

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Gestione della progettazione e della produzione:
le commesse "Container Water Injection" e
"Golar Gimi Lube Oil skid" in Flenco Fluid System**



Relatore:

Prof. Maurizio Schenone

Candidato

Filippo Bouquillon

A.A. 2018 - 2019

INDICE

ABSTRACT	4
1 L'AZIENDA ED IL GRUPPO	5
1.1 Organizzazione interna e varie sedi	6
1.2 Principali tipi di impianto prodotti	8
1.3 Tipologie di commessa	10
2 IL PROJECT LEADER E LO SVILUPPO DELLA COMMESSA.....	11
2.1 Il ruolo del Project Leader	11
2.2 Fasi di sviluppo della commessa	11
2.3 Fase di formulazione dell'offerta	13
2.3.1 <i>Esempio: supporto ufficio commerciale per preventivo acquisto heater</i>	14
2.4 Fase di analisi delle specifiche cliente e di progettazione di massima.....	16
2.4.1 <i>Esempio: correzione delle specifiche cliente</i>	17
2.5 Fase di acquisto dei componenti principali	18
2.5.1 <i>Esempio: selezione ed acquisto Flexible Hoses</i>	19
2.6 Fase di disegnazione e definizione del layout	21
2.6.1 <i>Esempio: design e dimensionamento supporti</i>	23
2.6.2 <i>Esempio: ideazione sistema passa-parete</i>	24
2.7 Fase di produzione	27
2.7.1 <i>Esempio: dimensionamento orifizi calibrati</i>	28
2.8 Fase di test e collaudo	31
2.9 Fase di redazione della documentazione	31
2.9.1 <i>Esempio: creazione Spare Part List</i>	32
3 PROGETTO WATER INJECTION CONTAINERS.....	34
3.1 Introduzione	34
3.2 Principali funzioni del Water Injection	34
3.3 Impatti in termini di costi e rendimento	36
3.4 Come è fatto un impianto di Water Injection classico	38
3.5 Impianto mobile di produzione di energia TM2500.....	38
3.6 Scope of supply	39
3.7 Specifiche ed informazioni di base fornite dal cliente	40
3.8 Schema funzionale dell'impianto P&ID	42
3.9 Funzionamento impianto	44
3.10 Problematiche e soluzioni adottate	48
3.10.1 <i>Problematica 1: Assicurare la trasportabilità su gomma dell'impianto</i>	48
3.10.2 <i>Problematica 2: Necessità di utilizzare materiali resistenti alla corrosione</i>	50
3.10.3 <i>Problematica 3: Necessità di un volume di accumulo molto elevato</i>	52
3.10.4 <i>Problematica 4: Modifica dei Gruppi di Pompaggio</i>	54
3.10.5 <i>Problematica 5: Contenimento vibrazioni</i>	56
3.11 Risultato finale.....	58

3.12 Fase di collaudo	59
4 IMPIANTO LUBE OIL GOLAR.....	62
4.1 Introduzione	62
4.2 Scopo e funzione delle navi FLGN	63
4.3 Scope of supply	63
4.4 Come è fatto un impianto di Lube Oil e il suo utilizzo.....	64
4.4.1 Lubrificazione turbine e compressori	64
4.4.2 Descrizione dell'impianto Lube Oil.....	65
4.5 Impianto Golar: particolarità, problematiche e soluzioni	71
4.5.1 Problematica 1: Design dello skid.....	71
4.5.2 Problematica 2: Predisposizione alla manutenzione del compressore.....	72
4.5.3 Problematica 3: Peso del compressore.....	76
4.5.4 Problematica 4: Presenza di sostanze infiammabili, Hazardous Area.....	78
4.5.5 Problematica 5: Certificazione DNVGL	79
5 CONCLUSIONE.....	85
APPENDICI.....	86
Appendix A – Test Procedure “Container water injection Skid”	86
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	88
RINGRAZIAMENTI	89

ABSTRACT

Il lavoro presentato in questo elaborato è il frutto dell'esperienza maturata all'interno dell'ufficio tecnico della Flenco Fluid System di Avigliana (TO), si è potuto entrare in diretto contatto con le attività del "Project Leader" di commessa, analizzandone le problematiche, le responsabilità, ma anche gli affascinanti casi ingegneristici che giornalmente, chi ricopre tale ruolo, è chiamato ad affrontare.

L'obiettivo da raggiungere, durante questa esperienza, era proprio dare il proprio contributo all'analisi e alla risoluzione di tutta una serie di problematiche che vengono a crearsi durante lo sviluppo di progetti innovativi. Si è potuto, quindi, mettere a frutto, in un contesto già altamente tecnologico ed ingegneristicamente valido, tutte le conoscenze e le metodologie acquisite durante il corso di Laurea Magistrale.

Durante la lunga fase di permanenza in azienda, si è collaborato a numerosi progetti, partecipando in modo attivo ad ognuno di essi in tutte le fasi di sviluppo delle commesse, dalla fase di richiesta di offerta del cliente al collaudo dell'impianto. Tuttavia, si è scelto, in questa sede, di concentrare l'attenzione principalmente su due di essi, per i quali il contributo apportato si è dimostrato più rilevante.

Per il primo progetto trattato si è seguita la progettazione e la produzione di un impianto di Water Injection commissionato all'azienda da General Electric, destinato ad una centrale mobile per la produzione di energia elettrica. La principale finalità dell'impianto è garantire l'abbattimento degli inquinanti prodotti dal gruppo turbogas di generazione dell'energia, mediante il controllo della temperatura di combustione. La necessità che il trasporto e l'installazione fossero più agili e veloci possibile, ha comportato un accurato ed innovativo studio del design e delle caratteristiche costruttive dell'impianto, volto all'ottimizzazione di tali fattori. La poca esperienza su simili impianti ha comportato l'insorgenza di alcune problematiche la cui risoluzione verrà ampiamente descritte nel corso dell'elaborato.

La seconda commessa, della quale si è seguita la fase di progettazione, consiste in uno skid Lube Oil destinato a fornire l'olio minerale ai cuscinetti idrodinamici di un compressore centrifugo di grandi dimensioni, di costruzione Nuovo Pignone (Baker Hughes). L'impianto in questione ha richiesto un meticoloso studio del design e un'attenzione particolare all'acquisto dei componenti, in quanto destinato ad essere installato a bordo di una nave FLNG per l'estrazione e la liquefazione di gas naturale. La particolare sede di installazione ha comportato, quindi, vincoli di spazio assai stringenti per il posizionamento degli items principali, la presenza carichi molto elevati posizionati sulla struttura che hanno richiesto particolari accorgimenti e l'utilizzo di fluidi infiammabili con zone a rischio esplosione da dover limitare e proteggere. Inoltre, si è dovuto far fronte alle difficoltà legate all'ottenimento di certificazioni navali di cui si aveva scarsa conoscenza.

1 L'AZIENDA ED IL GRUPPO



Figura 1: Logo della Flenco Fluid System

La Flenco Fluid System è un'azienda che ha come "core business" la progettazione e la realizzazione di impianti e sistemi ausiliari per macchine rotative come Turbine a Gas o compressori, utilizzabili principalmente nei settori Oil & Gas e Power Production.

Grandi compagnie come General Electric, Siemens, Baker Hughes, Mitsubishi e molti altri si affidano puntualmente a Flenco, grazie alla sua esperienza più che trentennale, per la realizzazione di impianti destinati ad essere utilizzati in ogni parte del mondo.

Realizzando impianti piuttosto grandi, con scarsa ripetibilità e dove la customizzazione e la partecipazione del cliente alla progettazione sono piuttosto importanti, l'azienda si pone sul mercato con un tipo di produzione che può essere definito "per commessa". Le commesse in questione spesso sono composte da un singolo impianto o da una serie di sistemi gemelli, per le quali il cliente spesso chiede un preventivo per poi assegnare il progetto all'azienda che si è dimostrata più competitiva. Spesso, oltre alla componente economica, vengono valutate dai clienti anche la velocità di consegna e la capacità di rispondere con proposte efficaci alle problematiche che ogni progetto presenta. Solo una volta ricevuto l'ordine l'azienda dà il via alle attività di engineering, purchasing dei componenti ed infine alla produzione vera e propria. Il tempo medio che intercorre tra la ricezione dell'ordine e la consegna del modulo completamente ultimato varia tra i 6 e i 9 mesi, chiaramente, esso dipende dalla grandezza e la complessità dell'impianto e dal grado di preingegnerizzazione compiuta dal cliente.

L'azienda fa parte di un Gruppo chiamato "Ilmed Group" formato da una serie di compagnie operanti sia nel settore industriale che come fornitrici di servizi.

Essa chiaramente rientra nella divisione industriale della quale fanno parte anche:

- "ilmed impianti": azienda che si occupa della progettazione e realizzazioni di impianti di raffreddamento industriale e di trattamento delle acque;
- "ilmed Ventilazione Industriale": azienda specializzata nella produzione di gruppi di ventilazione per applicazioni che necessitano di grandi portate.

Vi è, come già citato, anche una divisione che opera nell'ambito della fornitura di servizi, le aziende che ne fanno parte sono:

- "ilmed Logistics and Technologies": essa offre servizi di pianificazione e monitoraggio delle attività di logistica, gestione magazzini e stoccaggio, confezionamento e packaging di prodotti e merci il tutto con il supporto di tecnologie informatiche.

- “ilmed Immobiliare”: ramo del gruppo che si occupa principalmente di edilizia, con la realizzazione di infrastrutture sia civili che industriali, manutenzione di strutture già esistenti e gestione delle proprietà immobiliari.
- “Car Clinic”: Società che si occupa della riparazione di automobili, riqualificazione degli interni e delle carrozzerie, con servizi personalizzati e a domicilio.



Figura 2: Aziende del gruppo ilmed

1.1 ORGANIZZAZIONE INTERNA E VARIE SEDI

L'organizzazione aziendale è divisa per funzioni in modo tale che ogni ufficio o dipartimento abbia dei compiti ben precisi ed una ben definita gerarchia per ridurre il più possibile i costi di gestione e ottimizzare tutte le attività svolte. Una gestione agile, dinamica e senza sovrapposizioni o vuoti di potere permette di ridurre al minimo i tempi di risposta sia in fase di quotazione, dove è opportuno essere veloci e precisi nel proporre i preventivi per competere con i concorrenti, sia nella fase di elaborazione dei progetti e produzione vera e propria per poter ridurre il delivery time dei prodotti. Questi fattori, oltre al contenimento dei costi, sono le principali caratteristiche che un'azienda del settore deve avere, in un mercato sempre più dinamico ed attento agli sprechi, per ottenere la soddisfazione del cliente ed una giusta rendita economica.

I gruppi funzionali che si possono individuare sono:

- Ufficio Commerciale: il quale si occupa di ricevere le richieste di quotazione dai clienti, elaborare dei preventivi nel modo più preciso possibile ed al minor tempo possibile, ricevere ed elaborare infine gli ordini ricevuti dai clienti.
- Ufficio Tecnico: dove si svolgono tutte le attività di progettazione, design, disegnazione, selezione dei componenti, analisi delle specifiche cliente. È il cuore pulsante dell'ingegneria dell'azienda.
- Ufficio Acquisti: Il quale si occupa di implementare gli acquisti approvati dall'ufficio tecnico, contrattando con i fornitori, definendo le questioni economiche e burocratiche e tenendo sotto controllo le tempistiche e le modalità di pagamento e spedizione.

- Stabilimenti Produttivi ed uffici annessi: racchiude tutto il personale che si occupa di gestire la produzione, i turni di lavoro, programmare le attività e garantire la soddisfazione dei fabbisogni di personale e di materie prime, nonché e tempistiche di produzione.
- Amministrazione: si occupa della gestione finanziaria dell'azienda, il marketing, di proporre e delineare le strategie societarie, di tenere la contabilità e scrivere i bilanci.

Il quartier generale dell'azienda è situato nella cittadina di Avigliana in Provincia di Torino, dove vi hanno sede l'amministrazione e gli uffici principali sia commerciali che di engineering, le attività che si svolgono sono quelle competenti ai seguenti gruppi funzionali:

- Ufficio tecnico
- Ufficio acquisti
- Ufficio commerciale
- Amministrazione



Figura 3: Foto sede di Avigliana (TO)

È quindi il luogo dove i progetti e le strategie societarie nascono e si sviluppano, dove tutto viene studiato, trascritto e documentato per poter procedere alla successiva fase di produzione vera e propria dell'hardware. Una sede analoga, anche se di minor dimensione è quella di Calenzano (FI) dove sono presenti uffici che svolgono le stesse mansioni.

Per quanto riguarda la produzione vera e propria invece, la presenza sedi di Flenco è forte sia in Italia che all'estero e si compone di 3 stabilimenti principali:

- Lo stabilimento in territorio nazionale è situato a Trino Vercellese (VC)
- Stabilimento ancora maggiore in termini sia di personale che di capacità produttiva in generale e quello di Ptuj in Slovenia, stabilimento strategico per garantire la presenza di Flenco sul panorama Europeo.
- Ancora più "internazionale" è lo stabilimento di Ning Bo in Cina, ancora di dimensioni ridotte rispetto ai precedenti, ma volto a estendere la presenza dell'azienda anche ai mercati asiatici sempre più in fase di sviluppo.



Figura 4: Fotografia dello stabilimento produttivo di Ptuj (SLO)

Negli stabilimenti citati le attività che abitualmente si svolgono sono molte e ben distribuite nei vari reparti:

- Lavorazione ed assemblaggio della carpenteria metallica: ha il principale scopo di costruire i basamenti di supporto ai componenti installati, i serbatoi atmosferici dove verranno contenuti i liquidi di processo e in generale tutte le parti che hanno valenza strutturale degli impianti.
- Lavorazione e saldatura delle tubazioni: attività tipica del settore nel quale la presenza di condutture di ogni genere e dimensione è molto elevata. Trattando spesso con fluidi pericolosi e con pressioni e temperature elevate, questa attività è sicuramente una delle più delicate effettuate dall'azienda.
- Verniciatura e rivestimenti superficiali: attività scaturita dal fatto che gli impianti, spesso operativi in zone sfavorevoli, hanno la necessità di strati protettivi di varia natura per assicurare la durevolezza e la continuità di esercizio delle proprie funzioni.
- Test non distruttivi: data la pericolosità dei processi installati negli impianti prodotti ed il largo utilizzo di saldature, ha fatto sì che fosse necessario allestire una zona predisposta all'esecuzione di test non distruttivi finalizzati al controllo qualità.
- Assemblaggio: Una volta che i componenti necessari a comporre un modulo sono acquistati o fabbricati internamente, si procede anche con l'assemblaggio della macchina, la realizzazione del tubing per la strumentazione e del cablaggio elettrico. terminate queste operazioni, si svolge il posizionamento dell'isolante termico e dei sistemi antigelo, oltre che il posizionamento dei sensori e dell'elettronica di controllo.
- Collaudo: nelle fasi conclusive di consegna, è d'abitudine collaudare l'impianto prima che lasci le officine Flenco. Sono, a tal proposito, installate tutta una serie di apparecchiature e banchi prova in grado di simulare perfettamente le condizioni operative di una vasta gamma di impianti che l'azienda usualmente produce e capaci, quindi, di verificarne il funzionamento nel modo più preciso possibile.

1.2 PRINCIPALI TIPI DI IMPIANTO PRODOTTI

La Gamma di prodotti Forniti abitualmente dalla Flenco è molto vasta e non si limita alla sola fornitura dell'Hardware principale, ma comprende anche la fornitura di parti di ricambio, la possibilità di

interventi in sito, l'istruzione e la preparazione degli operatori che andranno ad agire sull'impianto e molto altro.

Ciò nonostante, è chiaro che la maggior parte delle attività sia dal punto di vista ingegneristico che produttivo ruotano intorno alla realizzazione degli impianti. Essi possono di essere di varia tipologia ma, in genere sono forniti in moduli, detti skid, composti da un basamento che ha lo scopo di fornire il supporto e rigidità strutturale sul quale vengono alloggiati i componenti principali, la strumentazione, le tubature ed il cablaggio elettrico sia di controllo che di potenza.

