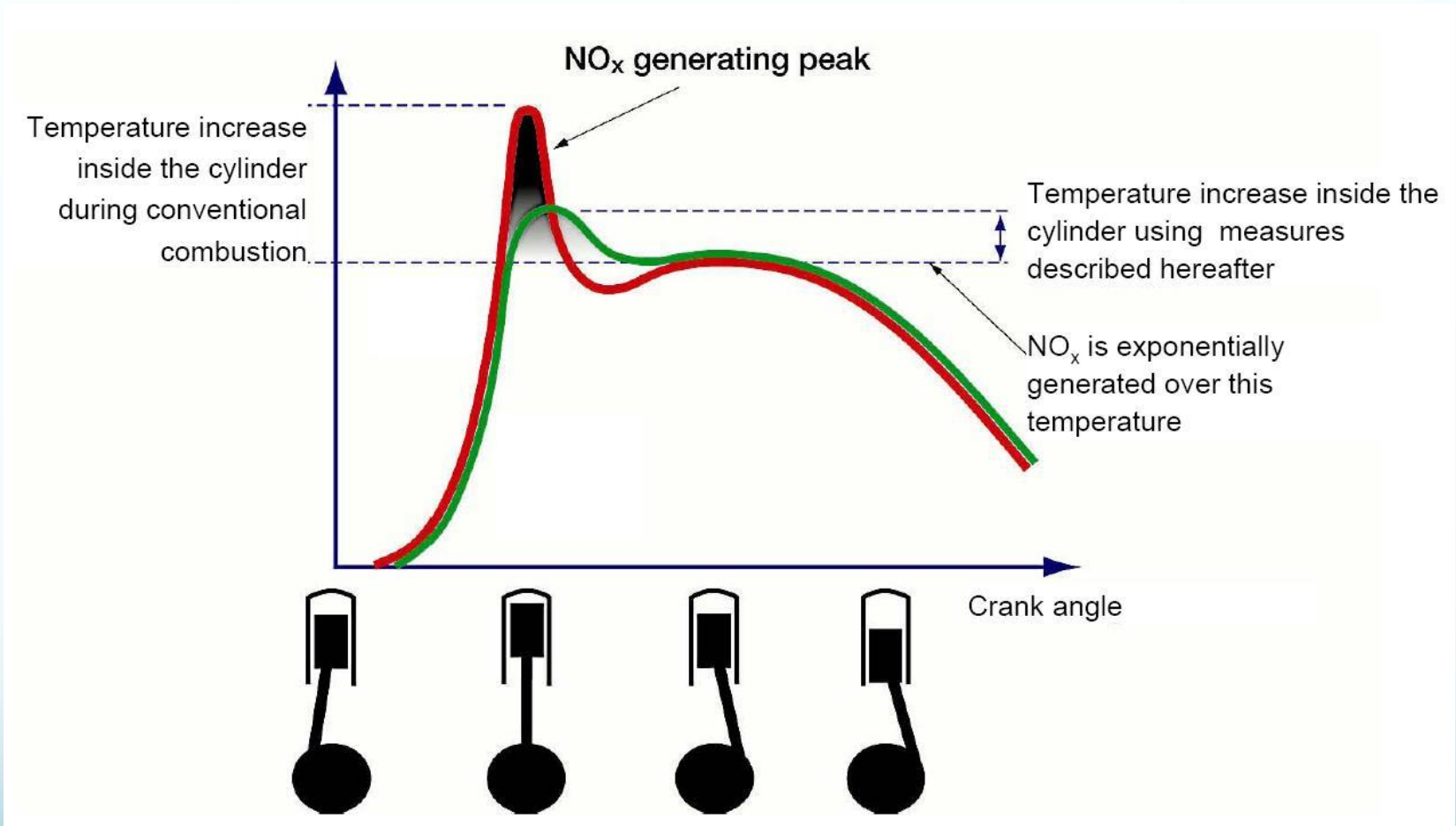
- ❖ 2 turbogruppi LM2500+
- ❖ 2 HRSG ad un solo livello di pressione
- ❖ 1 turbina a vapore a contropressione
- ❖ 1 condensatore atmosferico

Soluzione caratteristica per la propulsione navale (Classe Millennium)



# I DISPOSITIVI ANTINQUINAMENTO

# Processo di Produzione di $\text{NO}_x$



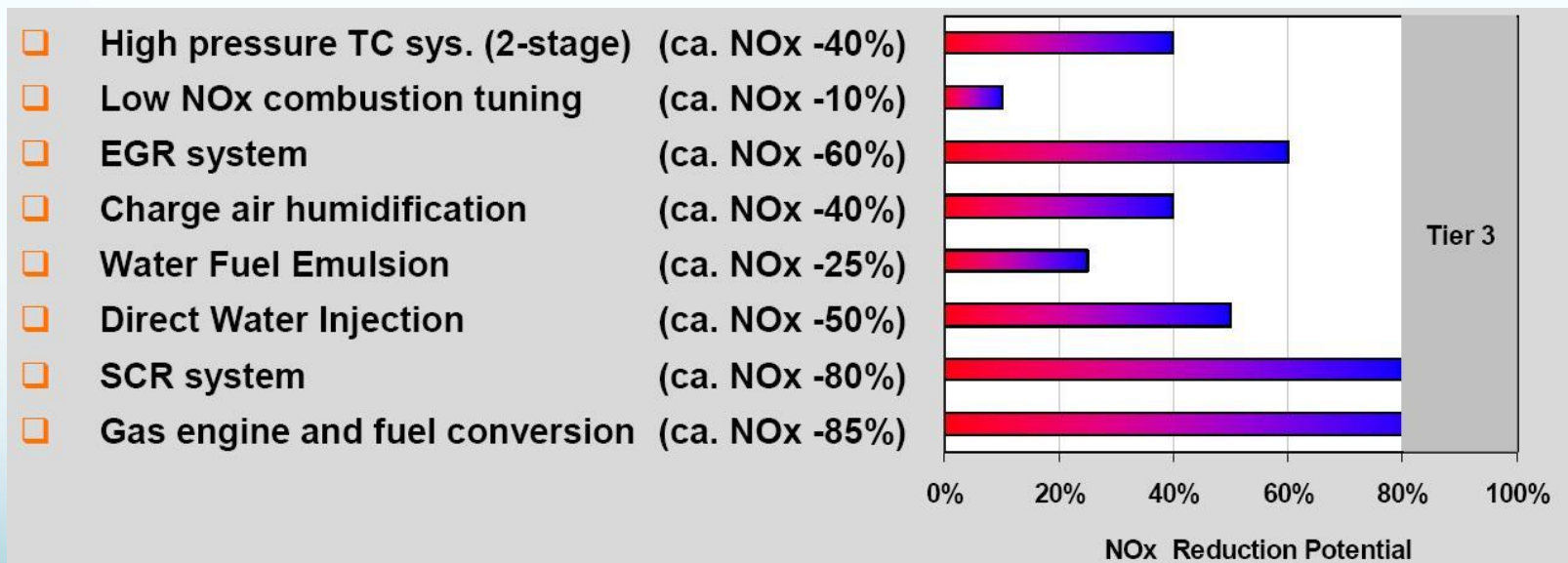
Fonte: MAN



# Soluzioni Antinquinamento NO<sub>x</sub>

La riduzione degli NO<sub>x</sub> può essere realizzata attraverso:

