



APPLICARE LE TECNICHE DEL DISEGNO E DELLA GRAFICA
COMPUTERIZZATA NELLA CANTIERISTICA

ALLESTIMENTO NAVALE

Gli impianti per il carico

Ing. Serena Bertagna
sbertagna@units.it

Monfalcone, 29/10/2018

Introduzione

Ai fini delle norme che ne regolano il trasporto, ossia le norme antinquinamento e quelle di sicurezza per la navigazione, le sostanze liquide sono classificate in sostanze gassose liquefatte o sostanze liquide vere e proprie.

Ovviamente, la distinzione fisica sta nel fatto che le prime alla temperatura e alla pressione ambiente si trovano allo stato gassoso.

Per quanto riguarda i liquidi, possono essere di diversa natura e vengono classificati in base alla loro pericolosità sia nei confronti della nave, e quindi delle persone imbarcate, sia nei confronti dell'ambiente. La classificazione dei liquidi è rintracciabile nella MARPOL per quanto concerne il tipo di inquinamento che essi producono e nel codice IBC (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk) per quanto riguarda la sicurezza della navigazione:

- *idrocarburi o prodotti petrolchimici* – indicati in inglese con il termine “oil” – (dal petrolio greggio alle varie sostanze raffinate da esso derivate), trasportati su navi cosiddette petroliere (per il greggio) o su navi product carrier (per i raffinati);
- *sostanze chimiche nocive*, definite con precisione nel codice IBC e trasportate su navi chimichiere;
- *liquidi vari*, che non sono né tossici né infiammabili, quali l'acqua, i prodotti alimentari, gli olii vegetali, alcune sostanze chimiche innocue, etc., trasportati su navi cisterna.

I prodotti petroliferi sono sostanze inquinanti, ovvero nocive all'ambiente e all'uomo, e vengono trattate differenzialmente dalle altre sostanze inquinanti prestando particolare attenzione alla loro infiammabilità (la lista di tali sostanze si trova nell'Annesso I della MARPOL).

I prodotti chimici sono invece trattati in funzione della loro tossicità per l'uomo e per l'ambiente: a tale riguardo sono classificati nell'Annesso II della MARPOL in quattro categorie di pericolosità.

Le sostanze che non rientrano in nessuna delle liste sopra richiamate vanno considerate non pericolose.

Le sostanze gassose trasportate sono di diverso tipo, più o meno infiammabili o nocive, e le normative sono specifiche per i diversi tipi.

Oil tanker

Navi adibite specificamente al trasporto alla rinfusa di *petrolio greggio, altri prodotti petroliferi o sostanze simili all'olio minerale*, aventi qualsiasi punto di infiammabilità, che siano liquidi alla pressione atmosferica ed alla temperatura ambiente.

Le sostanze che qui vengono accomunate sono tutti gli idrocarburi naturali, sia allo stato di greggio (crude oil) che raffinato, a qualsiasi livello di raffinazione (dai prodotti più leggeri ai più pesanti), e nello stesso gruppo vengono aggiunti prodotti ad essi assimilabili di origine petrolchimica.

Le navi per il trasporto di idrocarburi, pur essendo specializzate per le diverse sostanze, rispondono tutte ad una stessa tipologia ed hanno quindi *impianti simili* sia per quanto riguarda le condizioni di stivaggio che quelle di pompaggio.

- Trasporto petrolio greggio → *crude oil tanker*
- Trasporto prodotti di derivazione petrolifera → *product carrier*
- Trasporto sostanze nocive meno tossiche → *FLS tanker (navi chimichere)*

Caratteristiche del carico

Le caratteristiche che più interessano nel trasporto di un idrocarburo sono, per ciò che concerne la pericolosità, la temperatura di flash point e il campo di infiammabilità e, per quanto riguarda il pompaggio, la viscosità, la tensione di vapore ed il pour point.