Le principali tipologie di Impianto realizzate da Flenco sono:

- Unità Lube Oil: unità di lubrificazione, che hanno lo scopo di fornire nelle giuste quantità e nelle opportune modalità l'olio lubrificante ai cuscinetti delle grandi macchine operatrici e motrici rotative.
- Unità Gas/Liquid Fuel: moduli che hanno la funzione di fornire il combustibile necessario al funzionamento dei gruppi turbogas per la produzione di energia elettrica.
- Seal Gas/oil Panel: skid che hanno come principale incarico quello di gestire i fluidi impiegati per sigillare nel modo migliore possibile le tenute delle macchine rotative in modo tale da non disperdere il fluido di processo elaborato dalla macchina stessa.
- Unità Purge air: moduli che hanno lo scopo di pulire dai residui di combustibile le tubazioni di alimentazione dei gruppi turbogas. Essi sono utilizzate soprattutto quando è prevista la possibilità di cambiare tipologia di combustibile, ad esempio da liquido a gassoso.
- Unità demi water: unità che trattano acqua demineralizzata allo scopo di effettuare la pulizia delle tubazioni o di iniettare la stessa in camera di combustione dei processi di water injection.

All'interno di ogni tipologia le linee guida costruttive sono spesso indicate dalle normative di riferimento, in genere API (American Petroleum Society) per il settore Oil & Gas ed ASME (American Society of Mechanical Engineering) per il settore Power Production, le quali forniscono la base di partenza per la progettazione e la realizzazione degli impianti.

Tuttavia, gli impianti moderni che richiedono un grado di dettaglio sempre più alto, la necessità di contenimento dei costi, la disponibilità di spazi sempre minori, le politiche ambientali e di risparmio energetico, stanno pian piano portando il mercato a richiedere una customizzazione dei prodotti man mano più elevata, è per questo che l'attività di ingegneria intorno alla produzione di questo genere di impianti affronta sfide sempre nuove ed interessanti. Nella quasi totalità delle volte, infatti, il nuovo impianto da produrre va pensato e progettato secondo esigenze del cliente sempre differenti, adattandolo alle numerose variabili che intervengono.

Spesso gli impianti vengono installati in aree geografiche totalmente opposte, dal deserto all'artico, con temperature che oscillano tra i -40 e i 50 °C; essi devono spesso essere adattati a modelli molto differenti di gruppi turbogas o compressori aventi esigenze di pressione, temperatura e tipo di fluido molto ampie; Essi hanno la necessità di essere collocati in ambienti industriali, corrosivi, marini, esposti agli agenti atmosferici dei quali bisogna tenere conto ecc.

E' proprio basandosi tutte queste considerazioni che l'ufficio tecnico Flenco e, in particolare, la figura del Project Leader apportano il proprio contributo ingegneristico.

1.3 TIPOLOGIE DI COMMESSA

Un altro tipo di classificazione delle commesse può essere fatta prendendo come elemento discriminatorio il tasso di ingegnerizzazione già effettuato dal cliente e quindi, di conseguenza, anche la misura del contributo apportato dall'ufficio tecnico Flenco.

- Tipologia Build to Print: questa è la tipologia di commessa con il più basso contributo apportato dall'ufficio tecnico. Il sistema, infatti, è completamente progettato dal cliente, il quale fornisce già gli schemi funzionali, le Bill Of Material contenenti tutti i componenti da installare ed una bozza di modello 3D da seguire nella definizione del layout finale. Inoltre, una serie di le specifiche tecniche riportano le informazioni relative alle tubazioni, impianto elettrico, componenti principali, strumentazione, materiali da utilizzare; con tanto di modelli e fornitori assegnati dai quali occorre reperire gli items. Il contributo dell'ufficio tecnico, anche se limitato, non è tuttavia trascurabile. Esso è fondamentale sia per l'azione di supervisione del lavoro svolto dal cliente, controllando che non vi siano sviste, incongruenze, mancanze di ogni genere, sia per la risoluzione di tutta una serie di problematiche che abitualmente vengono a manifestarsi solo una volta iniziata la produzione dell'impianto.
- Tipologia Build to Spec: Procedendo in ordine crescente per quanto riguarda la partecipazione dell'ufficio tecnico, vi è questa tipologia di commessa che è caratterizzata dal fatto che il cliente fornisca gli schemi funzionali dell'impianto (P&ID) e una serie di specifiche che identificano le caratteristiche principali ricercate per i componenti. Nella maggior parte dei casi, essi dovranno essere selezionati da chi gestisce la commessa in seguito ad un lavoro di sondaggio del mercato e di confronto con le offerte pervenute dai fornitori degli items. Altra differenza con la precedente tipologia sta nel fatto che tutti i disegni, sia tridimensionali che le messe in tavola, i piping sketch per l'assemblaggio e la costruzione delle tubazioni e, in generale, tutto quello che riguarda il design dell'impianto è a carico dell'ingegneria Flenco.
- Tipologia Build to spec atipica: molto simile alla precedente, con la differenza che anche gli schemi funzionali e la selezione delle caratteristiche principali dei componenti principali e della strumentazione sono decisi in collaborazione tra il cliente e l'ufficio tecnico Flenco. Questo caso è comunque assai raro e si presenta esclusivamente quando il progetto da realizzare è talmente particolare e nuovo che il cliente non possiede un bagaglio di esperienza sufficiente. Egli dunque si affida all'esperienza dell'ufficio tecnico Flenco per poter arrivare ad una soluzione soddisfacente.

2 IL PROJECT LEADER E LO SVILUPPO DELLA COMMESSA

Si intende ora fornire una visione generale su come si articola il processo di realizzazione di una commessa dalle fasi iniziali fino alla sua completa ultimazione. Durante l'esposizione e la descrizione delle varie fasi, inoltre, verrà approfondito in modo particolare il ruolo del "Project Leader", in modo tale da porre in risalto le attività che, lo studente, ha avuto modo di svolgere durante il periodo di tirocinio e di stesura della tesi presso l'azienda per quanto riguarda i progetti seguiti.

2.1 IL RUOLO DEL PROJECT LEADER

Il Project Leader è un ruolo di recente introduzione nel tessuto aziendale, esso deriva, dall'accorpamento delle mansioni di due diverse figure che precedentemente gestivano in tandem lo sviluppo della commessa: il Project Engineer e il Project Manager.

- Il Project Engineer era il responsabile tecnico della commessa, colui che si occupava quindi della scelta dei componenti, della gestione della documentazione, oltre ad assicurarsi che la progettazione fosse in accordo alle specifiche clienti ed a supervisionare la disegnazione.
- Il Project Manager al contrario era la figura avente la responsabilità del progetto dal punto di vista più strettamente gestionale. Egli si occupava, infatti, del coordinamento di tutti gli organi aziendali che interagivano nello sviluppo della commessa, della determinazione del planning che definiva le varie fasi di progresso della commessa, della gestione del budget e di gestire i continui confronti di natura economica con il cliente.

La nuova organizzazione aziendale, succeduta ad un cambio di rotta ai vertici del management ha fatto sì, quindi, che tutte le responsabilità e al contempo il potere decisionale, fossero concentrate in una sola persona avente il titolo di "Project Leader".

Egli, dunque, si trova ad operare in diversi contesti e con diverse azioni a seconda dello stato di progressione della commessa, dalla partecipazione alla gara di acquisizione del progetto, alla consegna al cliente dello skid finito e pronto ad entrare in servizio.

2.2 FASI DI SVILUPPO DELLA COMMESSA

Il procedere della commessa all'interno dell'azienda inizia con la richiesta di offerta da parte del cliente, la quale viene raccolta dall'ufficio commerciale che sviluppa un progetto preliminare al fine di calcolare un preventivo e formulare l'offerta commerciale ufficiale.

Il destino della commessa può già interrompersi, se l'offerta è valutata in modo negativo dal cliente, infatti, egli non procederà con la conferma dell'ordine assegnando il lavoro ad un'altra azienda. Se al contrario l'offerta è considerata valida, il cliente confermerà il preventivo ed emetterà l'ordine attraverso un documento ufficiale chiamato "Purchase Order".

In tale documentazione sono contenute tutte le richieste del cliente per l'impianto in questione oltre alle informazioni necessarie alla progettazione ed alla produzione per quanto riguarda la tipologia di impianto, i parametri di processo, il sito di installazione, le certificazioni da prevedere e, alle volte, anche la BOM (Bill Of Material) dei componenti e la lista dei materiali da utilizzare.

Una volta ricevuto il PO vi è l'apertura di commessa vera e propria, si effettua infatti un meeting di apertura chiamato "kick-off Meeting" al quale partecipano gli esponenti dei vari organi aziendali che si occuperanno del progetto in questione. In genere ne fanno parte il personale dell'ufficio commerciale che ha effettuato l'offerta, il Project Leader che prenderà in carico il progetto, il responsabile dell'ufficio acquisti, il disegnatore che effettuerà la modellazione 3D dell'impianto, il progettista della parte elettrica e l'ingegnere che si occuperà della produzione in stabilimento.

La riunione in questione è di importanza fondamentale in quanto tutte le informazioni accumulate dall'ufficio commerciale durante la stesura dell'avanprogetto vengono trasmesse agli altri organi che prenderanno in carico la commessa al fine di facilitarne il lavoro. Oltre a ciò, si effettua il planning di produzione della commessa dove si individuano delle date fondamentali di inizio e fine delle varie fasi e si compila il preventivo esecutivo nel quale vengono dettagliati i budget di spesa previsti per i componenti e la produzione.

Una volta terminato il "Kick-off Meeting" la fase di ingegnerizzazione può finalmente iniziare, in questa fase vi è la progettazione vera e propria dell'impianto con la scelta dei componenti principali, della strumentazione necessaria, la definizione delle linee di tubazione da installare, le caratteristiche del basamento e la struttura portante. Vengono anche realizzati i modelli 3D e gli sketch costruttivi che lo stabilimento produttivo utilizzerà per la costruzione e compilate tutte le liste dei materiali necessari a realizzare le strutture di carpenteria metallica. La fase di produzione infatti inizia, in realtà, prima del termine della fase di progettazione, lavorando in parallelo ad essa in modo da ottimizzare i tempi accorciando il Delivery Lead Time. E chiaro dunque che in questa fase vi è una stretta collaborazione tra il team che cura la costruzione dell'impianto negli stabilimenti produttivi e l'ufficio tecnico che ne guida l'operato.

Una volta terminata la produzione, l'impianto ultimato deve essere collaudato ed i suoi componenti testati, prima di essere consegnato al cliente verificando che tutto funzioni in modo corretto. Una volta terminate le operazioni di test, i moduli vengono imballati e preparati accuratamente al trasporto in modo che non subiscano danni durante gli spostamenti fino al sito produttivo.

Dopo la consegna, la commessa termina con un meeting conclusivo dove si valuta la riuscita della commessa sia in termini tecnici che economici ponendo in evidenza le problematiche riscontrate in essa in modo tale da raccogliere preziosi feedback informativi da utilizzare per le successive commesse.

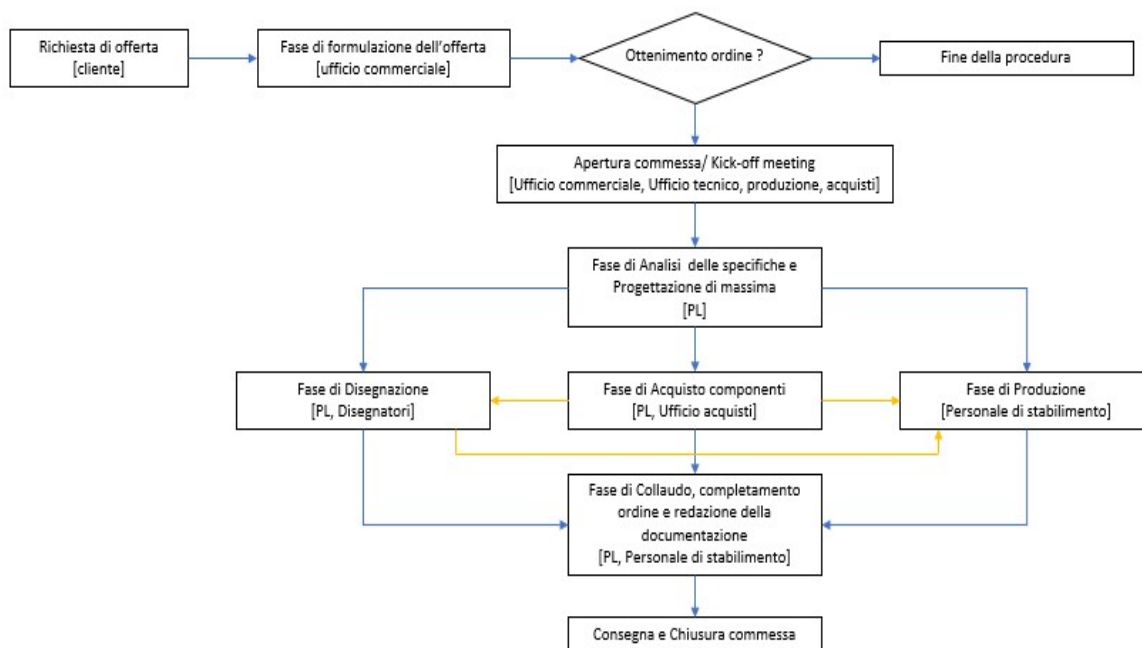


Figura 5: Schema di flusso dello sviluppo della commessa

In questa sede, quindi, si è scelto di ripercorrere tutte le fasi che si attraversano durante lo sviluppo delle commesse, evidenziando in modo sostanziale il ruolo che il Project Leader ha in ognuna di esse. Questa disamina è anche utile al fine di illustrare il contributo che il tesista ha potuto apportare alle commesse da lui affrontate durante il periodo di tirocinio in azienda, affiancando il Project Leader e facendone, in molti casi, le veci. A tal proposito verranno anche proposti dei brevi esempi esplicativi di attività abitualmente svolte.

2.3 FASE DI FORMULAZIONE DELL'OFFERTA

La prima Fase inizia una volta che il cliente invia una richiesta di quotazione e preventivo riguardante un progetto o uno skid che ha bisogno di realizzare. La richiesta viene raccolta dall'ufficio commerciale che si attiva al fine di formulare un'offerta nel minor tempo possibile, nel giusto grado di dettaglio e soprattutto che sia corretta dal punto di vista economico. L'importanza di un preventivo corretto per l'azienda infatti è di fondamentale importanza, poiché una valutazione errata in eccesso, quindi un'offerta troppo alta, comporterebbe la perdita della gara a favore delle aziende concorrenti, mentre un'offerta fatta ad un valore troppo basso, comporterebbe una perdita economica rilevante per l'azienda non raggiungendo il giusto profitto.

E' proprio per la criticità di questa fase che molto spesso, soprattutto in caso di progetti nuovi o particolarmente difficili da stimare, che l'ufficio tecnico accorre in supporto dell'ufficio commerciale al fine di analizzare al meglio le situazioni più a rischio di errore. Effettuare un preventivo, infatti, corrisponde molte volte all'effettuare una progettazione di massima, in modo tale da stimare i costi di acquisto delle materie prime e dei componenti principali, oltre che alle ore di manodopera e di ingegneria da imputare alla commessa. Questo avanprogetto, comunque, non può necessariamente

essere troppo dettagliato, sia per il poco tempo a disposizione per studiarlo, sia per evitare che troppe risorse siano concentrate su un'offerta per la quale non si ha la certezza di ricevere un ordine.

È opportuno quindi prima di tutto individuare quali sono gli aspetti sul quale porre una maggiore attenzione e quali invece necessitano di uno studio meno accurato. È grazie alle conoscenze di natura “tecnica” dei Project Leader, che sono chiamati in causa in questa fase, che molto frequentemente si riesce ad evitare errori di valutazione e ad aggiudicarsi gli ordini con un buon margine di profitto.