- Ottimizzazioni interne al motore
- Emulsione del combustibile con acqua
- Umidificazione aria comburente
- Post-trattamento attraverso SCR (*Selective Catalytic Reduction*)



Fonte: Wärtsilä

# SOLUZIONI ANTINQUINAMENTO PER SO<sub>x</sub> (1/2)

L'emissione di SO<sub>x</sub> è proporzionale alla presenza di S nel combustibile.

La prima misura adottabile sarebbe quindi quella di utilizzare combustibile a basso tenore di S.

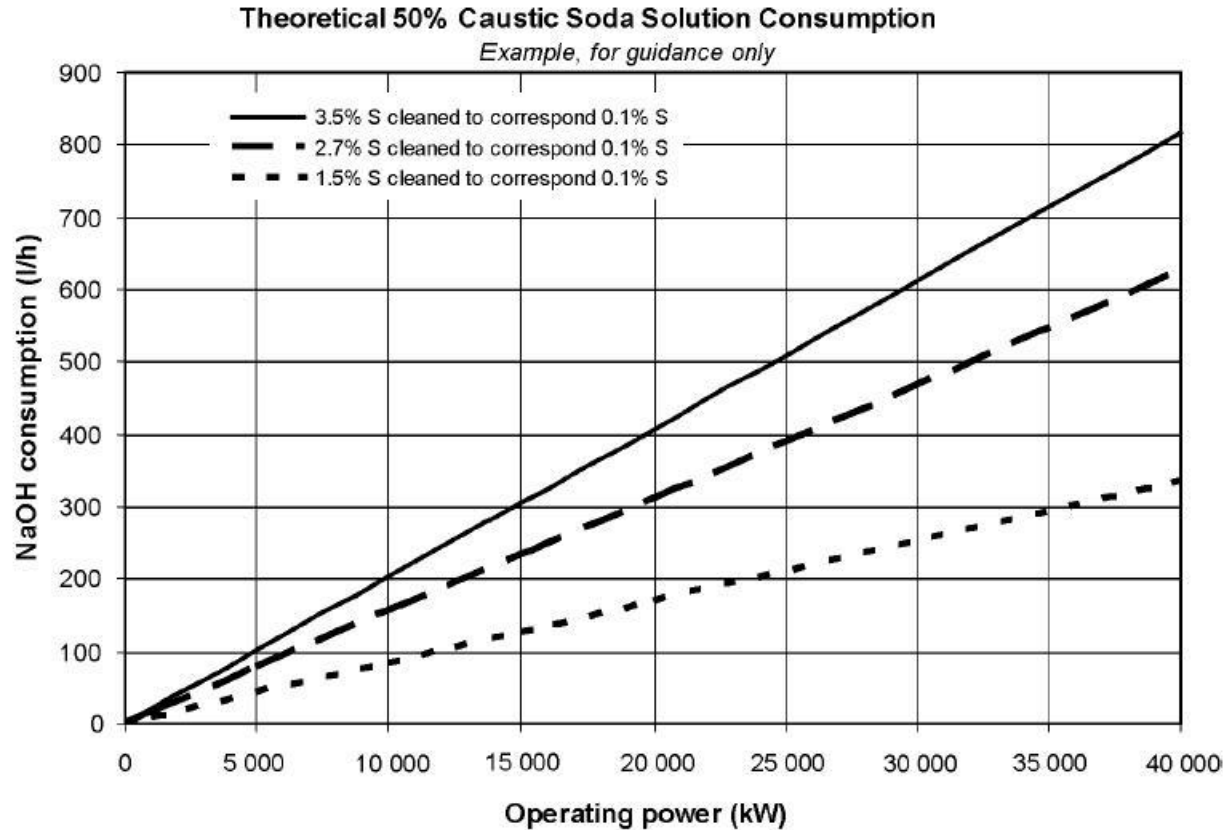
Senza tenere conto di utilizzare tali corrodenti di bordo (miscela di semplice oppo

Il sistema per l'acqua lavaggio dove i flussi L'acqua condensata interamente riutilizzata (quantificabile in richiesta di flusso

Il sistema richiede acqua dolce/acqua

La richiesta di potenza è lo 0.4÷0.6% del MCR.

L'NaOH ha un punto di solidificazione di 12 ° C, quindi a seconda della sistemazione della cassa di stoccaggio può essere richiesto un sistema di riscaldamento.