- *Flash point T_F [°C]*: temperatura alla quale avviene una *generazione rapida di fiamma* sulla superficie del liquido, quando i vapori da questo emessi sono in presenza di una sorgente di accensione. Valore limite: 60 °C. La temperatura di flash point si riferisce però al liquido in condizioni chimico-fisiche di laboratorio, e non alla situazione di stivaggio; per valutare l'effettiva pericolosità dell'idrocarburo stivato, è necessario fare riferimento a tali condizioni. A tal fine viene studiato il campo di infiammabilità dei vapori nelle diverse condizioni di diluizione alla temperatura e pressione di trasporto.
- *Pour point [°C]*: la più bassa temperatura alla quale un idrocarburo rimane liquido e rappresenta in pratica la temperatura minima di scorrimento per il pompaggio.

Oil tanker

Caratteristiche del carico

Le caratteristiche che più interessano nel trasporto di un idrocarburo sono, per ciò che concerne la pericolosità, la temperatura di flash point e il campo di infiammabilità e, per quanto riguarda il pompaggio, la viscosità, la tensione di vapore ed il pour point.

- *Tensione di vapore*: i macchinari devono essere dimensionati per sopportarla.
- *Peso specifico*: assume molta importanza per il trasporto e viene misurato usualmente in gradi API in base al cosiddetto metodo della “gravità API” (American Petroleum Institute). È questo un indice caratteristico dei greggi e dei prodotti petroliferi, basato sulla densità relativa, ovvero il rapporto fra il peso specifico dell’olio e quello dell’acqua misurati alla temperatura di 60 F (corrispondente a circa 15,5 °C).

Convenzionalmente si definiscono olii pesanti quelli che hanno gravità API minore di 25° API (ossia densità maggiori di 0,90) ed olii leggeri quelli che hanno gravità API maggiore di 40° API (ossia densità minori di 0,83). Si noti inoltre che i greggi leggeri non hanno in genere bisogno di essere riscaldati. Un greggio leggero pregiato, usato come riferimento per le quotazioni nel mercato petrolifero, è per esempio l’Arabian Light, caratterizzato da 34° API.

In generale anche per le sostanze chimiche trasportate nelle cisterne delle navi del tipo FLS tanker valgono considerazioni simili sulle caratteristiche dei prodotti, è importante cioè conoscere la temperatura di flash point, il campo di infiammabilità, la viscosità, la tensione di vapore ed il peso specifico.

Impianto di caricaione, scaricazione e stripping

Gli impianti adibiti ai servizi per il carico di una nave petroliera sono rappresentati dalle *tubolature per la caricaione e scaricazione* (sistema principale e di stripping), *dal sistema per il lavaggio delle cisterne col greggio o con l'acqua*, *dal sistema per la produzione e la distribuzione del gas inerte*, *dal sistema di ventilazione delle cisterne ed infine eventualmente da quello di riscaldamento del carico*.

Innanzitutto il progetto deve soddisfare all'esigenza di rendere minima la sosta al terminale, limitandola a 24 ore indipendentemente dalla dimensione della nave: il tempo necessario per la scaricazione di 24 ore nominali si traduce in pratica in 12 ore effettive di pompaggio.

Un secondo dato essenziale per il progetto è rappresentato dalla segregazione minima che deve essere richiesta, ovvero dalla capacità di mantenere separati i diversi tipi di idrocarburi, o genericamente di sostanze, che vengono caricati.

Nelle navi petroliere esiste **un locale pompe** mentre nelle navi product tanker queste sono **immerse nelle singole cisterne**. Più precisamente, nelle prime ogni impianto è centralizzato, mentre nelle altre anche il sistema di drenaggio, di lavaggio e di inertizzazione sono frazionati.

Il carico viene ricevuto dalle manichette del terminale con una pressione massima detta "rail pressure" e viene convogliato direttamente nelle cisterne by-passando le pompe della nave. Le condotte per la scaricazione seguono un percorso più complesso perché devono poter prelevare il prodotto da ogni cisterna portandolo con le pompe fino alle connessioni poste sul ponte.