2.3.1 Esempio: supporto ufficio commerciale per preventivo acquisto heater

Questo primo caso si riferisce alla quotazione di un piccolo skid dove l'elemento principale era costituito da un riscaldatore elettrico da 800 kW di potenza che doveva fungere da surriscaldatore per del vapore d'acqua circolante in una tubatura. Oltre a questo, item vi erano da installare tutta una serie di valvole necessarie a gestire il flusso di vapore e ad isolare all'occorrenza il riscaldatore chiudendo le tubazioni principali. La quotazione di questa commessa, anche se comprendente un numero esiguo di componenti rispetto ad impianti più elaborati, si è rivelata piuttosto complessa, tanto che anche l'ufficio tecnico vi ha partecipato in modo attivo. Lo scrivente in questa circostanza ha partecipato al team di 2 persone scelto per analizzare le specifiche cliente, confrontarle con la quotazione preliminare effettuata dall'ufficio commerciale e trovare le eventuali discrepanze che, ad opinione dei due tecnici, avrebbero costituito un danno economico.

Prima importante valutazione effettuata in ausilio all'ufficio commerciale è stata la correzione della valutazione relativa alla cabina elettrica contenente le connessioni ed i controlli di potenza necessari ad alimentare il riscaldatore. Il costo del cabinato, di notevoli dimensioni, e della componentistica elettrica era stato valutato in base al costo sostenuto per un item, acquistato per un'altra commessa, ritenuto inizialmente del tutto simile a quello in questione.

Tuttavia, il cabinato elettrico utilizzato per la valutazione aveva delle diversità, all'apparenza poco rilevanti, ma che in realtà dopo un attento studio si sono dimostrate fondamentali.

Una su tutte è stata il grado di protezione IP, “*international protection*”, che il componente poteva vantare. Esso è un parametro, definito dalla norma IEC 60529, che indica il grado di protezione di un quadro elettrico, o di un involucro meccanico in generale, all'intrusione di particelle solide o all'accesso di liquidi. Esso si basa su un codice numerico composto da due cifre, la prima indica il grado di protezione al particolato, la seconda la resistenza alle infiltrazioni d'acqua, più sono alte le cifre, maggiore è la protezione.

Il grado di international protection dell'involucro su cui si è basata la valutazione economica era IP54, mentre, analizzando le specifiche ottenute dal cliente, si è scoperto che il grado di protezione richiesto per il nuovo progetto era di IP65, superiore in entrambe le cifre.

3.3 Junction Box

All Outdoor Junction Boxes shall be at least in Stainless Steel 316L (NEMA 4X or equivalent IP65).

Figura 6: i requisiti dei quadri elettrici

La differenza di questo indice si è rivelata assolutamente non trascurabile sia a livello tecnico che, cosa più importante in fase di preventivo, sul piano economico. Il grado di protezione così alto per un involucro di così ampie dimensioni (lunghezza 3800 mm, larghezza 600 mm, altezza 2300 mm) imponeva degli accorgimenti tecnici non indifferenti, il cabinato infatti doveva necessariamente venire isolato e pressurizzato, il che rendeva molto difficile la dissipazione del calore generato internamento per effetto Joule data la grande potenza richiesta dal riscaldatore. Si sono dovuti infatti predisporre per questo item dei sistemi di raffreddamento e ventilazione piuttosto sofisticati il cui costo, molto più alto rispetto a quello inizialmente preventivato, avrebbe eroso completamente i profitti possibili dalla commessa rendendola fallimentare.

Altra insidia nascosta nell'impianto prontamente rilevata, che poteva rivelarsi fatale in fase di offerta, era costituita dalla presenza, come fluido di processo, di vapore ad alte temperature. Le caratteristiche del fluido sono state descritte mediante una specifica fornita dal cliente di cui è riportato un piccolo stralcio.

Design

3.1.1 Superheater Design Process Conditions

3.1.1.1	Minimum Inlet Pressure / Temperature:	6 barg / 159 °C
3.1.1.2	Normal Inlet Pressure / Temperature:	10 barg / 180 °C
3.1.1.3	Maximum Inlet Pressure Temperature:	14 barg / 394 °C
3.1.1.4	Design Inlet Pressure / Temperature:	14 barg / 425 °C
3.1.1.5	Nominal Design Steam Flow at 394°C exit temp:	1440 kg /hr
3.1.1.6	Maximum Design Steam Flow at 394°C exit temp:	2715 kg/hr
3.1.1.7	Exit Maximum Steam Temperature:	425°C
3.1.1.8	Maximum Pressure Drop at design flow:	0.7 barg
3.1.1.9	Shell Design Temperature:	Per supplier
3.1.1.10	Shell Design Pressure:	Per supplier
3.1.1.11	Minimum Design Steam Flow:	Per supplier

Figura 7: le caratteristiche del fluido di processo

In prima battuta, tutte le valvole presenti nell'impianto, erano state quotate in base alle normali valvole, largamente utilizzate da Flenco nella produzione di impianti di questo tipo, destinati al riscaldamento di olio lubrificante o di combustibile. Tali valvole però in genere sono utilizzate su tubature che veicolano un fluido di processo a temperature intorno ai 50/60 °C ben inferiori ai 400 °C raggiunti dal vapore nell'impianto in questione. Le guarnizioni ed i sistemi di tenuta delle valvole inizialmente quotate infatti erano costituiti in materiale pratico come "PEEK" o "PTFE", le cui temperature massime di utilizzano sfiorano appena i 200 °C.

- Painting and packing specification: specifica che presenta le caratteristiche della verniciatura e, in generale, degli strati di rivestimento che il cliente desidera avere per l'impianto. Inoltre, viene spesso descritto il tipo di trasporto e di imballaggio con il quale si desidera far giungere a destinazione lo skid in modo tale da assicurarsi l'assenza totale di danni.
- Outline Drawing e P&ID: Alle volte il cliente, per facilitare la progettazione, meglio chiarire le sue necessità e qualora abbia già una vasta esperienza sulla tipologia di impianto richiesta, fornisce insieme alla documentazione una serie di disegni raffiguranti la bozza preliminare dello skid o lo schema funzionale dell'impianto. Questi disegni vanno tenuti in considerazione in fase di progettazione e designazione perché riportano anche i "Terminal Point", ovvero le posizioni dei punti di collegamento tra lo skid costruito da Flenco e il resto dell'impianto con il quale ci si deve interfacciare.

In questa fase il Project Leader è in diretto contatto con gli esponenti dell'Engineering del cliente in modo tale da chiarire al meglio ogni incomprensione e valutare eventuali incongruenze tra le specifiche ed errori di progettazione. Molto spesso, già in questa fase, mediante la supervisione e l'ausilio del PL e dell'ufficio tecnico in generale, si riesce ad ottimizzare al massimo l'impianto e definire in modo efficace tutte le informazioni necessarie a far cominciare le fasi successive di designazione e produzione.

In questa fase ad affiancare il PL vi è anche l'esperto della parte elettrica che analizza le specifiche relative al cablaggio, alle certificazioni elettriche, ai componenti di collegamento da usare, le cassette di giunzione ed oltre. Egli confrontandosi con il PL, partecipa anche all'individuazione delle caratteristiche dei sensori, delle strumentazioni dell'eventuale sistema di controllo.

2.4.1 Esempio: correzione delle specifiche cliente

Il caso portato come esempio riguarda un progetto nel quale la strumentazione era stata già selezionata dal cliente, il quale ha trasmesso le informazioni riguardanti gli strumenti da acquistare tramite delle apposite specifiche.

In questo caso, tuttavia, alla lettura della documentazione, è stato subito evidente che vi fossero degli errori sostanziali. Le specifiche strumenti, infatti, indicavano un sistema di montaggio utilizzabile esclusivamente per un utilizzo "locale" degli stessi, con un ancoraggio adatto ad essere posizionato direttamente sulle tubazioni. Tutti gli strumenti, al contrario, dovevano essere alloggiati in un apposito pannello strumenti (Gauge Board) il che implicava, quindi, l'utilizzo di un sistema di montaggio completamente diverso.

INSTRUMENTS SELECTED BY BHGE & PURCHASED BY MLO CONSOLE SUPPLIER - MOUNTED LOCALLY ON THE TANK (or) ON OIL PIPELINES <1>						
ITEM	Q.TY	DESCRIPTION	ITN / SPEC	PURCHASE CODE	VENDOR	REV
13	1	LIT-40101	ITN66081	RT0065744124E (2" ANSI 150# Process connection)	MAGNETROL	
14	1	THERMOWELL FOR TI-40105	SOM6911641	RPO5622975 (1" threaded TW)	THERMOENGINEERING	
15	1	THERMOWELL FOR TI-40102	ITN40715	RPO303430911 (1 1/2" ANSI 300# TW)	THERMOENGINEERING	
16	1	TE-40115 + TW	ITN62698	RPO263721900A (TE shall be in AISI316L material, insertion length = 900 mm & 1 1/2" ANSI 300# RF)	THERMOENGINEERING	
17	1	TE-40107 A/B + TW	ITN62698	RPO264041300A (TE shall be in AISI316L material, 1" threaded TW & Duplex type)	THERMOENGINEERING	
INSTRUMENTS SELECTED BY BHGE & PURCHASED BY MLO CONSOLE SUPPLIER - MOUNTED ON LOCAL GAUGE BOARD (GB3) <1>						
18	1	TI-40102 <1>	ITN66506	RT0729058605 (Capillary type to install TI on GB-3, Capillary 3 mts)	WIKA	
19	1	TI-40105	ITN66506	RT0614595045 (Capillary type to install TI on GB-3, Capillary 9 mts)	WIKA	
20	1	PDIT-40109	ITN66187	RT0714203173	EMERSON	
21	2	TIT-40107 A/B	ITN66212	RT0744087512	EMERSON	
22	1	PIT-40107	ITN66236	RT0846153178	EMERSON	
23	1	PIT-40116	ITN66236	RT0846143178	EMERSON	
24	2	PDIT-40115 A/B	ITN66187	RT0713083173	EMERSON	
25	1	TIT-40115	ITN66212	RT0744087512	EMERSON	
26	1	PI-40102	ITN66418.02	RMO419744673	WIKA	
27	1	PI-40103	ITN66418.02	RMO419744673	WIKA	
28	1	PI-40118	ITN66418.02	RMO419724673 (Gauge to be provided with IP 66)	WIKA	
29	1	PDI-40117	ITN66422	RMO452353161	WIKA	
30	-	Manifold	RV-710060121	RV0710060121	INDRA	

Figura 9: Esempio specifica cliente contenente le informazioni sulla strumentazione

Si è quindi provveduto a contattare il cliente ed avvertirlo dell'incongruenza, evitando così possibili problemi di montaggio in fase di produzione. Il breve esempio riportato è solo uno dei tanti casi dove la supervisione critica dell'ufficio tecnico alle specifiche proposte dal cliente ha potuto evitare errori grossolani.

7th digit - Assembly, dial Ø and Area Classification

2 = Ø100	fitted on tubing (radial attachment)	for Safe Area
3 = Ø160	fitted on tubing (radial attachment)	for Safe Area
4 = Ø100	panel mounted with flange (radial attachment)	for Safe Area
5 = Ø160	panel mounted with flange (radial attachment)	for Safe Area
6 = Ø100	fitted on tubing (radial attachment)	for Hazardous Area
7 = Ø160	fitted on tubing (radial attachment)	for Hazardous Area
8 = Ø100	panel mounted with flange (radial attachment)	for Hazardous Area
9 = Ø160	panel mounted with flange (radial attachment)	for Hazardous Area

8th digit - Mechanical protection / Connections

0 = IP65 / 1/2" NPT-M

Figura 10: Esempio di Mark-up forniti al cliente per la correzione delle specifiche

2.5 FASE DI ACQUISTO DEI COMPONENTI PRINCIPALI

Al termine della precedente fase, qualora non fosse già stata fornita in fase quotazione dal cliente, Il PL procede con la compilazione di una lista di tutti i componenti da installare sull'impianto chiamata BOM (Bill Of Material). Una volta ottenuta tale lista e definite le caratteristiche principali dei componenti è possibile cominciare la fase di "Purchasing" degli stessi, chiedendo offerte ai fornitori e selezionando le proposte più competitive.

In ottica di ottimizzazione delle tempistiche di produzione dell'impianto in questa fase si dà la precedenza all'acquisto dei componenti con delivery più lunga in modo tale che non si rischi che essi non siano già stati consegnati una volta iniziato il preassemblaggio dello skid.

La richiesta di quotazione passa attraverso una prima fase di descrizione del componente dove viene prodotto un piccolo elenco di caratteristiche da inviare all'ufficio commerciale dei vari fornitori per

permetter loro di formulare un preventivo quanto più possibile accurato. La stessa descrizione verrà anche caricata sul software aziendale AS400 in modo tale da essere allegata all'ordine formale presentato al fornitore dall'ufficio acquisti Flenco in modo tale da avere una garanzia ancora maggiore della conformità del componente acquistato alle richieste del cliente.

Una volta ottenute le varie offerte dai fornitori selezionati, si procede all'analisi delle stesse valutandole dal punto di vista tecnico, temporale ed economico. Ogni componente, prima di tutto, deve soddisfare appieno le caratteristiche che lo rendono idoneo all'utilizzo previsto, rispettare gli standard qualitativi richiesti ed essere munito delle certificazioni necessarie. Oltre alle caratteristiche tecniche, esso deve necessariamente avere dei tempi di consegna tali da incontrarsi con il planning previsto per la costruzione dell'impianto, un tempo di consegna troppo lungo infatti, renderebbe inacquisabile il componente anche a fronte di caratteristiche tecniche ottimali ed un prezzo competitivo. Infine, si pone l'attenzione sulla competitività economica dell'offerta. Affinché la quotazione sia accettata, in primo luogo essa deve rientrare nel budget previsto in fase di apertura di commessa, in secondo luogo, deve risultare più competitiva economicamente, quindi con un prezzo più basso a parità di caratteristiche tecniche, di quelle provenienti da altri fornitori.

Una volta selezionato il componente, al fine di procedere con l'acquisto, si inserisce definitivamente sul software aziendale AS400 e si invia compilando un piccolo file chiamato "RDA" (richiesta di acquisto) con il codice del prodotto, il nome del prodotto, l'azienda fornitrice ed il valore economico dell'offerta ricevuta.

L'RDA è proprio lo strumento con il quale si dà il via libera all'ufficio acquisti nel contattare il fornitore ed acquistare il componente, fornendo al personale addetto, tutte le informazioni necessarie a procedere.

2.5.1 Esempio: selezione ed acquisto Flexible Hoses

L'esempio in questione riguarda la procedura che è stata seguita e che è terminata con l'acquisto di tubazioni flessibili necessarie all'utilizzo di un banco prova per testare gli skid, costruito da Flenco Fluid System e da installare in Algeria. Dato che il banco prova in questione doveva poter testare e monitorare le prestazioni di una lunga serie di modelli, tutti aventi dimensioni differenti tra loro, non era possibile utilizzare in modo efficiente delle classiche tubazioni rigide in acciaio. Per questo motivo si è optato per la fornitura di flessibili che, tuttavia, dovevano possedere caratteristiche meccaniche, di resistenza alla temperatura e a fluidi corrosivi, non facilmente trovabili sul mercato.

Si è scelto quindi, per ottimizzare la fase di richiesta di offerta e facilitare la quotazione del fornitore, di riassumere le principali caratteristiche dei flessibili, come la lunghezza, il size, il tipo di fluido con cui dovevano operare, pressione e temperatura, costruendo una tabella da inviare ai vari fornitori.