Fonte: Wärtsilä

mpre è possibile territorio/logistiche (o) o per motivi

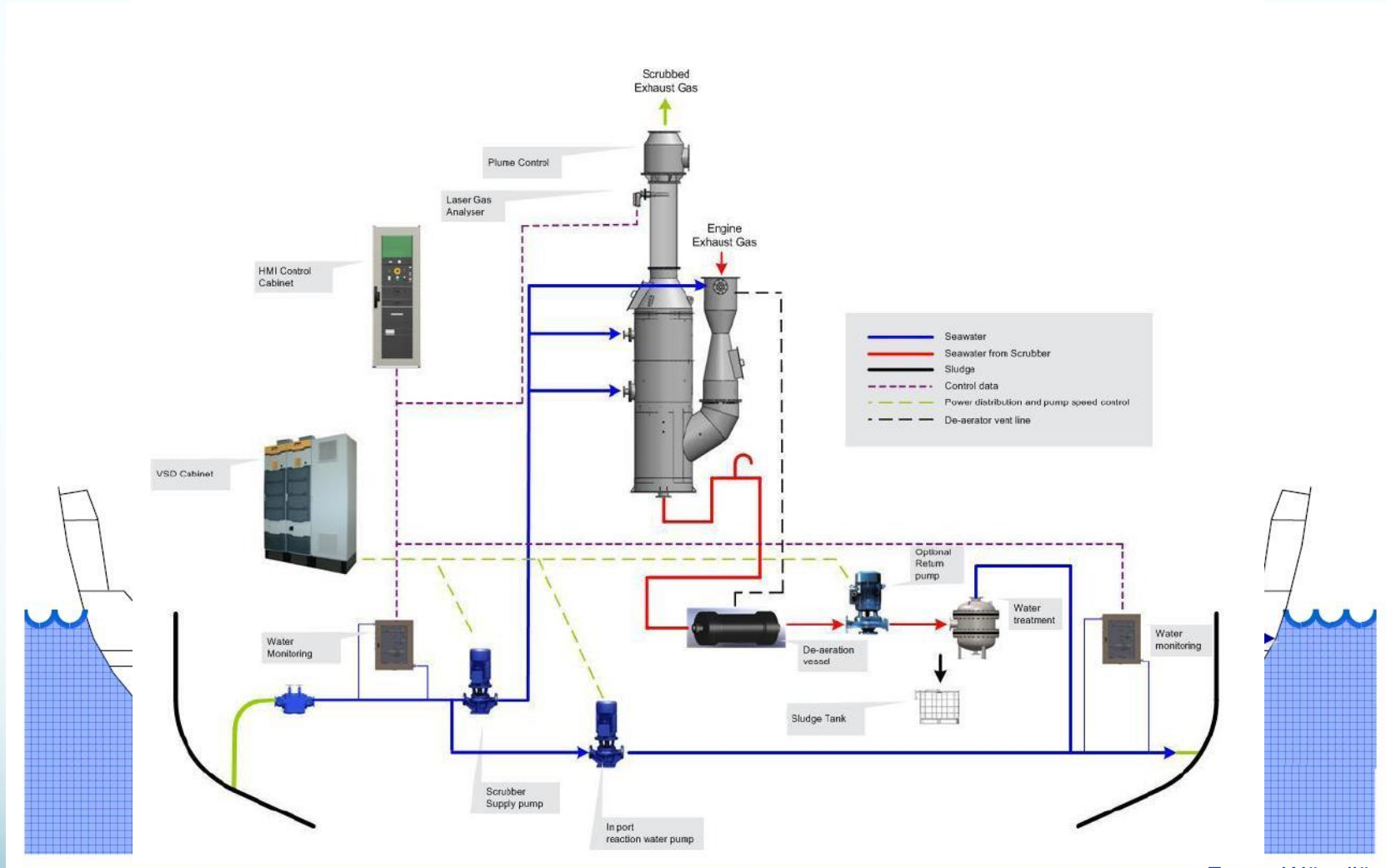
ie di una torre di

ssa essere quasi deposito residuo cato in porto. La

uno scambiatore

re indicata come 1% in condizioni

# Lo Scrubber in Pratica



Schema tipico ad acqua di mare

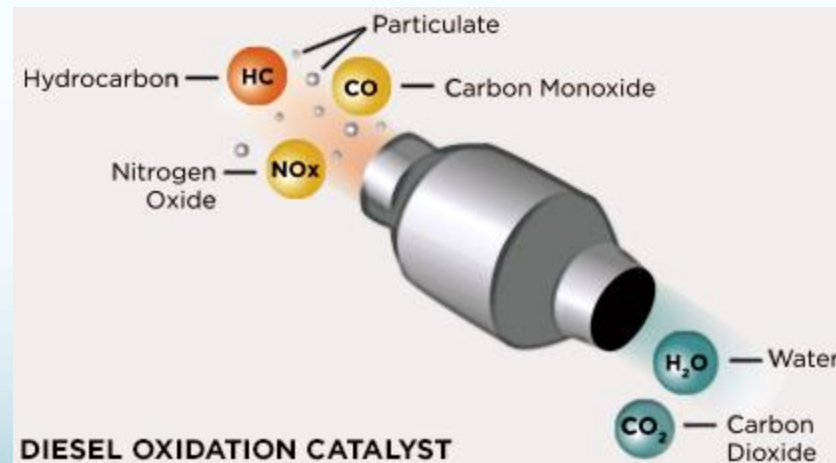
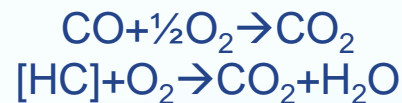
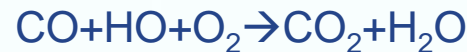
Fonte: Wärtsilä

Fonte: Hamworthy

# Catalizzatori DOC per HC & CO

La riduzione degli HC e CO, particolarmente importante con le normative EPA, viene realizzata attraverso un apposito catalizzatore (DOC, *Diesel Oxidation Catalyst*), simile a quello installato sulle autovetture; a differenza del sistema SCR non c'è la necessità di aggiungere con alcun fluido, quindi il sistema è sostanzialmente statico e formato dal solo catalizzatore.

Come elementi catalizzatori vengono solitamente impiegati Platino e Palladio.



# DPF (Diesel Particulate Filter)

Il PM viene abbattuto attraverso un vero e proprio filtro *meccanico*, opportunamente dimensionato per trattenere il diametro medio delle polveri voluto. Il materiale impiegato è di tipo ceramico.

Il sistema è particolarmente semplice, tuttavia essendo un filtro *meccanico* è sottoposto a sporramento progressivo che va ad aumentare le perdite di carico.

Periodicamente il filtro viene quindi sottoposto ad un processo di pulizia tramite innalzamento delle temperature per ottenere l'opportuna *cottura* delle polveri.

Solitamente le temperature elevate vengono ottenute attraverso un apposito bruciatore a combustibile; soluzioni con riscaldatori elettrici a bordo non sono previste a causa dell'elevatissimo consumo che avrebbero.

Tuttavia questo processo non riporta esattamente il filtro alle condizioni iniziali, creando una sorta di ciclo d'isteresi che progressivamente aumenta le perdite di carico (ed accorcia l'intervallo tra i cicli di *cottura*), fino alla necessità dello smontaggio del filtro per un apposito ciclo di cottura in forni terrestri dedicati.

Lo sporramento dei filtri dipende da vari fattori, tra i quali il dimensionamento e la geometria del filtro stesso, il tipo di combustibile (meglio a basso tenore di S), le caratteristiche di emissione del motore e la qualità degli oli di lubrifica (meglio sintetici e a basso BN).