Nelle navi petroliere lo schema standard prevede che vi sia almeno una pompa per ogni grado previsto, senza pompe di riserva, ma con collegamenti detti "cross connections" che assicurano la flessibilità dell'impianto. In realtà per le esigenze di scaricazione vengono **poste 3 o 4 pompe identiche che lavorano in parallelo**.

Da ciascuna pompa parte una condotta di aspirazione che entra nel corpo delle stive ed una condotta di mandata che va a terminare sul ponte alle connessioni, poste sia a dritta che a sinistra. I terminali petroliferi sono in genere equipaggiati con 4 manichette flessibili che arrivano alle connessioni, dove un bigo o una gruetta aiuta la manovra di aggancio. Le connessioni fra le pompe e le cisterne permettono di programmare i piani di scaricazione in modo da salvaguardare l'assetto e controllare le sollecitazioni della trave-nave.

Impianto di caricaione, scaricazione e stripping

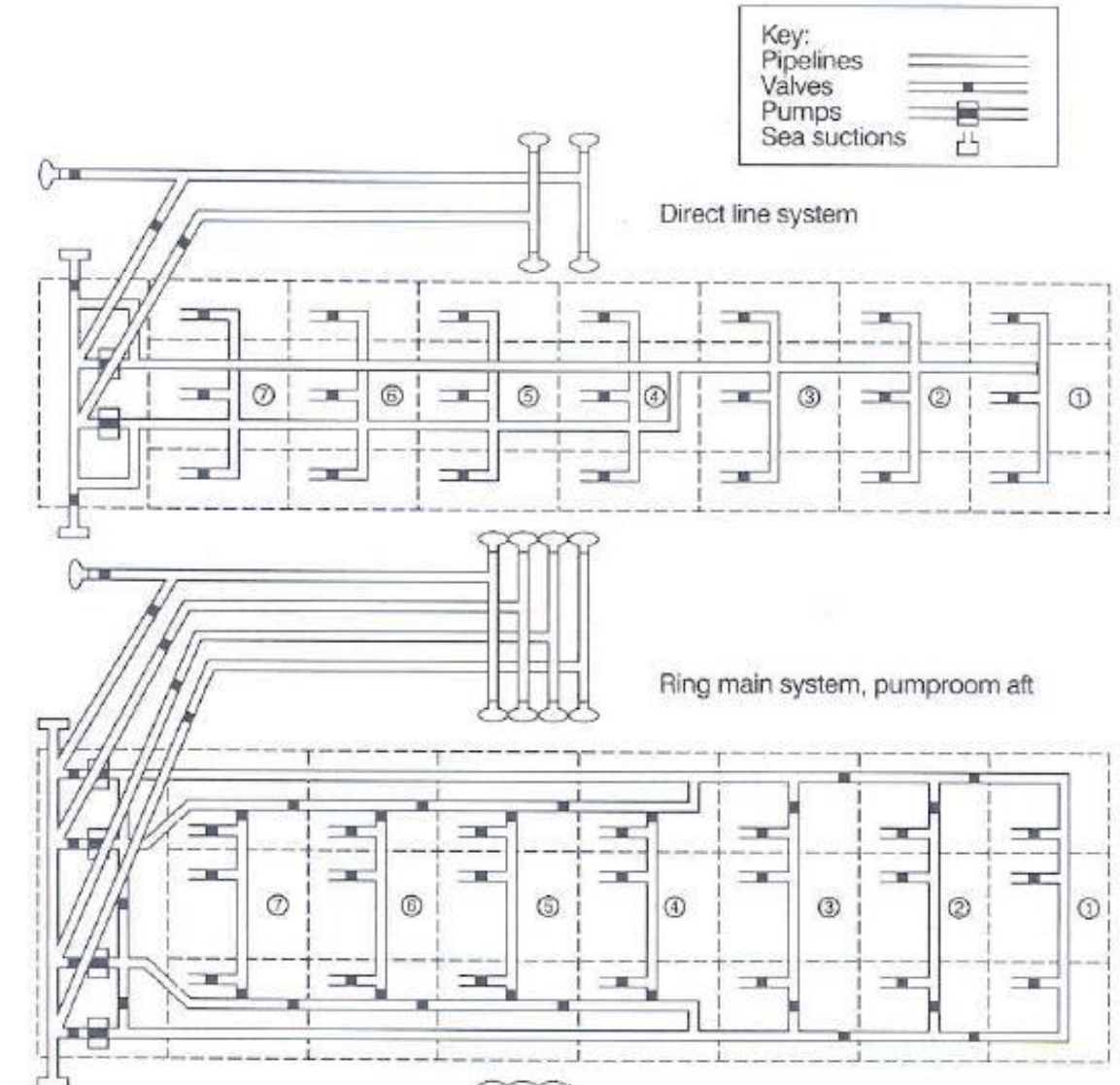
Le condotte che corrono nelle stive sono variamente disposte e collegate tra loro per garantire segregazione e flessibilità (ovvero sicurezza in caso di danni su parte delle stesse). In ogni caso i collettori di aspirazione sono posti sul fondo delle cisterne o nel doppiofondo, dalle pompe alle campane: in ogni cisterna sono presenti almeno due terminali di aspirazione (usualmente uno solo verso poppa), ciascuno con una campana vicinissima al fondo (fino a 20 mm) modellata con una svasatura, in modo da rimuovere la maggiore quantità possibile di prodotto e ridurre nel contempo l'ingresso dei gas.