Qty	Fluid	Type	FLEXIBLE HOSES Diam	length	Piece number	Rating	Design Pressure [bar]	Max Working Pressure [bar]	Design Temperature [°C]
1	Demi Water	flexible	3"	10	Flex1-DW	150	10	10	60
1	Demi Water	flexible	3"	10	Flex2-DW	600	80	40	60
1	Demi Water	flexible	3"	8	Flex3-DW	600	80	40	60
Qty	Fluid	Type	FLEXIBLE HOSES Diam	length	Piece number	Rating	Design Pressure [bar]	Max Working Pressure [bar]	Design Temperature [°C]
1	Liquid Fuel	flexible	3"	10	Flex1-LF	150	10	10	80
18	Liquid Fuel	flexible	1/2"	1,5	Flex2-LF	800	10	10	80
1	Liquid Fuel	flexible	1"	10	Flex3-LF	800	10	10	80
1	Liquid Fuel	flexible	3"	8	Flex4-LF	600	85	85 Fattore sicurezza 2	80
Qty	Fluid	Type	FLEXIBLE HOSES Diam	length	Piece number	Rating	Design Pressure [bar]	Max Working Pressure [bar]	Design Temperature [°C]
1	Liquid Fuel	flexible	3"	10	Flex5-LF	150/600	10	10	80
1	Liquid Fuel	flexible	3"	10	Flex6-LF	150/600	10	10	80
1	Liquid Fuel	flexible	2"	10	Flex7-LF	150/600	10	10	80

Figura 11: tabella contenente informazioni sui flessibili

Come accennato in precedenza la ricerca di un fornitore che potesse fornire gli item adatti non è stata agevole, alcuni ad esempio non riuscivano a garantire le caratteristiche tecniche necessarie, il che ovviamente costituivano un vincolo invalicabile ed ha causato l'esclusione dei fornitori in questione.

Diametro nominale Nominal Bore	Diametro interno Inside diameter	Pressione di esercizio Working pressure	Pressione di collaudo Test pressure	Pressione di scoppio Burst pressure
				
	DN			
mm	mm inoh	bar psi	bar psi	bar psi
6	6 1/4	154 2233	230 3335	616 8932
10	10 3/8	105 1522,5	157 2276,5	420 6090
12	12 1/2	88 1276	132 1914	352 5104
16	16 5/8	73 1058,5	109 1580,5	292 4234
20	20 3/4	64 928	96 1392	256 3712
25	25 1"	50 725	75 1087,5	200 2900
32	32 1 1/4	42 609	63 913,5	168 2436
40	40 1 1/2	32 464	48 696	128 1856
50	50 2"	31 449,5	46 667	124 1798
65	65 2 1/2	26 377	39 565,5	104 1508
80	80 3"	18 261	27 391,5	72 1044

Figura 12: estratto dell'offerta ricevuta da un fornitore

L'impianto in questione, inoltre, doveva necessariamente essere consegnato in tempi brevi al cliente, dunque un'altra problematica riscontrata è stata quella di selezionare un fornitore che non avesse tempi delivery così lunghi da eccedere la data di spedizione dell'impianto. L'assenza dei tubi flessibili, infatti, avrebbe causato un aggravio economico non indifferente per azienda, sia perché erano previste una serie di penali nel caso in cui, una volta finita l'installazione in sito del banco prova, non fosse garantita la piena operatività del banco prova, sia perché effettuare una spedizione per via aerea contenente i soli flessibili avrebbe comportato un extra-costi di trasporto tutt'altro che irrilevante.

Dopo una ricerca che ha coinvolto più di 6 fornitori si è riusciti ad ottenere le giuste garanzie e a procedere all'ordine nonostante si sia dovuto far fronte ad un costo leggermente superiore a quello preventivato da budget. Si è valutato infatti che i costi di trasporto per spedizione celere in Algeria superassero di gran lunga l'extra-costi costituito dal prezzo alto dei flessibili applicato dal fornitore selezionato.

La scelta effettuata è stata confermata dal responsabile della commessa che ha anche richiesto che venisse compilata l'RDA (Richiesta di Offerta), e che venisse caricata una descrizione dettagliata di ogni

flessibile sul software aziendale AS400. Una volta completata anche questa operazione si è dato il via libera all'ufficio Acquisti che ha prontamente ordinato il materiale richiesto

FLEXIBLE HOSE	DESIGN TEMPERATURE: 60 °C
PIECE NUMBER: FLEX1-DW	CONNECTION TYPE:
MANUFACTURER: VARIOUS	INLET:
SKID MODEL: A035	4" Flange ANSI 150 RF swivel
FLUID: DEMI WATER	OUTLET:
SIZE: 3"	4" Flange ANSI 150 RF swivel
LENGHT: 10 M	
RATING: 150#	CONNECTION MATERIAL: S.S.
DESIGN PRESSURE: 10 bar	
MAX WORKING PRESSURE: 10 bar	

Figura 13: dati inseriti sul software AS400

2.6 FASE DI DISEGNAZIONE E DEFINIZIONE DEL LAYOUT

Quasi in contemporanea con l'acquisto dei componenti si procede alla modellazione 3D dello skid. Il compito, in questo caso, è effettuato da uno o più disegnatori esperti nell'utilizzo di software per la disegno 3D, che sfruttando le conoscenze ottenute dalle specifiche ed i disegni dei componenti nel frattempo acquistati, iniziano a delineare il design dell'impianto.

La guida dei disegnatori, anche in questo caso è affidata al PL, essendo egli il maggiore conoscitore sia delle specifiche cliente e quindi delle caratteristiche generali dello skid, sia della funzione dei componenti acquistati e di come essi si debbano collegare l'uno con l'altro. Con l'ausilio degli schemi funzionali egli indica al disegnatore i tracciati da seguire con le tubature, i punti dove installare la strumentazione e i supporti da prevedere per i vari componenti installati.

L'ottica con la quale si effettua questa fase è sempre quella dell'ottimizzazione dell'impianto sia in termini di funzionalità, sia in termini economici. È opportuno infatti attuare già dalle prime fasi di progettazione tutte le logiche necessarie a garantire la buona riuscita dell'impianto tenendo sempre in conto i diversi aspetti:

- Sicurezza: la sicurezza del personale che andrà ad agire sugli impianti deve essere sempre al centro dell'attenzione del progettista. Durante lo studio del design infatti, sin dal primo momento si tengono in considerazione una serie di accorgimenti da adottare per evitare ogni possibile infortunio. Prima di tutto si evita di installare ostacoli nei punti di passaggio che potrebbero causare cadute accidentali, si eliminano o si spostano tutti i componenti posizionati in alto che potrebbero causare incorrere in urti con gli operatori, si installano camminamenti, scale di sicurezza, sistema di illuminazione adatto e parapetti da normativa in modo tale da ridurre al minimo le fonti di pericolo. Oltre a queste norme base si prevedono una serie di componenti aggiuntivi per migliorare ancora di più le condizioni, come ad esempio le "Spray Shield", speciali tipi di coperture installati attorno a tutte le connessioni flangiate che, in caso di improvvisa perdita di fluido ad alta pressione, permettono di salvaguardare il personale presente da schizzi pericolosi.

- **Manutenzione:** è chiaro che durante la progettazione dell'impianto si debba tenere conto anche della manutenzione che cui l'impianto dovrà necessariamente avere durante l'utilizzo. Si dovrà quindi garantire prima di tutto l'accessibilità a tutti componenti che necessitano le sostituzioni periodiche come filtri e strainer che altrimenti non adempirebbero al loro scopo. In secondo luogo, si dovrà garantire lo spazio necessario a smontare qualsiasi componente qualora si verificasse una rottura, oltre ad un sistema di valvole che permetta l'isolamento fluidodinamico dell'item guasto senza dover drenare completamente l'impianto.
- **Visibilità della strumentazione:** i numerosi strumenti visivi usati negli impianti per monitorare grandezze fondamentali nei processi, devono essere necessariamente installati in punti dove è possibile una comoda visione, così da attivare tempestivamente le procedure di allarme ogni qualvolta dovesse verificarsi un'anomalia. È per questo che in genere si predispongono dei particolari pannelli, sui quali vengono alloggiati gli strumenti, posti in luoghi luminosi e all'altezza giusta in modo tale da facilitare l'operatore preposto al monitoraggio.
- **Riduzione dei costi:** le tubature di acciaio, il tubing, di flange, ma anche il numero di saldature effettuate hanno un costo non irrilevante nel computo finale di ogni impianto. È evidente che una logica di progettazione volta all'ottimizzazione del design, riducendo al minimo la lunghezza del piping, il numero di giunzioni e di componenti come raccordi, divisioni a "T", ecc. possa avere un forte impatto sulla riuscita economica dell'impianto aumentando il profitto di ogni commessa.
- **Solidità della struttura:** un qualsiasi progetto non può chiamarsi tale se non tiene anche in considerazione la solidità della struttura e la stabilità di tutti i componenti. La progettazione del telaio e di tutte le strutture di supporto delle tubature, anche se spesso curate anche da studi di calcolo specializzati, devono comunque essere dimensionate con calcoli di massima e l'ampio uso di buon senso per evitare future modifiche strutturali che, in fase avanzata di progettazione e produzione, causerebbero ingenti problemi.

Una volta ultimato il modello 3D "General Arrangement" al disegnatore è affidato l'importante compito di compilare la "BOM struttura, piping and tubing" dove vengono elencati tutti i semi lavorati, i metri di tubazione, le flange e tutto il resto della carpenteria da acquistare. Realizzare un disegno 3D accurato è utile anche per effettuare acquisti in modo mirato e preciso, evitando quindi che si compri del costoso materiale in eccesso o peggio, che manchi del materiale in fase di costruzione.

La disegnazione, inoltre, fornisce tutta una serie di disegni e sketch costruttivi che guideranno gli addetti alla saldatura e all'assemblaggio nel compimento delle proprie mansioni evitando quindi incomprensioni che porterebbero a malfunzionamenti e sprechi di materiale.

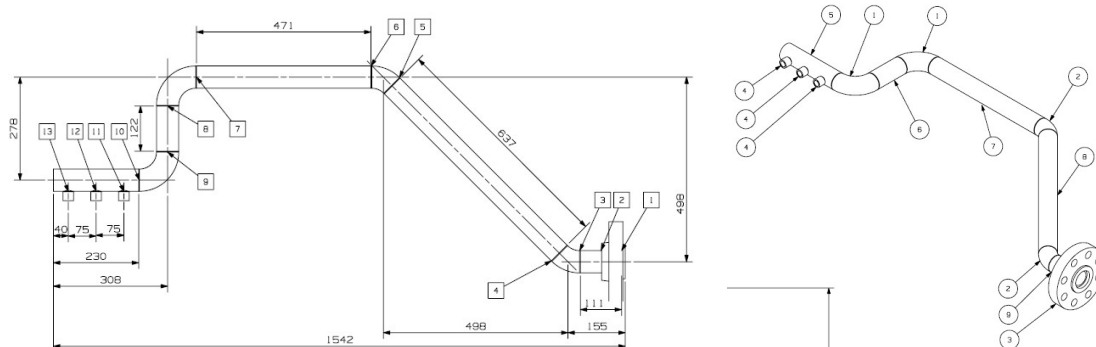


Figura 14: esempio Piping Sketches

Al PL in questa fase è affidata, oltre alla supervisione di tutti i disegni elaborati, anche la gestione di tutte le possibili deviazioni dalle specifiche e dal progetto originario concordato con il cliente. È facile infatti che esigenze ingegneristiche o di produzione possano entrare in conflitto con i dettami forniti dal cliente in fase di offerta, qualora avvenisse una situazione di questo tipo, è il PL a gestire i rapporti con il cliente finalizzati a raggiungere un compromesso soddisfacente per entrambe le parti.

2.6.1 Esempio: design e dimensionamento supporti

Durante la fase di disegnazione il cliente ha richiesto a Flenco di installare nello spazio concernente il proprio skid, una parte di tubazione ed una valvola appartenenti ad un altro impianto posizionato adiacentemente. La tubazione in questione doveva essere installata ad un'altezza di 1,48 m dal piano calpestabile e la presenza di ingombri nella zona sottostante faceva sì che fosse impossibile predisporre dei supporti ancorati al pavimento. Si è quindi dovuto studiare una soluzione che prevedesse dei supporti aerei, da agganciare alle travi costituenti telaio del cabinato, che sostenessero il peso del componente.

Avendo ricevuto l'incarico di selezionare i giusti supporti, si è prima di tutto stimato il peso da sostenere, calcolato sommando il peso della valvola più il peso della tubazione, arrivando così ad un valore del carico di circa 850 kg corrispondenti a circa 8,3 kN.

Per rendere più stabile il componente si è inoltre deciso di non supportare tutto l'assieme mediante un solo supporto ma, al contrario, di applicare 2 tiranti in acciaio alle due estremità della tubazione.

Dal catalogo di uno dei fornitori largamente utilizzati dall'azienda si è prima di tutto ricercato un elemento che potesse accogliere la forma cilindrica del pipe da 6". Si è optato per un sistema "collar type" da collegare attraverso un occhiello ad un'asta filettata dal diametro di 16 mm in modo tale da poter anche la possibilità di effettuare piccole regolazioni in altezza.

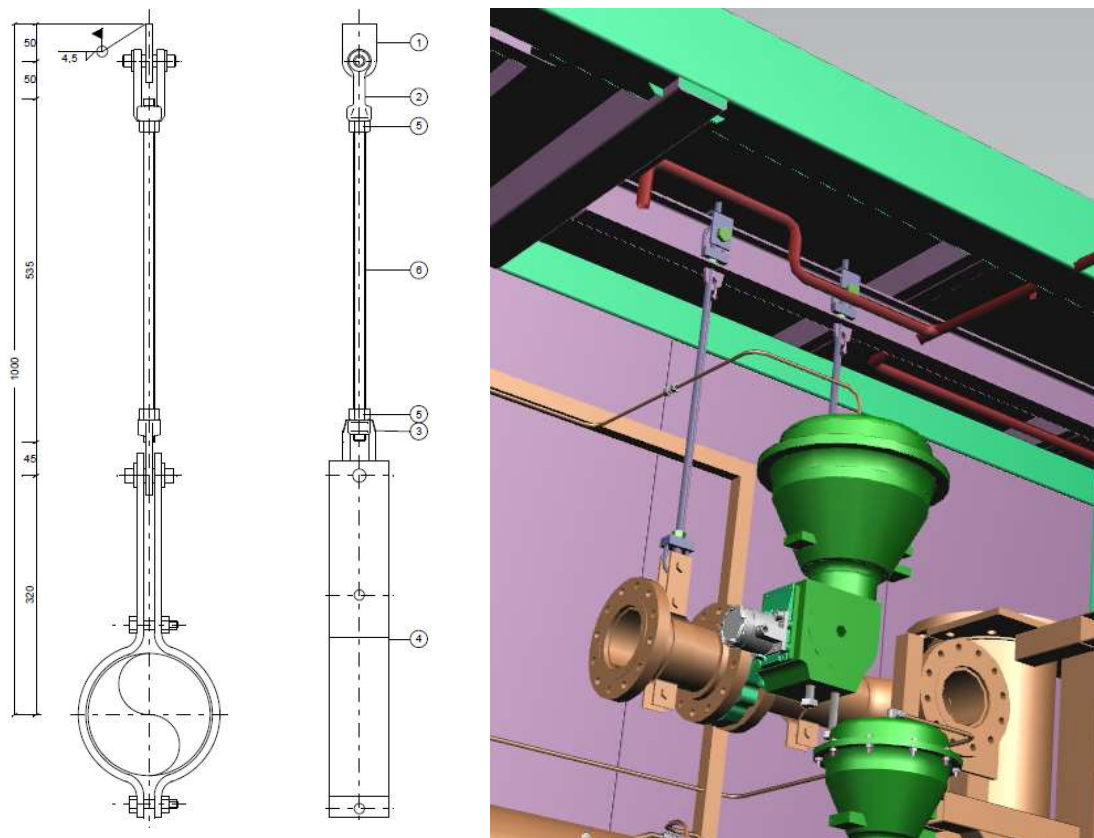


Figura 15: disegno tecnico e modello 3D dei supporti

Prima di procedere all'acquisto di tutti i componenti selezionati, è stato anche effettuato un piccolo calcolo di massima che garantisse che i componenti selezionati reggessero al carico applicato.