# *Soluzioni tecnologiche per l'utilizzo di Combustibili alternativi*

# ***IL GAS (NG e LNG)***

# COMBUSTIBILI ALTERNATIVI

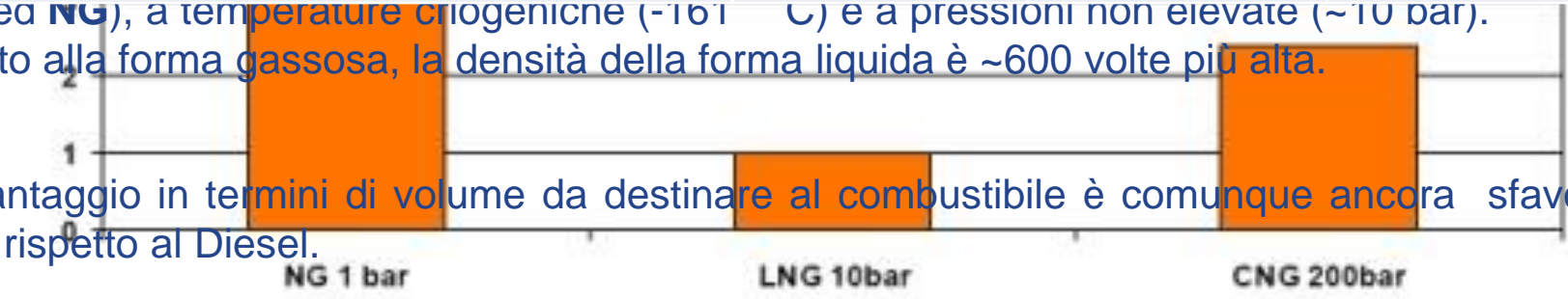


Il combustibile oggi ritenuto l'alternativa più credibile ai distillati del petrolio è l'NG (Natural Gas), sigla sotto cui vengono classificate miscele di gas per lo più composte da Metano (CH<sub>4</sub>) e in percentuali settanta-trenta di idrocarburi più pesanti (Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), Butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)).

Fuel relative volume, energy content equal

	NG	LNG	MDO
Temperatura	Atmosferica	-161° C	Atmosferica
Pressione	Atmosferica	Atmosferica	Atmosferica
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	0.75	460	870
Potere calorifico inferiore [kJ/kg]	~50000	~50000	~42800

L'NG (Natural Gas), a temperature criogeniche (-161° C) e a pressioni non elevate (~10 bar). Rispetto alla forma gassosa, la densità della forma liquida è ~600 volte più alta.



Lo svantaggio in termini di volume da destinare al combustibile è comunque ancora sfavorevole all'NG rispetto al Diesel.