Le valvole di sezionamento poste sui collettori di aspirazione permettono di collegare ciascuna pompa con le cisterne volute: usualmente ogni pompa scarica contemporaneamente due cisterne.

- **Sistema diretto:** la nave è *divisa in 2 o 3 sezioni* ed ogni sezione, formata da più stive, è servita da *un collettore*; ciascuna condotta terminale è dotata di una valvola di sezionamento. L'impianto è *semplice* da controllare (sono presenti poche valvole) ma è *poco flessibile* anche se vengono poste delle connessioni trasversali fra i collettori per far fronte a condizioni di emergenza.
- **Sistema ad anello:** la nave è *divisa in 2 o 3 sezioni* ed ogni sezione, formata da più stive, è servita da un *collettore ad anello*; valvole di sezionamento sono poste sulle condotte terminali e sul collettore. L'impianto è *complesso* da controllare perché sono presenti anche valvole sui collettori in modo da sfruttare al meglio l'anello: si può infatti escludere qualsiasi braccio raggiungendo comunque tutte le cisterne. Alla maggiore sicurezza si affianca anche una *maggiore flessibilità*, infatti con questo impianto si possono caricare fino a quattro tipi di diversi di prodotto garantendo la dovuta segregazione. Anche qui sono presenti connessioni trasversali fra i collettori per far fronte a condizioni di emergenza. Le valvole vengono controllate con sistemi automatici che permettono le manovre di apertura e chiusura solo con prefissate successioni.

La scaricazione con le pompe principali viene effettuata con la *massima portata* finché il battente non si abbassa ed insorgono problemi di cavitazione ed aspirazione di gas che entra nelle campane per un moto vorticoso che ivi si instaura. A quel punto, nonostante la presenza di un sistema di aspirazione dei gas, la portata viene ridotta e la pompa viene fermata ed entra in funzionamento *il sistema di drenaggio* (stripping).