Per l'asta ad esempio si è calcolata la superficie resistente della sezione $A = \pi r^2 = 2,01 \text{ cm}^2$. Il carico di snervamento del materiale utilizzato per l'asta, essendo un normale acciaio al carbonio da costruzione, è stato considerato come 230 MPa .

Lo sforzo applicato dal carico all'asta era diretto esclusivamente lungo l'asse, quindi ci si è limitati a calcolare il coefficiente di sicurezza (X) in uno stato di sforzo di trazione monoassiale. Non conoscendo il reale bilanciamento del carico sulle due aste si è considerato il caso più sfavorevole, anche se non realisticamente possibile, dove tutto il carico fosse concentrato su una sola asta.

$$\sigma = \frac{P}{A} , X = \frac{\sigma_s \cdot A}{P} = 5,5$$

Risultato ampiamente sufficiente a garantire la tenuta dell'elemento in questione.

2.6.2 Esempio: ideazione sistema passa-parete

Un altro esempio di intervento in fase di disegnazione è stato richiesto dal responsabile della commessa durante la fase di progettazione di un impianto A160, skid che presenta installati sullo stesso basamento sia un modulo Lube oil, sia un modulo per la fornitura di gas combustibile per l'alimentazione di un gruppo turbogas.

L'impianto in questione era destinato ad un uso outdoor, dunque era provvisto di un cabinato che proteggesse dagli agenti atmosferici con spesse pareti perimetrali (spessore 140 mm) rese così spesse al fine da insonorizzare l'aria circostante dai rumori prodotti all'interno e nel vano turbina.

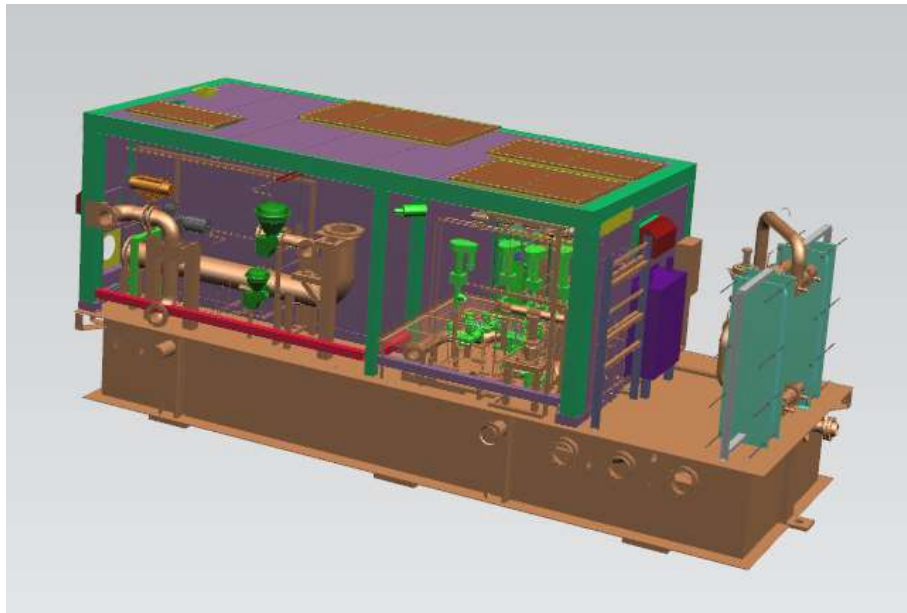


Figura 16: modello 3D dell'impianto

Il cliente, già in fase avanzata, ha espresso la richiesta di installare alcuni pannelli che supportano tutti gli strumenti, all'esterno, sulle pareti laterali dell'enclosure. Questo, tuttavia, costituiva un problema non indifferente da risolvere, in quanto tutti i tubing (tubi di piccolo diametro che collegano la strumentazione alle tubazioni di processo) degli strumenti coinvolti dovessero attraversare le spesse pareti in più punti.

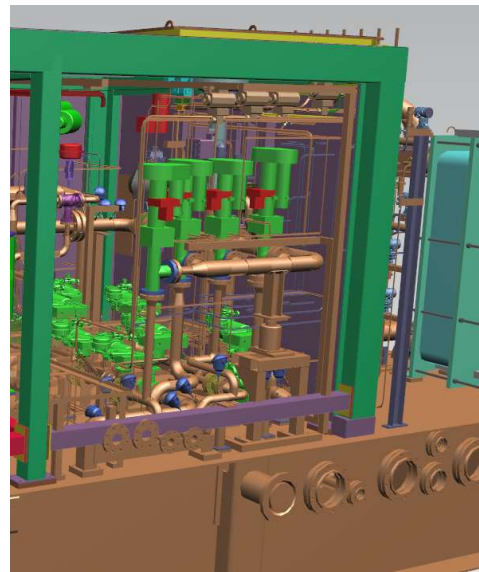


Figura 17: dettaglio del nuovo posizionamento degli strumenti

L'obiettivo era, quindi, di studiare un modo per permettere il passaggio attraverso la parete degli stessi senza che il peso della struttura ne minasse l'integrità o ne schiacciasse il profilo causando rotture e perdite che, dato la natura infiammabile del fluido di processo, sarebbero state assai pericolose. La soluzione da adottare, inoltre, doveva essere studiata in modo tale che fosse:

- Veloce da fabbricare e semplice da replicare, data l'imminente data di consegna dell'impianto non si aveva a disposizione abbastanza tempo per soluzioni troppo complicate anche a causa nel numero di tubing da far passare attraverso la parete (il numero era superiore alle 60 unità).
- Poco invasivo per la struttura, visto il grande numero di fori da realizzare attraverso le pannellature laterali in acciaio si aveva il bisogno di trovare una soluzione che non minasse la solidità degli elementi costituenti le pareti.
- Resistente agli urti e al peso della struttura sovrastante, oltre che alle vibrazioni prodotte dai macchinari in rotazione, che assicurasse quindi una tenuta perfetta e la totale assenza di perdite.
- Poco costosa, essendo il costo di questa operazione totalmente non preventivato, non si poteva eccedere nella spesa per non generare un danno economico rilevante.

Si è scelto dunque di realizzare un "passa-parete" prima di tutto forando le pareti laterali nei punti dove era previsto transitassero i tubi, inserendo poi nei fori un segmento di tubazione ad alta schedula che garantisse la resistenza meccanica necessaria. Alle estremità del segmento di pipe inserito e saldato alla parete, per creare una sigillatura ermetica, si è scelto di applicare mediante saldatura dei manicotti filettati della corretta misura che si adattasse quindi al piccolo size dei tubing da collegare.

In questo modo si poteva agilmente collegare il tratto di tubing, proveniente dall'impianto, al dispositivo passa-parete attraverso un "male connector" filettato. Collegando allo stesso modo l'altra estremità a la parte rimanente di tubing diretto allo strumento, disaccoppiando quindi i due tratti e rendendo molto più facile l'istallazione piuttosto che utilizzando un tubing unico che collegasse l'impianto allo strumento attraversando la parete. Si è realizzato, per meglio far comprendere l'idea studiata, anche una bozza di disegno tecnico che verrà di seguito riportato.

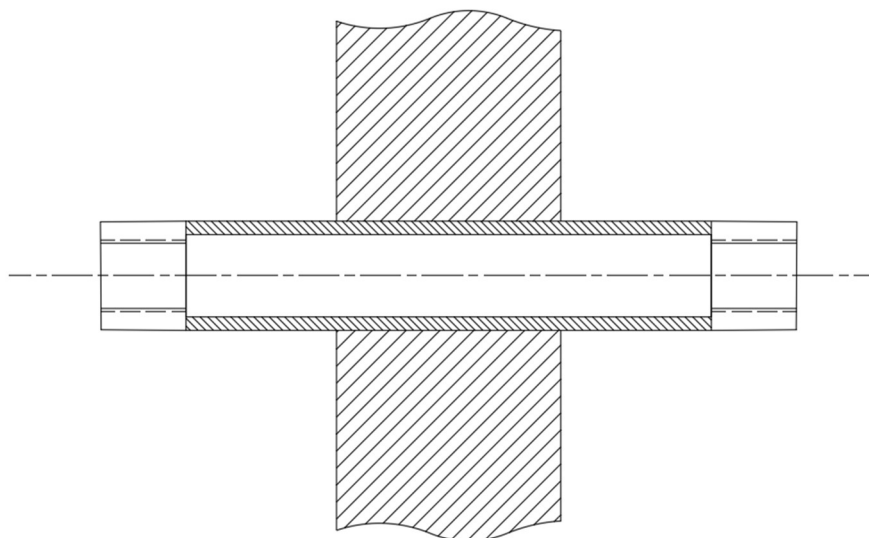


Figura 18: Sketch del dispositivo passa-parete

2.7 FASE DI PRODUZIONE

Una volta che i primi disegni costruttivi sono stati emanati, si dà il via alla fase di produzione, che procederà in parallelo alla fase di disegnazione fin quando quest'ultima non sarà terminata e tutti i disegni non verranno condivisi con lo stabilimento produttivo.

Le fasi di produzione si articolano in uno schema piuttosto costante e ormai ben collaudato dove prima di tutto vi è la costruzione della struttura portante dello skid e del serbatoio che costituiscono l'ossatura attorno alla quale si allestisce l'impianto ("Steelworks"). Tali strutture, inoltre, sono anche le prime ad essere definite e modellate dal personale addetto alla disegnazione, quindi nell'ottica dell'ottimizzazione dei tempi è normale che siano anche le prime ad essere costruite.

In secondo luogo, si procede con la realizzazione di tutte le tubazioni presenti sull'impianto, lavorando, saldando ed assemblando i semi lavorati, così come mostrato dai "piping sketches", fino a costruire un intero segmento di tubazione che verrà installato sull'impianto mediante connessioni flangiate.

Una volta terminata la fase precedente, in concomitanza dell'arrivo dei componenti principali presso lo stabilimento produttivo, si procede con il "Pre-assembly". Questa fase consiste nell'effettuare un progressivo preassemblaggio dell'impianto nel quale però sono coinvolti sono i "pipe" delle linee di processo e i componenti fondamentali. Lo scopo è solo quello di rifinire tutte le parti di carpenteria metallica, lasciate ancora grezze, in modo tale che si accoppino tra loro in maniera perfetta. Così facendo si ha la possibilità di apportare ancora modifiche sostanziali all'impianto prima che ciò comporti un costo, in termini economici e di tempo, troppo elevato.

Terminato di assemblare tutti i componenti principali con le loro tubazioni, si smonta completamente l'impianto per procedere al trattamento superficiale degli impianti e la verniciatura di tubazioni e componenti, in modo tale che essi siano finalmente pronti all'utilizzo finale. ("Surface Treatment").

Si può così procedere al "Final assembly", nel quale si ricompongono tutte le carpenterie metalliche e gli items principali, come già provato nel "preassembly", ma aggiungendo anche la strumentazione, le connessioni di "tubing", il cablaggio elettrico, l'impianto di messa a terra, la tracciatura elettrica, l'isolamento termico ed i sistemi di sicurezza. L'impianto così ora si presenta proprio come verrà consegnato al cliente, dunque è pronto per essere sottoposto ai test funzionali.



Figura 19: esempio Planning

La stesura del planning delle varie fasi del progetto, compresa quella di produzione dove esso ha un'importanza fondamentale, viene effettuata dal PL di commessa. Egli ricopre il ruolo di coordinatore di tutti gli organi dell'azienda facendo in modo che il flusso della commessa vada avanti in modo armonioso, che i tempi siano rispettati e che le esigenze di tutti vengano prese in considerazione. Il planning viene quindi adattato al tipo di progetto, ai carichi di lavoro degli stabilimenti produttivi e della disegnazione, ai tempi di consegna dei componenti ordinati dall'ufficio acquisti e dalle necessità di fatturazione imposte dall'amministrazione e dalle necessità di consegna del cliente.

Durante la produzione il PL, oltre alla gestione del planning di produzione in collaborazione con l'ingegnere di stabilimento, svolge comunque il suo ruolo di responsabile tecnico della commessa, impegnandosi a risolvere tutte le problematiche e gli interrogativi ingegneristici che si sollevano durante questa fase. Non è raro infatti che la fase di assemblaggio, dove si passa dalla modellazione 3D alla costruzione dell'hardware vero e proprio, renda visibili delle problematiche rimaste fino a quel momento celate e che si debba correre ai ripari con rapidi provvedimenti.

2.7.1 Esempio: dimensionamento orifizi calibrati

Durante la fase di produzione di un Impianto di water injection (impianto che prevede pompaggio e filtrazione di acqua demineralizzata), il personale addetto alla produzione ha richiesto l'intervento dell'ufficio tecnico perché alcuni orifizi calibrati non erano stati correttamente dimensionati. Dunque, per procedere alla fabbricazione dei suddetti componenti, vi era il bisogno di un supporto tecnico che avesse potuto fornire le informazioni necessarie. Si sono quindi effettuati i dovuti calcoli e fornito una soluzione alla problematica.

Un orifizio è un componente molto semplice, consiste in un piattello metallico forato opportunamente e chiuso tra due flange che viene posto all'interno di una tubazione. Esso, grazie al restringimento della sezione attraversabile dal fluido, provoca delle turbolenze e dei vortici all'interno della tubazione dissipando così energia ed abbattendo la pressione di una quantità prestabilita



Figura 20: esempio di orifizio calibrato e della tipologia di montaggio

Gli orifizi utilizzati sull'impianto avevano due funzioni principali, la prima era quella di resistenza fluidodinamica da inserire in alcune tubazioni al fine di bilanciare le linee di fornitura dell'acqua e quindi garantire che tutte le utenze avessero la giusta portata. La seconda tipologia di orifizi invece aveva lo scopo di misurare la portata circolante in un tratto di tubazione mediante l'accoppiamento con un misuratore di pressione differenziale.

2.7.1.1 Orifizio di bilanciamento linea

Per dimensionare l'orifizio appartenente al primo caso è stato necessario prima di tutto conoscere i valori delle portate da ottenere mediante il bilanciamento, il size dei tubi costituenti le linee, e la curva caratteristica delle pompe di alimentazione.

La porzione di impianto di interesse è quella riportata nel disegno sottostante dove sono anche riportate le portate da ottenere per ognuna delle due utenze. L'orifizio da dimensionare è anch'esso segnato nel disegno, proprio sul segmento di tubazione da bilanciare la quale sfocia dopo un breve tratto in un serbatoio a pressione atmosferica. Senza l'orifizio, la forte prevalenza imposta dalla pompa comporterebbe che una grande portata si trovi a transitare nella tubazione da bilanciare sottraendola invece alle altre utenze aventi resistenze fluidodinamiche maggiori.

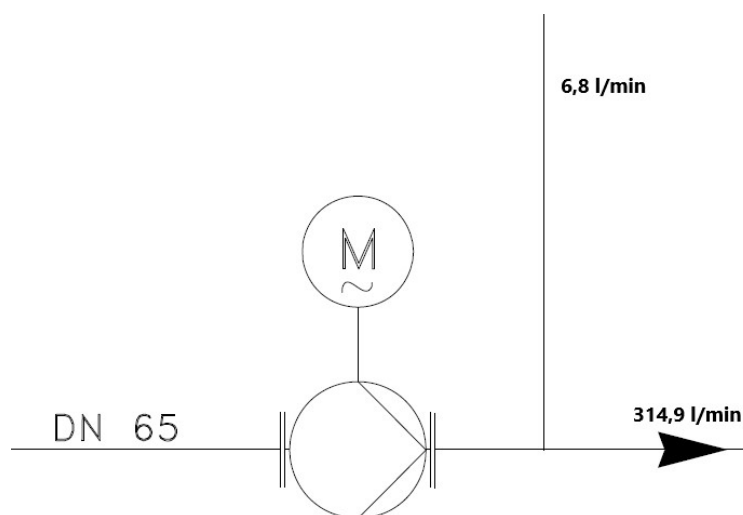


Figura 21: dettaglio P&I diagram

Le pompe di alimentazione erano di tipo centrifugo, le quali presentavano una curva caratteristica molto piatta presentando valori di prevalenza (quindi di pressione) in mandata molto stabili a fronte di un'ampia variazione della portata.