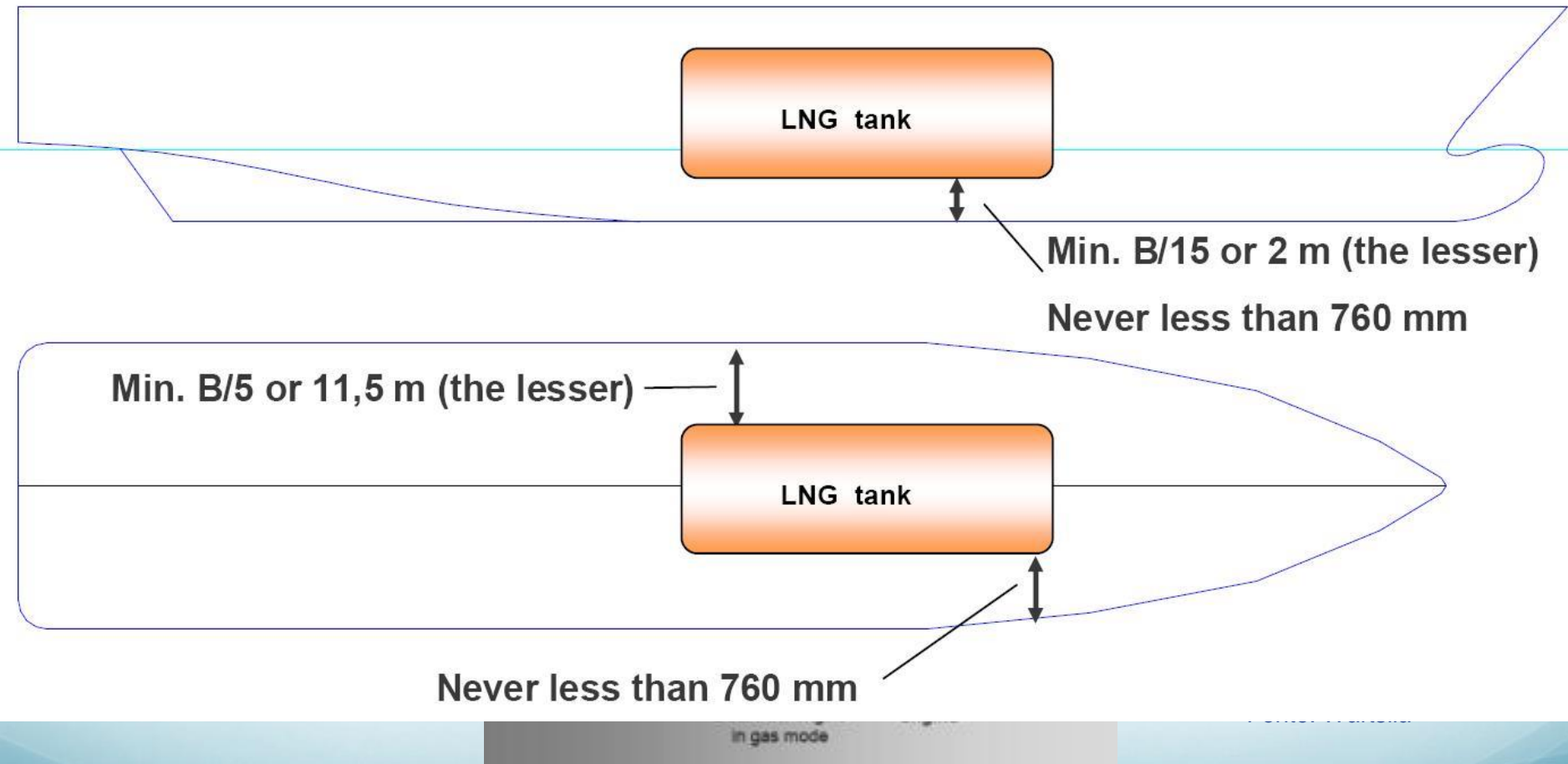
Fonte: Wärtsilä





# IL NG A BORDO

## Gas storage below deck

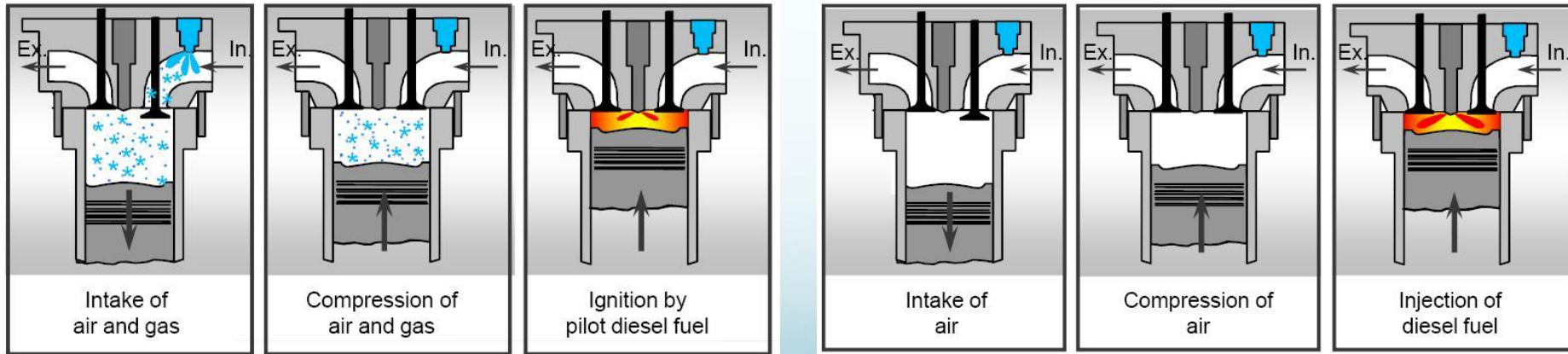


Fonte: Wärtsilä

# TECNOLOGIE NG APPLICATE AI MOTORI

Le principali tecnologie applicabili a un motore a combustione interna sono le seguenti:

- **Gas-Diesel (GD)**, impiegata solo nelle applicazioni terrestri, prevede l'iniezione del gas ad alta pressione (CG, oltre 200 bar), insieme ad una piccola quantità di Diesel
- **Spark Ignition Gas (SGI)**, impiegata oggi da Bergen (Rolls Royce), prevede l'impiego del solo gas, il ciclo è ad accensione comandata, tale scelta ha implicazioni di ridondanza nei confronti dei registri di Classifica
- **Dynamic Gas Blending (DGB)**, impiegata oggi da Caterpillar nei motori della serie 35XX, prevede l'iniezione del gas a monte del compressore; la percentuale di Diesel non può scendere sotto ~20%
- **Dual-Fuel (DF)**, è la tecnologia che sembra oggi prendere maggiormente campo (utilizzata da Wärtsilä, MAN e MAK), prevede la possibilità di utilizzare solo il Diesel, oppure il gas con una iniezione pilota di Diesel; il motore rispetto alla soluzione solo Diesel subisce un depotenziamento



Dual Fuel (Gas Mode)

Dual Fuel (Diesel Mode)

Fonte: Wärtsilä

# IL SISTEMA NG IN PRATICA



Type
Geomet
Net volu
Diamete
Tank lei
Tank r
Total lei
LNGPac
LNGPac
Theoret

E. BU  
F. Inte

Pac 627
527
74,3
5,0
35,5
3,5
39,0
168
406
159

\* Includes an estimate of the process skid

# Esempi di nave a GNL

Traghetto Gauthier costruito da Fincantieri per STQ (société des Traversiers du Quebec) a Castellamare di Stabia (NA) – consegnato 2014



Lunghezza fuoritutto:	132.0 m
Larghezza:	22.4 m
Immersione:	5.4 m
Propulsione	Diesel/Elettrica
Combustibile	LNG / MDO
Velocità di servizio	18/20 nodi
Passeggeri	800
Autovetture	180