Impianto di caricaione, scaricazione e stripping



Impianto di caricazione, scaricazione e stripping

Drenaggio

In corrispondenza delle estremità delle condotte principali nelle casse sono collegate condotte di *minor diametro* che terminano in pozzetti di aspirazione che permettono il drenaggio sia delle cisterne sia delle condotte principali. *Le pompe di stripping, di minore portata e maggiore capacità di aspirazione*, scaricano il prodotto in coda a quello prelevato dalle pompe principali tramite una condotta indipendente che fa capo ad una quinta connessione sul ponte di coperta. Quando il prodotto è un greggio riscaldato, l'azione di queste pompe deve essere veloce per evitare che ciò che rimane al di sotto delle serpentine del fondo si raffreddi diventando impompabile.

Questo sistema deve anche essere in grado di drenare le cisterne dopo che esse sono state *lavate con acqua*, ed in tal caso la miscela viene mandata nelle **casse di raccolta e decantazione, le cosiddette slop tanks**, le cui dimensioni sono fissate dalle normative antinquinamento (Annesso I della MARPOL). Le stesse pompe di stripping devono essere anche in grado mandare a terra i residui oleosi dopo la separazione per decantazione, di trasferire all'impianto di trattamento l'acqua contaminata ed infine di drenare tutte le condotte (quelle principali sul ponte sono drenate per gravità). Esse sono anche usate **come pompe di emergenza di sentina nel locale pompe**.

Sfoghi d'aria

La fase di caricazione e il riempimento delle cisterne richiedono la presenza di sfoghi d'aria di opportune dimensioni, si da evitare *pressioni eccessive tali da causare danni alle strutture*. Tali sfoghi devono essere dimensionati per essere efficaci al massimo tasso di movimentazione del carico: in fase di caricazione essi devono far defluire i gas presenti in cisterna. Esse inoltre devono garantire una minima velocità di passaggio dei gas ed essere munite di una reti antifiamma, in modo da assicurare che lo sviluppo di una fiamma nei gas che escono causi un'esplosione in cisterna per "ritorno di fiamma". Se lo sfiato è realizzato *da un camino* per accelerare i gas, esso deve essere **alto almeno 6,0 metri sul ponte**, se invece si usano *valvole ad alta velocità* (con passaggi a sezione variabile che creano un "effetto eiettore"), queste potranno essere poste ad **un'altezza di soli 2,0 metri** ma devono garantire una **velocità di deflusso di almeno 30,0 m/s**. L'altezza minima di due metri garantisce dalla fuoriuscita del carico poiché le colonnette di rigurgito sono poste più in basso.

Impianto del gas inerte

Durante la scaricazione la cisterna viene riempita di *gas inerte* per evitare che i vapori emessi dal carico in presenza di aria formino *una miscela esplosiva*. Le fonti di innesco di scintille infatti sono varie, legate essenzialmente all'elettricità statica che si genera dallo sfregamento dell'idrocarburo sulle superfici degli impianti di scaricazione, soprattutto dove la velocità è più elevata.

Tali gas devono essere inerti, ovvero poveri di ossigeno in modo da rendere impossibile la combustione, o almeno da ostacolarne l'innesco.

L'esigenza d'utilizzo del gas inerte nasce dall'esistenza di un campo d'infiammabilità delle miscele di aria e vapori emessi dal liquido trasportato.

L'impianto per il gas inerte deve garantire in ogni cisterna del carico un'atmosfera inerte e ciò si fa con gas povero di ossigeno, perciò quando il sistema funziona a regime – ossia a nave carica o scarica e durante le operazioni di caricazione e scaricazione – esso garantisce dal rischio di esplosioni. Ci sono però situazioni che possono creare problemi, come per esempio quando si fa l'operazione di “gas freeing” con cui si rende la miscela respirabile per permettere l'ispezione e la manutenzione della cisterna.

Gas freeing: consiste nella ventilazione ad aria forzata delle cisterne, finché alla miscela ivi presente si sostituisce quasi completamente l'aria. Se tale operazione avviene a partire da una situazione in cui la miscela inerte è povera di vapori (punto a sinistra della linea di diluizione critica), non ci sono problemi, ma se la condizione di partenza corrisponde ad una situazione in cui l'atmosfera inerte si è arricchita di vapori, allora si deve fare attenzione a non attraversare l'area di infiammabilità.