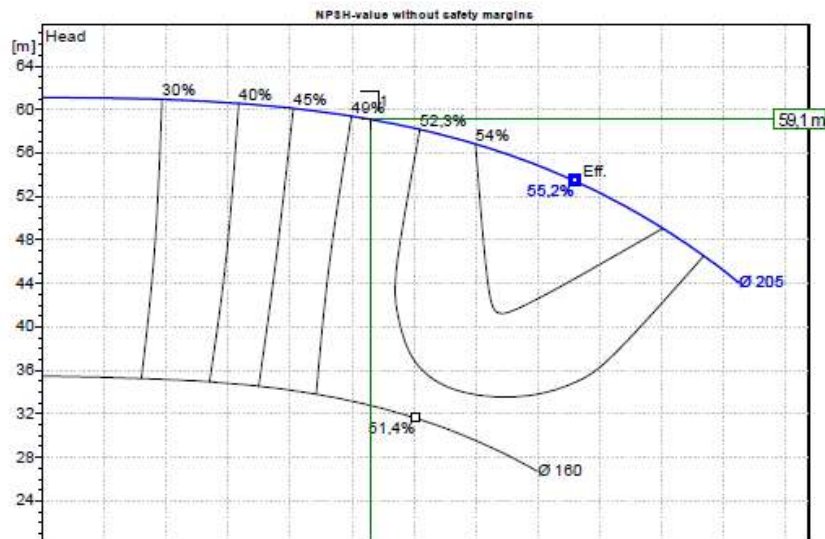


Figura 22: Curva di lavoro della pompa centrifuga

Considerando quindi un valore alla mandata delle pompe di circa 7 bar ipotizzato costante ed un valore di pressione nel serbatoio atmosferico di 1 bar si è proceduto a calcolare le perdite di carico della tubazione corrispondenti ad un valore di portata di 6,8 l/min, pari al valore di design della linea.

Le perdite di carico sono state calcolate per un valore di circa 0,4 bar complessivi quindi, per sottrazione, si è ipotizzato che l'orifizio dovesse abbattere la pressione di 5,6 bar qualora vi passasse la portata di 6,8 l/min.

Tramite uno strumento di calcolo fluidodinamico, partendo da un valore di primo tentativo di 30 mm di diametro del foro dell'orifizio, si è condotta una serie di tentativi iterativi fino ad arrivare al risultato cercato. Il diametro del foro da applicare all'orifizio infatti doveva essere di 14,5 mm.

Una volta comunicato il risultato agli operatori dell'officina, fabbricato ed installato il componente, si è potuto testare l'impianto azionando le pompe e misurando le portate. Il test effettuato ha dato ottimi risultati confermando appieno la correttezza dei calcoli effettuati.

2.7.1.2 Orifizio di misura

L'altra tipologia di orifizio del quale lo studente doveva fornire il dimensionamento, aveva il principale scopo di misurare la portata di fluido transitante all'interno di una tubatura misurando la perdita di pressione prodotta dall'orifizio.

Per far questo si è utilizzato un misuratore di pressione differenziale, posizionando i punti di misurazione uno a monte e uno a valle dell'orifizio calibrato. Il misuratore di pressione installato sulla tubazione aveva un range di misura massimo di 2,5 bar differenziali ed era accoppiato ad un trasmettitore che traduceva il segnale in pressione in un segnale analogico in corrente con modalità 4 – 20 mA.

Prima di tutto, ragionando sull'impianto, si è pensato di far corrispondere al massimo della portata elaborabile dalla pompa (1200 l/min) una pressione differenziale di 2 bar. Si è volutamente scelto di non arrivare al massimo della pressione rilevata dallo strumento proprio per non rischiare di sollecitarlo in maniera continuativa in un punto vicino al suo limite.

Si è dimensionato quindi l'orifizio, con il solito metodo iterativo, fino a trovare il giusto diametro del foro, che esprimesse una perdita di pressione di 2 *bar* qualora fosse attraversato da una portata di 1200 *l/min*.

Anche in questo caso, i feedback ottenuti dall'officina furono totalmente positivi dimostrando la correttezza dei calcoli e dei ragionamenti fatti.

2.8 FASE DI TEST E COLLAUDO

Terminata la produzione, a ridosso della data prevista per la consegna, si organizzano delle giornate predisposte al collaudo dello skid in tutte le sue funzioni principali. I test vengono svolti nello stabilimento produttivo alla presenza del cliente, il quale assiste in modo tale da verificare che l'impianto sia stato costruito e funzioni esattamente nel modo da egli indicato. Anche il PL è naturalmente presente a tutte le operazioni al fine di guidare e supervisionare i test e cosicché possa interagire con il cliente per risolvere qualche problematica, qualora ve ne fosse la necessità. Egli si fa carico anche della scrittura e della compilazione di tutti i report contenenti i dati riscontrati nei test ed è anche incaricato di documentare in una minuta di meeting tutte informazioni e le decisioni prese nella riunione finale tenuta con il cliente e con gli ingegneri di produzione.

2.9 FASE DI REDAZIONE DELLA DOCUMENTAZIONE

Come si è già accennato, oltre alla produzione dell'impianto, che rappresenta il cuore di un progetto, nel pacchetto costituente una commessa è anche prevista la redazione di tutta una serie di documentazioni utili alla gestione dell'impianto, alla sua manutenzione e a descrivere i processi svolti in modo dettagliato.

Si procederà a fare una piccola rassegna dei documenti che sono usualmente consegnati al cliente a ridosso della consegna di un impianto in modo tale descrivere brevemente il contenuto:

- Operation & Maintenance Manual:
- Spare Part List: documento nel quale si inseriscono tutti i componenti installati sull'impianto e, per ognuno di essi, vengono elencate le parti di ricambio previste e i relativi prezzi. Questo documento è un ottimo strumento del quale si servirà il cliente qualora avesse la necessità di sostituire un componente inseguito ad una rottura o per normale manutenzione.
- Lubricant List: in tale documento vengono inseriti tutti i componenti presenti sull'impianto che necessitano di una qualche forma di lubrificazione. Sono descritte, inoltre, le tipologie di lubrificazione adottata, il mezzo lubrificante necessario e le procedure per assicurare una corretta programmazione della manutenzione.
- Items Data Sheets: raccolta di tutte le schede dati dei componenti installati sullo skid le quali descrivono le proprietà, i parametri e le caratteristiche costruttive nel minimo dettagli fornendo un chiaro spaccato dell'impianto.

- Quality: documento che rilega tutte le certificazioni ottenute dall'impianto e i certificati di qualità professionale posseduti dai realizzatori dell'impianto, oltre a questo vengono allegati anche tutti i certificati dei materiali, dei componenti, di uso in area esplosiva, i test effettuati sulle saldature e sulle tubazioni ed in generale tutti i documenti che attestano la buona realizzazione dell'impianto in termini qualitativi.

2.9.1 Esempio: creazione Spare Part List

In questo esempio si illustreranno i procedimenti seguiti per la preparazione di una Spare Part List consegnata al cliente in seguito alla consegna di uno skid modello A162 destinato ad essere asservito ad un gruppo turbogas di produzione General Electric, usato in un impianto di produzione di energia in India.

Come già accennato, la preparazione della documentazione finale è una componente fondamentale, quasi al pari della fabbricazione dell'impianto, per ottenere la soddisfazione del cliente. Data l'importanza che un cliente come General Electric ricopre per l'azienda, il responsabile dell'ufficio tecnico ha assegnato il compito di redigere questo documento allo studente, affinché venisse curato nei minimi dettagli.

In primo luogo, si è proceduto ad analizzare tutti i componenti principali, ovvero gli organi più importanti dell'impianto che, nella maggior parte dei casi, presentano anche il maggior numero di componenti sostituibili dei quali bisogna tenere conto nella redazione del documento. Per ogni item presente, quindi, è stata compilata una lista dei componenti come guarnizioni, cuscinetti, filtri, sensori elettronici dei quali è più probabile il danneggiamento per usura dopo anni di utilizzo.

Successivamente, si è mandata una richiesta di quotazione ai fornitori degli item affinché fornissero il prezzo delle parti di ricambio previsti per i loro prodotti ed i relativi codici identificativi degli stessi. Descrivere ogni parte di ricambio con un codice, infatti, è molto utile in caso di urgente bisogno dello stesso a seguito un guasto, in quanto riduce di molto i tempi di identificazione e descrizione del pezzo da richiedere, oltre ad evitare qualsiasi errore di spedizione.

Ricevute le informazioni richieste si compila una semplice tabella dove sono indicate, per ogni item principale installato, le seguenti informazioni:

- Codice identificativo richiamante la specifica di riferimento del cliente.
- Nome dell'item.
- Produttore.
- Elenco delle parti di ricambio.
- Rispettivi prezzi e codici identificativi dei produttori.
- Tempo di consegna della parte di ricambio una volta emesso l'ordine di richiesta.
- Se è consigliato o meno avere scorte in sito della specifica parte di ricambio.

Tra gli allegati è possibile vedere un esempio di questo genere di documento realizzato per questo impianto.

N°	ITEM DESCRIPTION	KKS CODE	MANUFACTURER	SUPPLIER CODE	MEASUREMENT UNIT	COMMISSIONING SPARE PARTS	2 YEAR OPERATING SPARE PARTS	Drawing no.	NOTES	DELIVER TIME (WEEKS)	UNIT PRICE (EURO)
1	MAIN AND STAND BY AC MOTOR	**HBMVAP-01-MH102-MH1	ABB	M0P 2153142	NR						
1.1	BEARINGS		ABB		NR		IF NEEDED		Tabby from market	-	-
2	EMERGENCY DC MOTOR	**HBMVAP-01-MH1	SICHE	PAZ2SNP512510 ON/OFF 30V	NR						
2.1	103339P 10V032140		SICHE	117242420	NR		4	1068886		12	54,00
2.2	BRUSH RING HP235-5-F2032200203		SICHE	14084443	NR		1			12	1,05,00
2.3	O.E. BEARING N2221M103		SICHE	039175940	NR		0			12	472,00
2.4	N.O.E. BEARING 515103 MAGNETIC-0001072		SICHE	039110159	NR		1			12	238,00
2.4.1	PROG.3										
3	DOUPLES FILTER	**HBMVAT101	FLITCO	S2404	NR			1068876	LO Filter Data Sheet		
3.1	2 YEARS KIT			06,02100240	NR		1			5	53,000,00
3.2	STARTUP & COMMISSIONING				NR		1			5	8,000,00
4	ACCUMULATOR	**HBMVB201-2-3	FOU	HG350	NR				Accumulator (J) Data Sheet		
4.1	10E4000R			5HG350	NR		0			7	4,395,00
4.2	NITROGEN VALVE			NR	NR		1			7	510,00
5	HEATER	**HBMVAP-01-MH102	MASTERWATT	-	NR			1068884	Electric Heater Data Sheet		
5.1	Thermistors with automatic circuit + temp. 30-100°C (A) for fluid temperature control		MASTERWATT	-	NR		2			7	150,00
6	MAIN AND STAND BY CENTRIFUGAL PUMP	**HBMVAP-01-MH102	POMPE GARBARINO SPA	MU125-250F50	NR			1068884	MOP and EOP Data Sheet		
6.1	Coupling in cast iron		POMPE GARBARINO SPA	510018400004	NR		1			15	759,00
6.2	Coupling in cast iron		POMPE GARBARINO SPA	521018400004	NR		0			15	753,00
6.3	Shaft drive		POMPE GARBARINO SPA	2450-AS106014	NR		2			15	1,314,40
6.4	Shaft drive		POMPE GARBARINO SPA	3300-GR10014	NR		2			15	1,145,00
6.5	102 Single row angular contact ball bearing		POMPE GARBARINO SPA	2016-72100CEP	NR		2			15	356,00
6.6	Pump gasket set		POMPE GARBARINO SPA	4700175400-01	NR		1			15	340,00
7	EMERGENCY CENTRIFUGAL PUMP	**HBMVAP-01-MH1	POMPE GARBARINO SPA	MU125-119F50	NR			1068890	MOP and EOP Outline Drawing		
7.1	Coupling in cast iron		POMPE GARBARINO SPA	510018400004	NR		1			15	1,041,00
7.2	Coupling in cast iron		POMPE GARBARINO SPA	521018400004	NR		1			15	1,032,00
7.3	Shaft drive		POMPE GARBARINO SPA	2450-AS106014	NR		2			15	1,378,00
7.4	Shaft drive		POMPE GARBARINO SPA	3300-GR10014	NR		2			15	1,145,00
7.5	Single row angular contact ball bearing		POMPE GARBARINO SPA	2016-72100CEP	NR		2			15	540,00
7.6	Pump gasket set		POMPE GARBARINO SPA	4700175400-01	NR		1			15	520,47
8	PCV	**HBMVAP-01-MH102	SAMSON SRL	24212424	NR			1068872	LO Pressure Regulating Valve Data Sheet		
8.1	5-6 DN150		SAMSON SRL	1944-4714	NR		1			15	2,400,701
8.2	5-6 DN100		SAMSON SRL	0220-7170	NR		1			15	1,652,201
8.3	Flange gasket 175, 200 x 1		SAMSON SRL	UDP321040-1514	NR		2			15	30,501
8.4	Flange assembly, reinforced, DN150		SAMSON SRL	1942-4070	NR		1			15	2,672,541
8.5	FLUEBRUNNENPEL (VST. DN150 GRAPHITE)		SAMSON SRL	1941-0002	NR		1			15	1,146,751
9	TCV	**HBMVAP-01-MH102	SAMSON SRL	3253	NR			1068888	LO Temperature Control Valve Data Sheet		
9.1	5-6 DN150		SAMSON SRL	0100-2314	NR		1			15	6,000,231
9.2	5-6 DN100		SAMSON SRL	0221-4314	NR		1			15	4,962,001
9.3	Flange gasket DN200		SAMSON SRL	1920-1955	NR		1			15	1,555,001
9.4	5-6 DN200NPS 3, 3/4" (3/4" graphite, 240 x 240 x 2.5		SAMSON SRL	0430-2416	NR		1			15	232,451
9.5	5-6 DN200NPS 3, 3/4" (3/4" graphite, 240 x 240 x 2.5		SAMSON SRL	0520-1959	NR		1			15	2,205,251
9.6	5-6 DN200NPS 3, 3/4" (3/4" graphite, 240 x 240 x 2.5		SAMSON SRL	1404-0019	NR		1			15	1,621,001
9.7	5-6 DN200NPS 3, 3/4" (3/4" graphite, 240 x 240 x 2.5		SAMSON SRL	1421-0015	NR		1			15	1,621,001
9.8	5-6 DN200NPS 3, 3/4" (3/4" graphite, 240 x 240 x 2.5		SAMSON SRL	1422-0016	NR		1			15	1,621,001

Figura 23: estratto da Spare Part List

3 PROGETTO WATER INJECTION CONTAINERS

“Per tutelare gli interessi della Flenco Fluid System e del cliente non verranno mostrati integralmente disegni isometrici, diagrammi o altra documentazione. Verranno riportati esclusivamente particolari di tale documentazione, quando si renderà necessario per fini espositivi.”

3.1 INTRODUZIONE

In seguito alla disamina, volta ad analizzare le modalità con cui si è operato e a fornire esempi pratici sul ruolo svolto dal tesista nello sviluppo delle commesse, si è scelto di porre l'attenzione su due progetti in particolare, nei quali il tesista ha ricoperto un ruolo rilevante nella gestione, nelle scelte tecniche e nei contatti con clienti e fornitori.