**FINCANTIERI**

7

# Esempi di nave a GNL

Traghetto Viking Grace costruito da STX Turku (Finlandia) – consegnato 2013

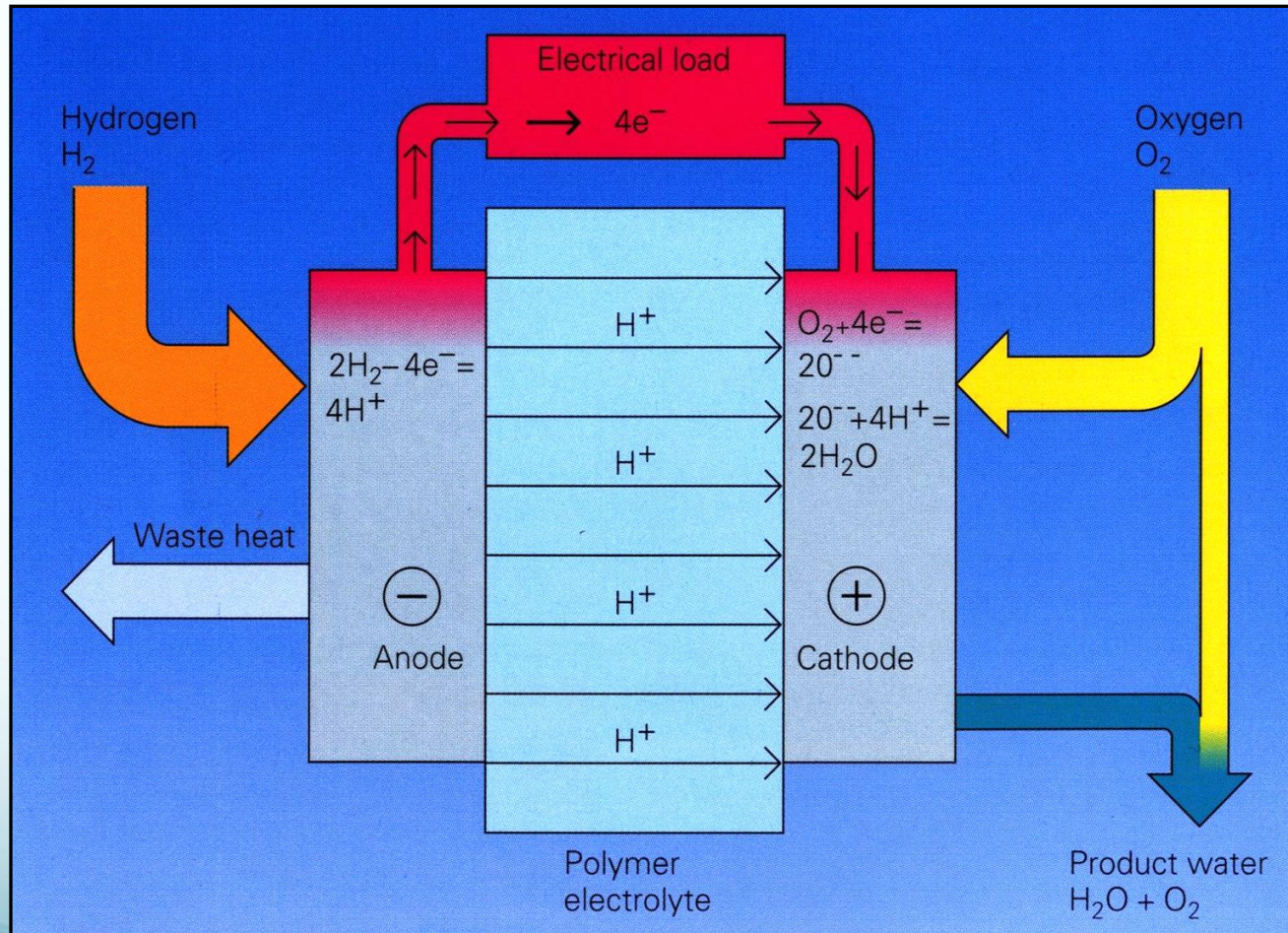


# Esempi di nave a GNL

- Traghetto Caronte Tourist per lo stretto di Messina: ordinato nel 2016, consegna 2018, progetto norvegese, cantiere turco.
- 7 navi da crociera del gruppo Carnival con propulsione a GNL, che opereranno con i marchi AIDA, COSTA, P&O e Carnival Cruise; saranno costruite nei cantieri Meyer Weft in Germania e Meyer Turku in Finlandia. Le prime 2 saranno consegnate nel 2019 e opereranno nel Nord Europa rifornendosi a Rotterdam e in Mediterraneo rifornendosi in Spagna.
- 4 navi da crociera del gruppo MSC con propulsione a GNL, che saranno realizzate in Francia nei cantieri STX di Saint Nazaire.
- 2 navi da crociera del gruppo Royal Caribbean Cruise con propulsione a GNL, che saranno realizzate da Meyer Turku.