L'arricchimento di vapori può essere causato per esempio da una sosta non operativa: in tale situazione il gas inerte può infatti arricchirsi di vapori del greggio a causa dell'evaporazione dai residui presenti sulle pareti e sul fondo. La miscela, pur non essendo pericolosa (la curva di miscelazione sarà molto bassa), può invece diventarlo quando si procede alla ventilazione.

Anche la condizione di riposo della cisterna dopo il gas freeing può essere pericolosa, infatti l'atmosfera in cisterna potrebbe arricchirsi di vapori di greggio giungendo ad una condizione di infiammabilità (la curva di miscelazione è molto alta). Per tale motivo, dopo il gas freeing è conveniente re-inertizzare la cisterna, cosicché la curva di miscelazione con i vapori sprigionati dai residui si abbassa fino a diventare sicura.

Impianto del gas inerte

Il *problema dell'innesco di esplosioni* è sentito in ogni locale chiuso ove si possono verificare perdite di idrocarburi (o dei loro vapori) e sul cielo delle cisterne del carico, quindi su tutto il ponte di coperta sono installati **macchinari “sicuri”**, per esempio con motori idraulici piuttosto che con motori elettrici. Il gas inerte può essere immesso in tutti quei locali dove non è previsto l'accesso alle persone. Nelle cisterne viene immesso durante la fase di scaricazione e costantemente rabboccato durante la navigazione sia a nave carica, sia a nave scarica (il pericolo di esplosione è molto alto quando le cisterne sono scariche e non perfettamente pulite).

Gli impianti per la produzione possono essere progettati per fornire la *massima portata durante la scaricazione* e una *portata parziale in navigazione*: nella prima condizione di funzionamento il generatore del gas può essere il bruciatore della caldaia che fornisce il vapore alle pompe del carico, nel secondo caso deve essere un bruciatore indipendente dedicato all'impianto.

Un'alternativa può essere rappresentata dall'utilizzo dei gas di scarico di un motore a combustione interna: in essi l'eccesso di ossigeno viene eliminato mandandoli come comburente in un bruciatore ad olio combustibile. In porto possono anche essere usati i gas di scarico del Diesel - generatore (non eccessivamente ricchi di zolfo).

Le condotte di adduzione alle cisterne corrono sul ponte di coperta fornendo una portata di gas inerte a bassa pressione *almeno pari al 125 % del massimo tasso di scaricazione delle cisterne*, considerando il numero di cisterne che vengono svuotate contemporaneamente. Sulle navi che richiedono una severa segregazione del carico l'impianto deve essere frazionato. Si rammenta che il sistema di distribuzione è in pressione perciò non si verifica il rischio di ingresso d'aria. Quando infine il gas entra nelle cisterne, essendo più pesante dell'aria di circa il 4,0 %, si deposita sul fondo perciò è necessario fare attenzione al rischio di formazione di pacchetti d'aria e vapori infiammabili –la miscelazione deve essere perciò favorita dal percorso di immissione.

Per evitare la sfuggita di gas inerte in ambienti presidiati dall'equipaggio, vengono predisposte opportune tenute idrauliche realizzate con sifoni d'acqua.

Impianto di lavaggio

Le cisterne devono essere infatti periodicamente pulite per rimuovere i sedimenti asfaltenici e paraffinici che si depositano sul fondo e che rimangono attaccati ad ogni superficie i quali, se non rimossi, riducono la capacità della cisterna ed ostruiscono i fori di passaggio dei madieri e dei paramezzali (nelle cisterne a semplice scafo).