I due progetti in questione, inoltre, sono stati selezionati per la loro valenza ed innovazione dal punto di vista ingegneristico, poiché alcuni aspetti di essi risultavano totalmente nuovi anche all'esperto personale dell'azienda. Si è potuto, così, dare il proprio contributo ad accrescere il già vasto catalogo di impianti che l'azienda è in grado di produrre e sui quali possiede esperienza.

Il primo dei due progetti in questione ha il nome di “Fast Track water injection” consiste nella progettazione, la realizzazione e il collaudo di un impianto di iniezione di acqua demineralizzata direttamente nella camera di combustione di una turbina a gas modello LM6000PF di produzione General Electric.

3.2 PRINCIPALI FUNZIONI DEL WATER INJECTION

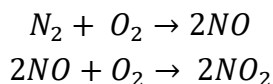
Un'unità di questo tipo ha il principale scopo di abbattere notevolmente la quantità di NO_x prodotti, i quali rappresentano la principale fonte di inquinamento prodotto da un impianto turbogas per la produzione di energia.

Più in generale, i principali inquinanti prodotti da un impianto turbogas sono molteplici:

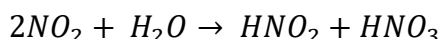
- CO₂, anidride carbonica, prodotto naturale della combustione di idrocarburi, il cui principale effetto inquinante deriva dal fatto che esso è il principale gas serra presente nell'atmosfera.
- CO, monossido di carbonio, frutto della combustione incompleta degli idrocarburi, fortemente tossico per l'essere umano perché ha la capacità di legarsi (al posto dell'ossigeno) all'emoglobina impedendo la corretta ossigenazione dei tessuti.
- CH₄, idrocarburi vari, sono principalmente i residui di combustibile rimasti incombusti e quindi ancora presenti nei gas in uscita dalla turbina.
- NO_x, ossidi di azoto, si formano principalmente mediante l'ossidazione ad alta temperatura dell'azoto atmosferico presente nell'aria comburente delle reazioni di combustione, molto pericoloso perché è un gas irritante per le vie respiratorie uno dei principali artefici delle piogge acide.

I metodi per ridurre la produzione di CO e HC si basano essenzialmente sul miglioramento della miscelazione tra aria comburente e combustibile, nello studio dei profili e delle forme della camera di combustione per garantire la giusta permanenza nella stessa della miscela e dal giusto dosaggio tra comburente e combustibile per ottenere una combustione più completa possibile.

Al contrario gli ossidi di azoto si formano mediante la compresenza di pressioni e temperature elevate, oltre ad un'elevata concentrazione di ossigeno favorendo le seguenti reazioni:



e a seguito del vapore acqueo presente nell'atmosfera,



che rappresentano una delle componenti principali insieme all'anidride solforica (SO_3) delle così dette "Piogge Acide", che consistono in precipitazioni piovose caratterizzate da valori di PH assai basso (sotto il 4,5) e sono quindi molto deleterie per la maggior parte delle specie vegetali presenti sul pianeta.

L'iniezione di acqua demineralizzata in camera di combustione è una delle tecnologie più utilizzate odiernamente al fine di combattere l'impatto ambientale poiché la sua efficacia, semplicità ed economicità supera di gran lunga le altre metodologie di intervento.

Come accennato il processo consiste nella iniezione di acqua demineralizzata, nelle giuste quantità, direttamente nella camera di combustione o mediante una premiscelazione con il combustibile liquido.

Questo sistema ha la principale conseguenza di abbassare la temperatura massima di combustione "tagliando" così i punti caldi che vengono inevitabilmente a formarsi, limitando così la reazione chimica che produce NO_x .

Tuttavia, tale provvedimento, deve necessariamente essere ben bilanciato e controllato perché un eccessivo abbassamento delle temperature ostacolerebbe la corretta combustione, sfociando in un aumento della presenza di CO e HC nei gas di scarico, il che è certamente da evitare. La temperatura troppo bassa, infatti, impedisce la combustione completa del metano "congelando" il monossido di carbonio che non ha più le condizioni di cinetica chimica adatte ad ossidarsi nuovamente e completare la trasformazione in anidride carbonica.

Si può affermare quindi che, in generale, i processi che favoriscono la diminuzione delle emissioni di NO_x sfavoriscono al contempo la diminuzione del monossido di carbonio. Come si nota dal grafico sottostante esiste, tuttavia, un range di temperatura all'interno del quale è possibile avere bassi livelli di uno degli inquinanti senza andare troppo a discapito dell'altro. È proprio questo il range dove si tende a far lavorare gli impianti turbogas mediante la tecnologia del "water Injection".

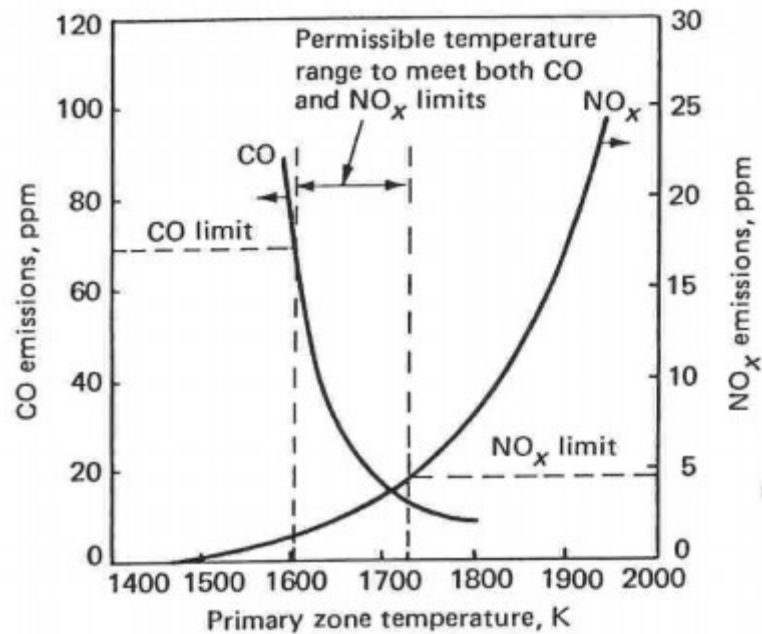


Figura 24: Variazione delle emissioni di inquinanti in funzione della temperatura nella camera di combustione

Alle volte è anche possibile che impianti di questo tipo siano integrati nella così detta tecnologia “SPRINT” il cui nome deriva dall’unione delle parole “SPray INtercooling”. Questa tecnologia consiste nello spruzzare acqua atomizzata all’interno di alcuni stadi del compressore assiale che comprime l’aria comburente utilizzata per la combustione.

L’acqua nebulizzata ha lo scopo di raffreddare l’aria e, riducendone il volume specifico, permette di far transitare nel compressore una quantità maggiore di portata in massa aumentando così la potenza ottenibile dall’impianto.

3.3 IMPATTI IN TERMINI DI COSTI E RENDIMENTO

L’utilizzo di questa tecnologia ha anche alcuni svantaggi, primo fra questi la perdita di rendimento. Essa è dovuta al fatto che, abbassando la temperatura di combustione, viene ad abbassarsi la temperatura massima del ciclo termico Brayton-joule che, per ragioni termodinamiche, comporta una perdita di efficienza energetica.

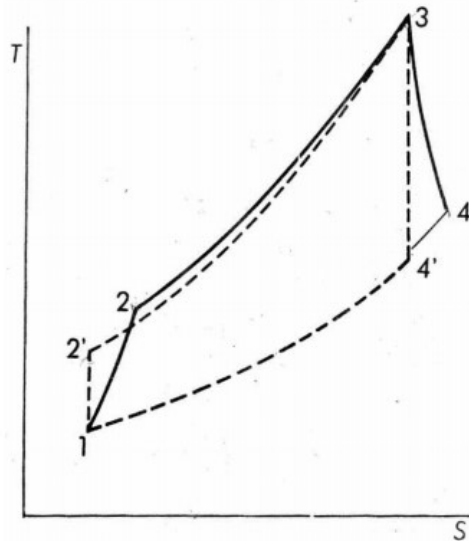


Figura 25: ciclo Brayton-Joule ideale (tratteggiato) e reale (Linea continua)

Se si prende in considerazione l'espressione del rendimento calcolato per un ciclo Brayton-Joule ideale, si nota come la temperatura massima di ciclo non influenza nessun parametro presente.

$$\eta_{id} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$$

dove per " β " si intende il rapporto di compressione, mentre " k " è il rapporto tra i calori specifici a pressione costante e a volume costante.

Al contrario, riportando in breve l'espressione del rendimento del ciclo reale Brayton-Joule secondo il quale questo genere di impianti opera, si evince come la temperatura massima del ciclo (T_3), cioè la temperatura massima ottenuta nella camera di combustione, abbia un ruolo rilevante.

$$\eta_R = \eta_b \eta_{mt} \eta_{tis} \frac{\frac{T_3}{T_{2is}} - \frac{1}{\eta_{mc} \eta_{cis} \eta_{mt} \eta_{tis}}}{\frac{Q_{1id}}{L_{cis}} - \frac{1 - \eta_{cis}}{\eta_{cis}}}$$

Essendo il parametro " T_3 " al primo addendo del numeratore della frazione, l'abbassamento della temperatura implica una diminuzione del valore del rendimento.

Altro svantaggio non trascurabile è il dover disporre di una grande quantità di acqua demineralizzata, il che non è sempre facile da ottenere soprattutto in zone aride e desertiche dove molto spesso impianti di questo genere sono installati. La produzione di acqua demineralizzata ha anche un costo non irrilevante ma le politiche di impatto ambientale e di sviluppo sostenibile esigono queste speciali contromisure.

3.4 COME È FATTO UN IMPIANTO DI WATER INJECTION CLASSICO

Un impianto di WI consiste in un serbatoio contenente la quantità di acqua necessaria a garantire una certa continuità di utilizzo della turbina a regime, un sistema di pompaggio e filtrazione dell'acqua, un sistema di controllo della pressione per garantire le giuste condizioni di mandata a seconda delle necessità della turbina. Sono di contorno anche tutta una serie di strumentazioni atti a controllare se le condizioni e le variabili di processo siano nella norma.

Esso in genere è installato su due piattaforme chiamate "skid" che fanno da supporto ed alloggiamento una, per il serbatoio, l'altra per tutti i vari componenti. Alle volte, se lo skid principale con le strumentazioni elettriche, motori e sensori di vario genere, è installato all'esterno, può essere protetto da un cabinato metallico che lo isola dalle intemperie e dall'inquinamento acustico.

Un esempio di tale impianto è quello sotto riportato, modulo "A035" prodotto da Flenco ed installato in Korea dove si possono apprezzare il design e i componenti classici.

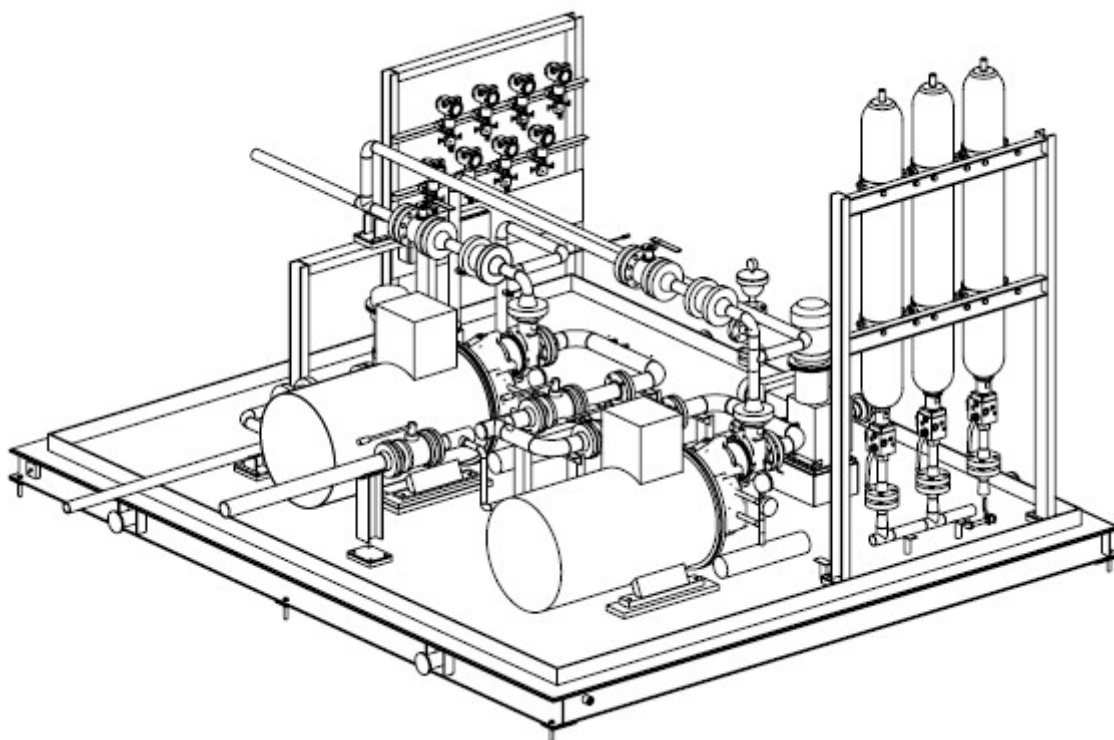


Figura 26: esempio layout impianto di water injection classico

3.5 IMPIANTO MOBILE DI PRODUZIONE DI ENERGIA TM2500

L'impianto in questione realizzato da Flenco, tuttavia, non rispetta il design classico di un normale skid di WI poiché esso è stato progettato per inserirsi in un impianto che ha caratteristiche molto particolari.

L'impianto in questione è il "TM2500 Fast Modular Power Plant" ideato e prodotto da General Electric che è anche il cliente che ha commissionato l'impianto di WI alla Flenco Fluid System. Esso risulta molto

innovativo perché tutte le strutture e i componenti principali (quindi turbina, compressore, alternatore, impianto di lubrificazione e cabina di controllo ecc.) sono realizzati in moduli trasportabili su gomma.

Performance you can count on for mobile power

TM2500 Configuration



Figura 27: Impianto TM2500 Fast Modular Power Plant

Questo comporta un enorme vantaggio in termini di abbattimento dei tempi di spostamento e di installazione dell'impianto che risulta essere operativo in soli 11 giorni dall'arrivo del primo container, oltre che arrivare a piena potenza solo 10 minuti dopo l'avviamento.

In un contesto energetico sempre più dinamico questo tipo di tecnologia così flessibile permette di portare energia in luoghi dove fino a poco tempo fa era impossibile accedere con una velocità impensabile per i normali impianti. Inoltre, un impianto del genere può essere di vitale importanza in caso di disastri naturali o di improvvisi guasti a centrali già esistenti che potenzialmente potrebbero lasciare senza energia molta popolazione.

Un singolo modulo contenente una Turbina di derivazione aeronautica può generare una potenza che oscilla tra i 34 e i 37 MW con un rendimento del 37% a seconda delle condizioni e del combustibile utilizzato; poiché un'altra fonte di versatilità è proprio dovuta al fatto che è possibile utilizzare combustibili di diversa natura, dal gas naturale al combustibile in fase liquida.

3.6 SCOPE OF SUPPLY

Le motivazioni di controllo dell'impatto ambientale precedentemente illustrate hanno fatto sì che il cliente maturasse la necessità di predisporre anche questo impianto "mobile" di un sistema di WI.

È chiaro, tuttavia, che anch' esso dovesse essere realizzato in una maniera tale da favorirne il trasporto su gomma nel modo più agile possibile.

Confidando quindi nell'esperienza nella progettazione e costruzione di tali moduli acquisita in anni da Flenco, il cliente ha assegnato all'azienda questa commessa che rappresenta, tuttavia, una novità assoluta.