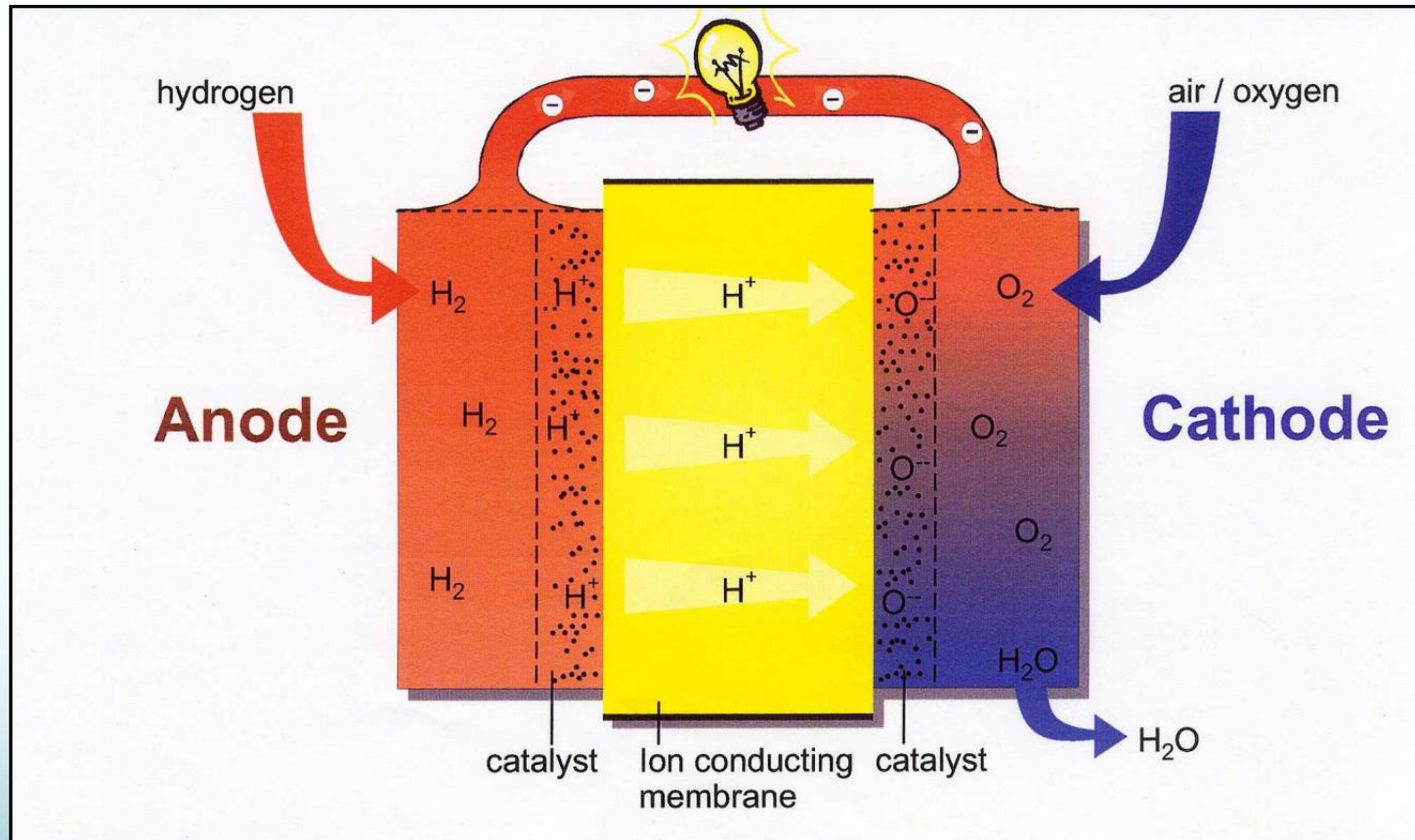
# *Le FUEL CELL*

# Schematic Description of a Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cell

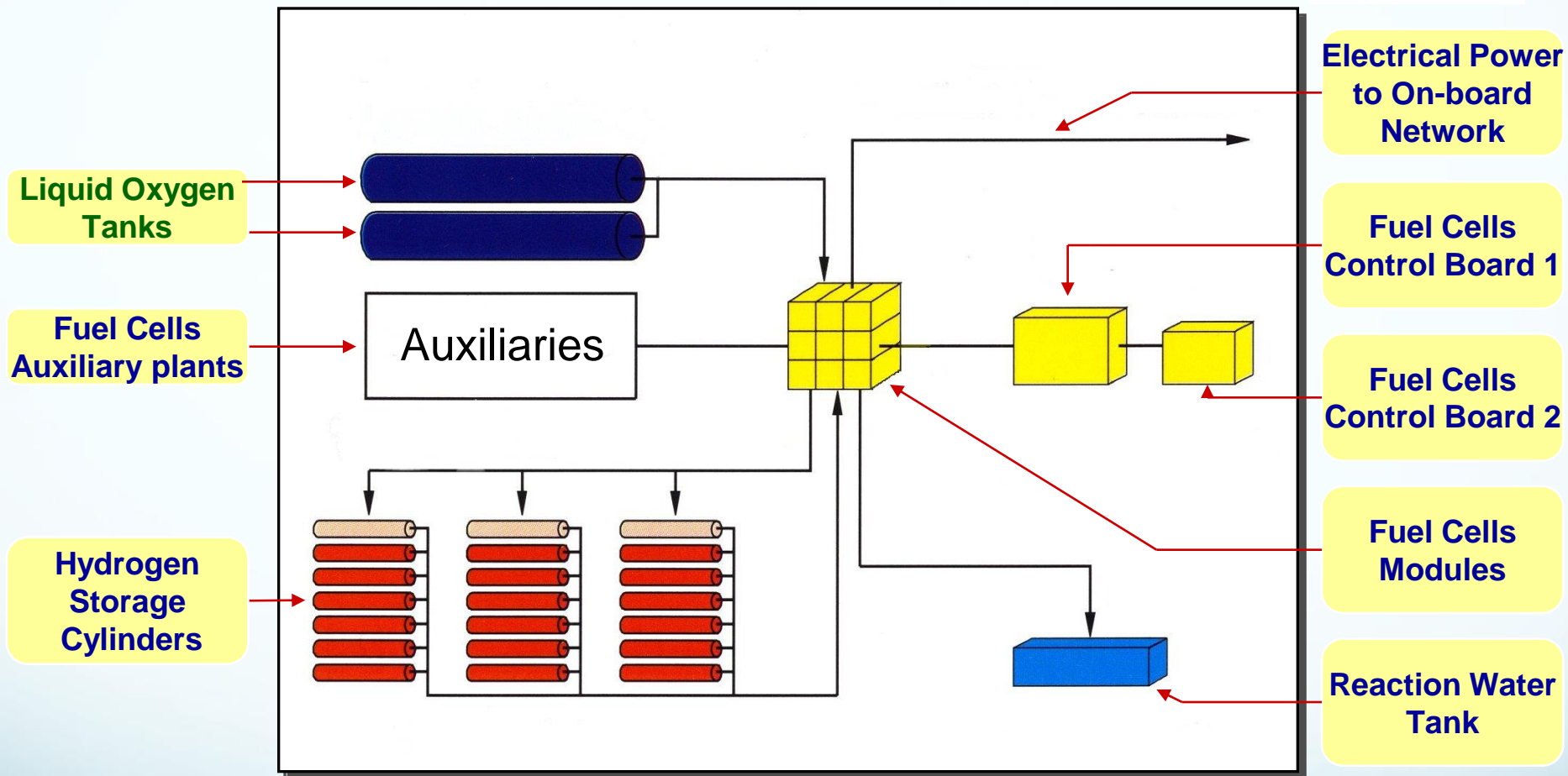




# Schematic Description of a Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cell



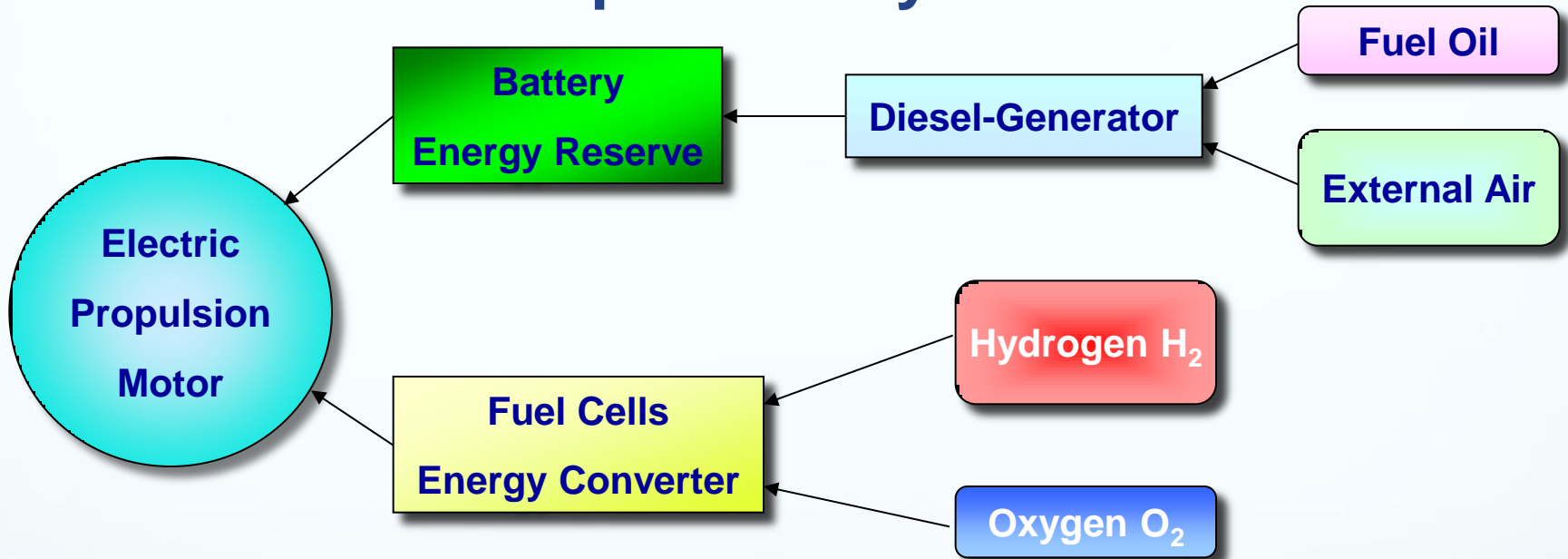
# Fuel Cells General Lay out



## The Fuel Cells System is based on:

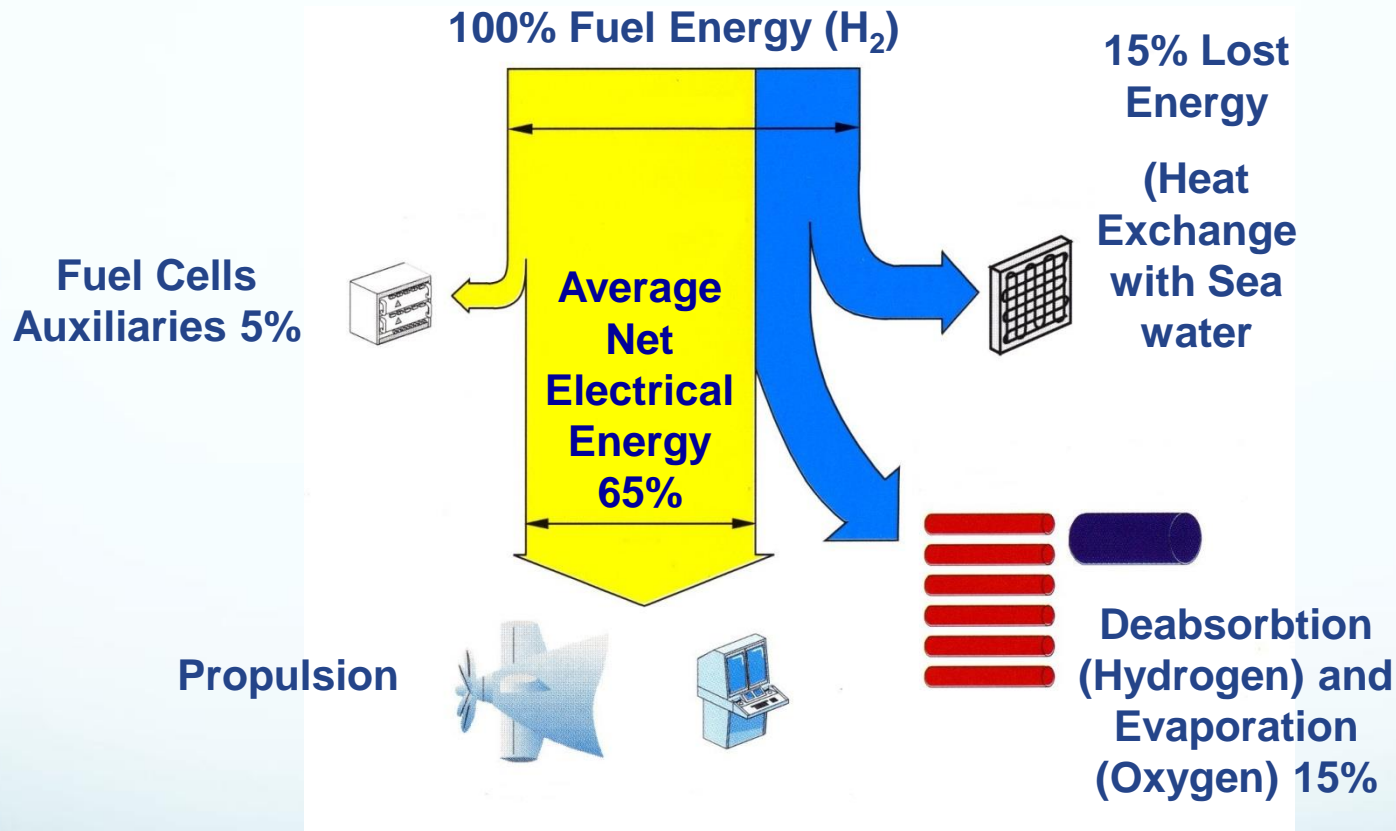
- PEM Cell Modules
- Hydrogen Plant (H<sub>2</sub> stored on “Metal hydride” containers)
- Oxygen Plant
- Monitoring and Control System
- Auxiliaries: Cooling Plant, Residual Gas Plant and Nitrogen Plant
- Reaction Water Storage Tanks

# Configuration and Functional Modes of the Propulsion System



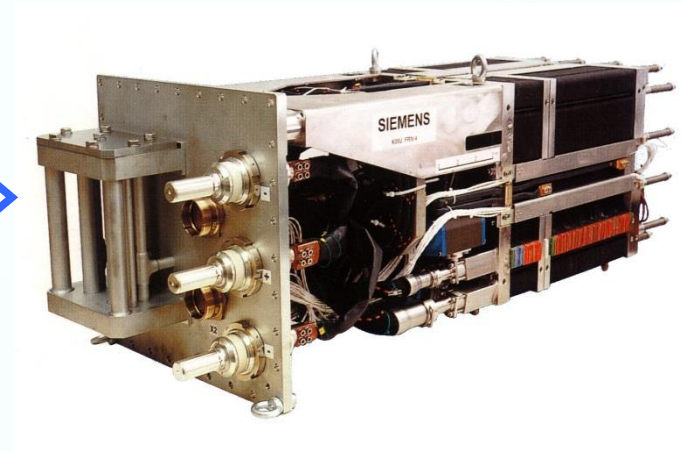
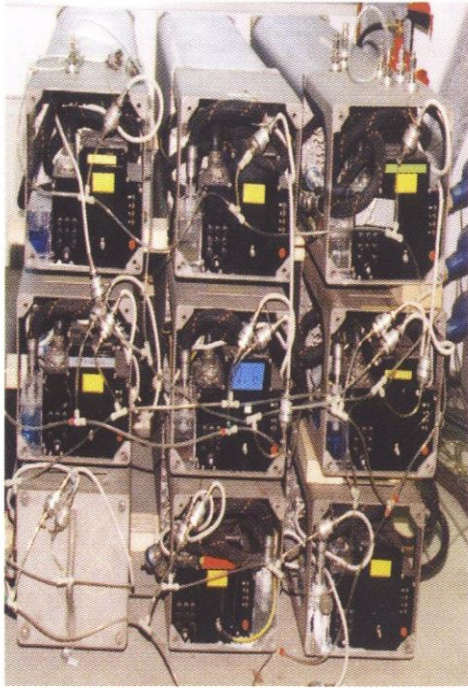
- Propulsion on Battery
- Fuel Cell Stand Alone
- Battery and Fuel Cells running in parallel

# Fuel Cells System Electrical balance



The Fuel Cells Modules produced heat is partially recovered for extracting the Hydrogen from the "hydride" and converting the oxygen to gas (Oxygen is stored at -183° C liquid state).

# Fuel Cells Modules



Fuel Cells Plant is based on a rack which includes the number of modules necessary to guarantee the maximum requested power; all modules are contemporary used.

Usually, one additional in stand-by condition module is added as back-up in case of failure of one of the used ones.

Each Fuel cells Module contains several single PEM Hydrogen-Oxygen Cells.

# Hydrogen Storage Cylinders



The hydrogen storage cylinders are installed in the keel, outside the Pressure Hull. They contain an intermetallic alloy, named "hydride". The hydrogen load capability for "hydride" weight is around 1,6-2,0% (1000 gr hydride=20 gr H<sub>2</sub>). The hydrogen utilized for fuel cells has a quality of 5.0 (99,999% Vol. of hydrogen).

# CONCLUSIONI

L'adozione di normative antinquinamento **attualmente** ha come principali conseguenze sulla piattaforma:

- Aumento dei pesi
- Aumento delle volumetrie (e quindi delle dimensioni nave a parità di carico pagante)
- Aumento degli impianti a bordo, con conseguente complicazione e rischio avarie
- Aumento dei costi di acquisizione e di gestione in generale

*La ricerca tecnologica può consentire di ridurre o annullare questi svantaggi in modo da consentire misure adeguate di salvaguardia dell'ambiente a costi economicamente sostenibili.*

# Combustibili alternativi per la propulsione sostenibile: GNL e altro

luigi.grossi@dltm.it