Durante le normali operazioni di scarico dei prodotti petroliferi più pesanti si procede perciò al lavaggio, che viene effettuato con l'olio minerale trasportato in casse opportunamente predisposte, tale operazione prende il nome di **crude oil washing (COW)**. Con questa operazione si riducono i sedimenti da 1,0 % a circa 0,4 % del carico trasportato. L'olio usato deve essere adatto allo scopo, ossia non troppo viscoso, perciò, se il carico della nave non si presta per l'operazione, viene imbarcata una certa quantità di greggio più fluido.

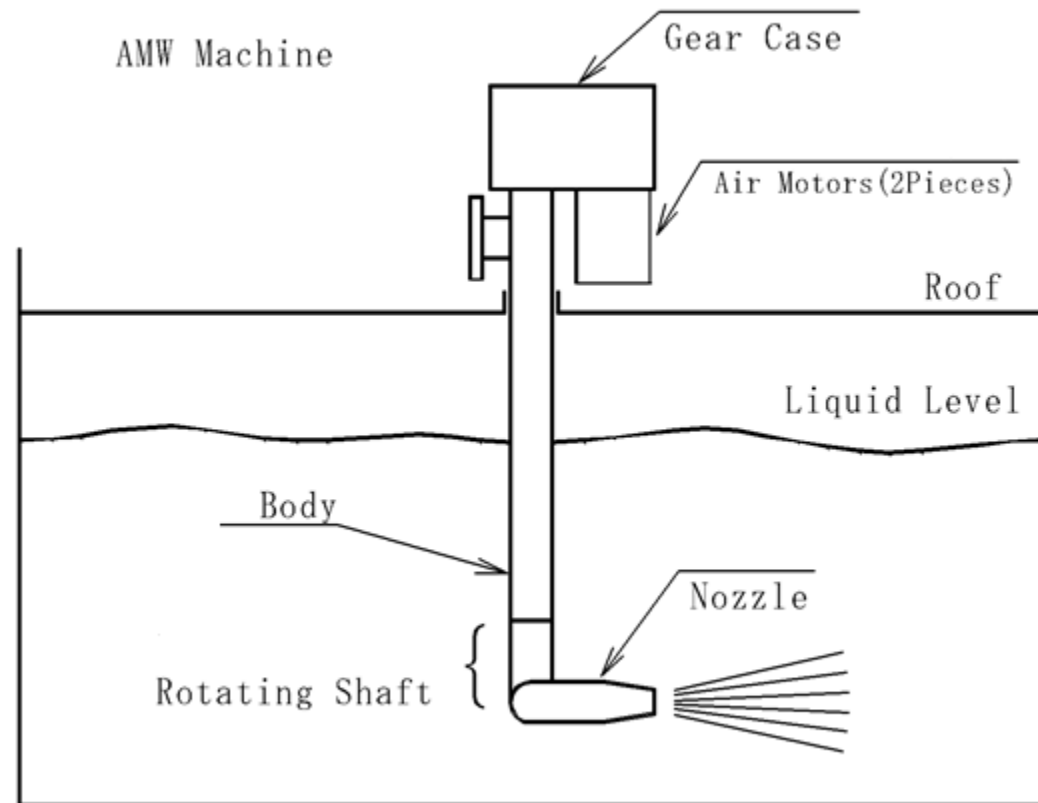
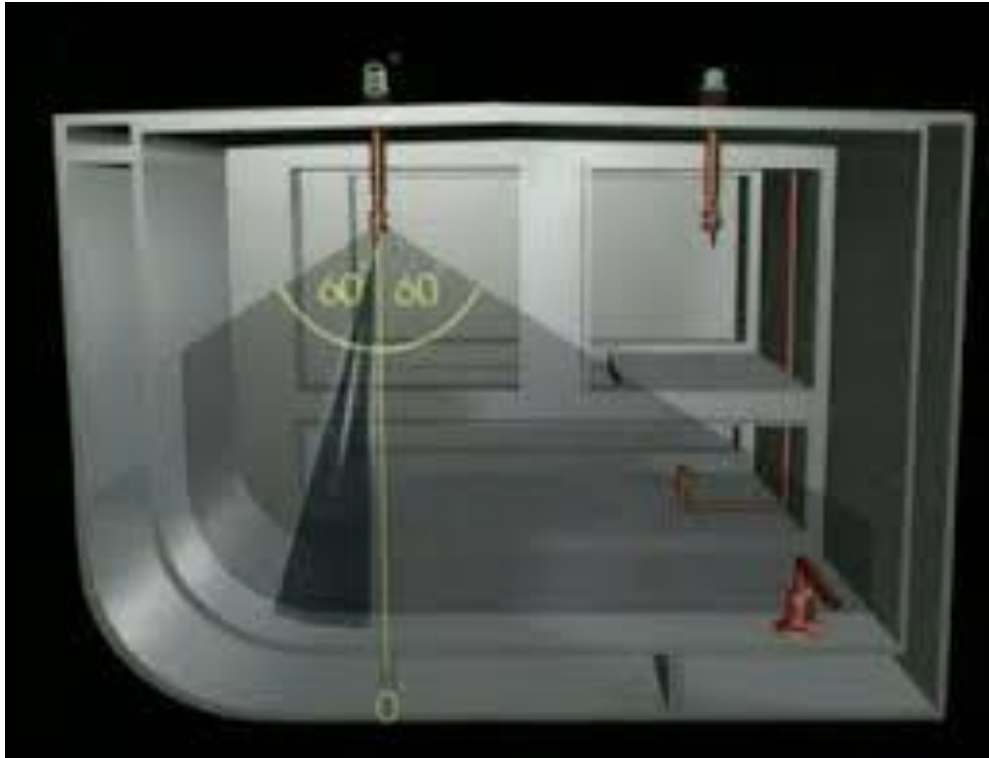
L'olio viene pompato dalla cassa in cui si trova e, percorrendo una condotta stesa sul ponte di coperta, raggiunge ogni stiva nella quale viene immesso tramite lance che generano un getto sulle superfici da lavare. Queste lance sono calate in stiva lungo un asse verticale e sono dotate di un meccanismo che le fa ruotare attorno a tale asse con alzate variabili: queste macchine lavatrici vengono indicate con il nome commerciale di "Butterworth" (le portate arrivano a 150 m³/h e la lunghezza del getto a 40 m con pompe di alimentazione che garantiscono all'ugello una pressione di circa 10 bar). La rotazione (1÷1,5 giri al minuto) e l'alzata sono sincronizzate allo scopo di orientare il getto prevalentemente sulle superfici che necessitano di un'azione maggiore di pulizia.

In ogni cisterna sono posizionate diverse macchine lavatrici.

Tale operazione viene effettuata durante la scaricazione della stiva, cosicché il getto viene prima orientato verso l'alto e poi, al calare del livello del carico, la lancia scende e comincia a pulire le fasce più alte delle paratie per giungere fino a quelle più basse alla fine della scaricazione.

L'olio che viene lanciato sulle superfici cola verso il fondo trasportando quello che era rimasto attaccato e viene aspirato assieme al carico. Il drenaggio continua anche dopo che è finito il lavaggio per continuare a raccogliere ciò che cola dalle superfici laterali.

Impianto di lavaggio



APPLICARE LE TECNICHE DEL DISEGNO E DELLA GRAFICA COMPUTERIZZATA NELLA CANTIERISTICA

MATERIALE DIDATTICO

- Dispense del corso di Allestimento Navale, a cura del Prof. Marco Biot. Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Navale, DIA Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Trieste
- Dispense del corso di Impianti e Allestimento Navale, a cura del Prof. Massimo Figari, con la collaborazione di S. Padroni e G. Filipasso. Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Navale, DITEN Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni, Università degli Studi di Genova

Ing. Serena Bertagna
sbertagna@units.it

Monfalcone, 29/10/2018