Lo scopo della fornitura dunque era quello di curare l'ingegneria e la produzione dell'impianto in maniera quasi del tutto completa ed esaustiva. Nello specifico le principali mansioni sono state:

- Studiare il Design dell'impianto: individuare quindi la soluzione più adatta visti i vincoli di spazio dovuti alla "trasportabilità" dell'impianto tenendo ben conto della necessità di avere una struttura solida e resistente ad agenti atmosferici di ogni genere anche dopo anni di funzionamento.
- Selezione ed Approvvigionamento dei materiali: quindi reperire dal mercato le materie prime di costruzione, le tubazioni, per il collegamento degli strumenti, il trasporto e l'ancoraggio una volta in sito.
- Selezione ed acquisto dei componenti principali: ovvero il farsi carico di tutto il processo di ricerca tramite valutazione delle offerte pervenute da vari fornitori ed in seguito di selezione dei componenti che più soddisfacevano le necessità e i vincoli imposti dal cliente.
- Produzione: nello scopo infatti oltre che alla componente strettamente ingegneristica vi era anche e soprattutto la fabbricazione dell'impianto che doveva essere spedito praticamente pronto all'utilizzo.
- Collaudo: tutte le procedure di test e di collaudo per garantire il funzionamento di ogni singolo particolare dell'impianto sono stati effettuati nello stabilimento produttivo di Trino Vercellese. Anche le procedure di collaudo da seguire sono state ideate da Flenco ed approvate in seguito dal cliente.
- Redazione della documentazione: oltre all'Hardware principale, infatti, era compresa nelle richieste del cliente la stesura di importanti documenti e manuali che assicurassero il corretto utilizzo e l'ottimale manutenzione una volta reso operativo lo skid.

3.7 SPECIFICHE ED INFORMAZIONI DI BASE FORNITE DAL CLIENTE

Il cliente, già in fase di quotazione, fornisce agli uffici commerciale e tecnico, mediante delle specifiche, le principali caratteristiche che l'impianto ha l'obbligo di rispettare per poter essere utilizzato e per garantire una facile ed efficiente interfaccia con il resto dei moduli della centrale mobile. È facile comprendere come questa serie di dettami siano fondamentali per comprendere la natura e la complessità dell'impianto, sia per formulare una corretta ed allineata quotazione economica, sia per avere una buona base di partenza per la progettazione ed il lavoro di ingegneria.

Le informazioni pervenute comprendevano:

- Le informazioni generali di sito: essendo questo impianto destinato ad essere utilizzato in Colombia, sono state fornite delle informazioni, seppur poco precise, delle condizioni di

temperatura, umidità ambientale e quantità di precipitazioni annue medie delle quali si riporta un piccolo estratto.

Outdoor ambient conditions

Max ambient temperature operation w/o restrictions	45 °C
Max ambient temperature max possible	50 °C
Design ambient temperature	30 °C
Min ambient temperature operation w/o restrictions	5 °C
Min ambient temperature min possible	0 °C
Range of relative humidity	10 – 100 %
Annual average rain fall	1200 mm
Hourly max. rain fall	300 mm

Figura 28: Tabelle delle condizioni ambientali del sito di installazione

- Le informazioni riguardanti le caratteristiche del fluido di processo: in questo caso, come già detto, si trattava di acqua demineralizzata le cui caratteristiche chimiche e di conducibilità sono state analizzate dal cliente.

Water analysis

Parameter	Unit	Value
Specific conductivity *	μS/cm	< 0.20
Specific conductivity **	μS/cm	< 1
Silica as SiO ₂	ppb	< 10
Sodium + Potassium as Na+K	ppb	< 10
Iron as Fe	ppb	< 20
Copper as Cu	ppb	< 3
TOC	ppb	< 200

Figura 29: caratteristiche del fluido di processo

- Le caratteristiche di design del serbatoio: in questa specifica erano elencati i principali parametri da tenere in considerazione nella progettazione e nella realizzazione del serbatoio di contenimento dell'acqua. Tra le più importanti chiaramente Pressione e Temperatura di design, ma anche informazioni sul tipo di rivestimento e verniciatura richiesto dal cliente, i materiali che preferibilmente si dovevano utilizzare per la costruzione nonché la capienza minima che doveva soddisfare.

- Design pressure : 0.45 barg
- Design temperature: 60 °C

Figura 30: pressione e temperatura di design del serbatoio

- Le Caratteristiche di Funzionamento: di gran lunga le informazioni più importanti, perché rappresentano le condizioni di operatività richieste e commissionate dal cliente. Nello specifico la Portata di fluido richiesta all'uscita dell'impianto, in numero di connessioni di interfaccia con le turbine, la Pressione necessaria a garantire le condizioni operative del WI in condizioni operative standard e di carico massimo. Infatti, risulta chiaro che tutte queste caratteristiche sono soggette a forte oscillazione a secondo dei carichi di lavoro, della quantità di energia richiesta all'impianto e dal numero di moduli turbogas che l'impianto deve alimentare.

Demin Water flow specification per nozzle

Item	Connection	Max Flow m ³ /h / GPM	Normal Flow m ³ /h / GPM
1	Demin Water Inlet	27.3 / 120	27.3 / 120
2	Process Outlet (NOx/Demin water pumps)	29.5 / 130	6.8 / 30 to 27.3 / 120
3	Recirculation inlet	6.8 / 30	0 / 0 to 6.8 / 30
4	Communication Line	Defined by pipe diameter and geodetics between two tanks	0 / 0
5	Drain	Defined by pipe diameter, geodetics and drain valve opening	0 / 0
6	Overflow Outlet	27.3 / 120	0 / 0

Figura 31: caratteristiche di design dell'impianto

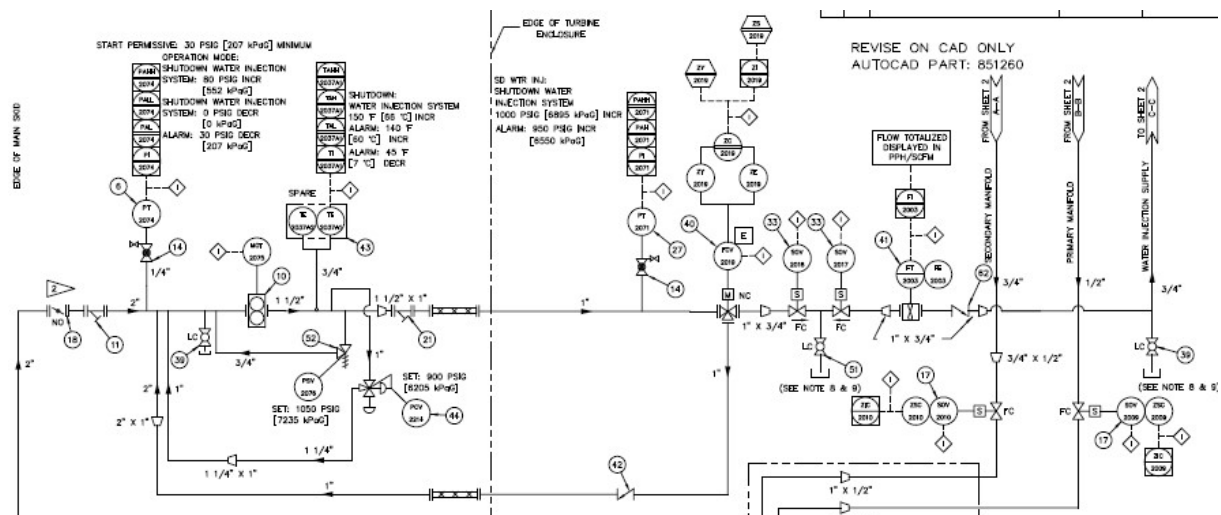
3.8 SCHEMA FUNZIONALE DELL'IMPIANTO P&ID

Il primo passo per affrontare il progetto è stata la stesura, in collaborazione con il cliente, di uno schema funzionale, anche chiamato P&ID (Piping and Items Diagram) che riassume i componenti e la strumentazione, oltre che indicare le tubazioni e le connessioni varie di cui l'impianto doveva essere dotato.

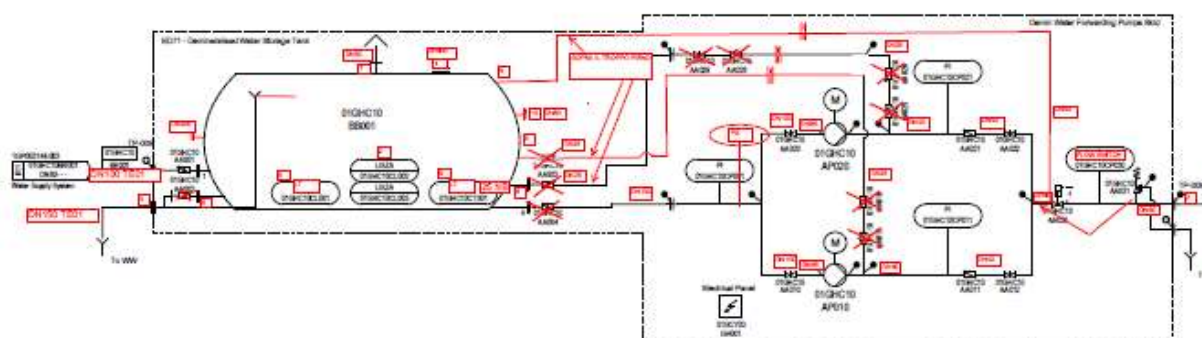
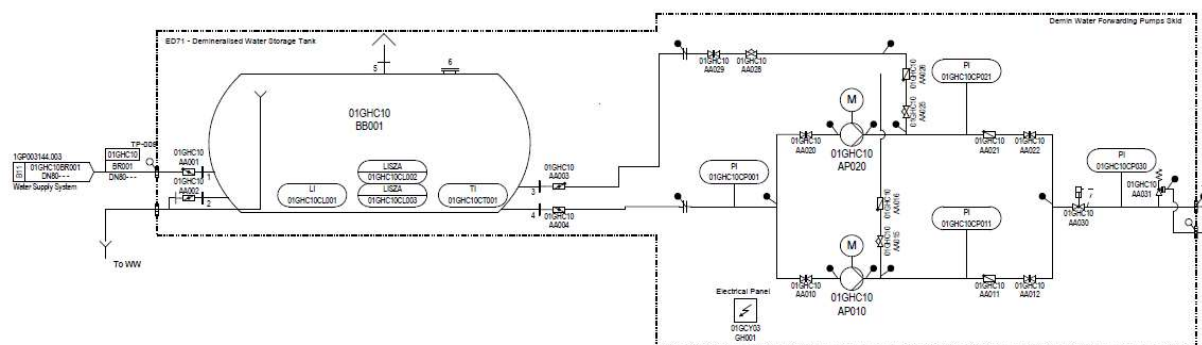
Lo scopo principale di questo genere di rappresentazione è quello di fornire una base di lavoro immediata e facilmente leggibile affinché si evitino incomprensioni e malfunzionamenti successivi. Il dialogo con il cliente, in questa fase di progettazione di massima, è piuttosto assiduo ed i cambiamenti e gli aggiustamenti del layout, molto frequenti; l'utilizzo di uno strumento così di rapida comprensione e di altrettanto facile modifica, snellisce di molto la procedura di progettazione ottimizzando i tempi necessari all'individuazione dell'assetto finale dell'impianto.

Si riportano in seguito solo alcune delle varie revisioni che hanno poi portato alla definizione dello schema funzionale divenuto poi operativo.

La prima immagine si riferisce ad uno schema funzionale fornitoci dal cliente come esempio preliminare dell'impianto da realizzare.



Le prossime immagini riportata invece si riferiscono ad una delle prime stesure dello schema funzionale (la prima) sul quale sono stati evidenziati numerosi cambiamenti e precisazioni evidenziati in rosso direttamente sullo schema. (seconda figura)



Ed infine è riportato il P&ID finale ottenuto dopo 5 revisioni che ha infine soddisfatto sia le richieste del cliente che le necessità ingegneristiche di ottimizzazione dei costi e funzionalità.

Note(1) Slope 3% Min on short container side with pump function locate at highest part.

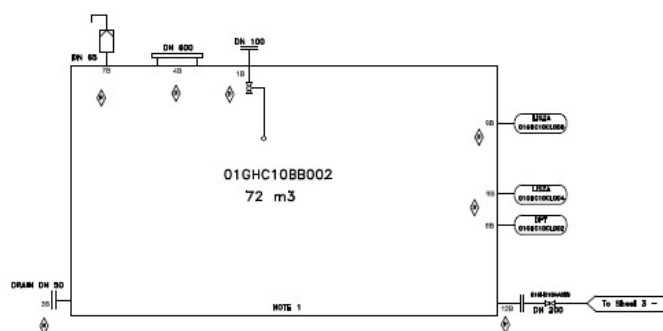
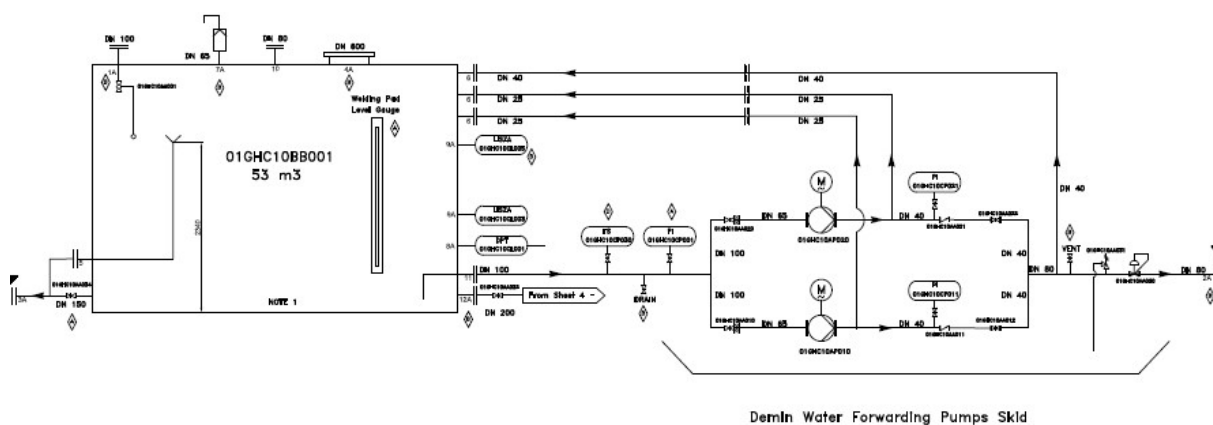


Figura 35: Schema funzionale (P&ID) finale

3.9 FUNZIONAMENTO IMPIANTO

Analizzando ora quest'ultimo schema funzionale è possibile spiegare brevemente il funzionamento dell'impianto e il ruolo dei vari componenti che ne fanno parte, procedendo a spiegare la logica che il team di commessa ha utilizzato per l'ottimizzazione dello stesso. Esplicita richiesta del cliente, essendo un impianto di nuova progettazione, è stata di porre la massima attenzione sui sistemi di sicurezza e monitoraggio da utilizzare; è su questi che si sono concentrati i maggiori sforzi del team di progettazione.

Il flusso d'acqua fuoriesce dal serbatoio dalla Porta indicata con il numero 11 e convogliata verso le pompe attraverso una tubatura di 4" di diametro dove sono installati due strumenti, un "Flow Meter" che permette di misurare la portata passante ed un "pressure Indicator", misuratore analogico, visivo, che consente di tenere sotto controllo la pressione nella tubatura di aspirazione della pompa. Gli strumenti sono stati inseriti perché tenere sotto controllo le due principali grandezze di interesse è di importanza primaria per l'impianto.

Tra i due strumenti sopracitati è anche stata predisposta una valvola di drenaggio, essa infatti è una semplice valvola manuale posta nel punto più basso, serve a drenare una certa porzione di linea

eliminando così il fluido presente nelle tubature in modo tale da permettere interventi su di esse e sugli items installati.

Le pompe utilizzate sono 2, gemelle, delle quali una è in funzione, mentre l'altra è in stand-by pronta ad essere utilizzata all'occorrenza. Sono state previste, infatti, due pompe in modo tale da essere certi della continuità di esercizio dell'impianto anche in caso di malfunzionamenti, guasti o necessità di effettuare manutenzione su un gruppo di pompaggio.

Sul tubo di mandata di ognuna delle due pompe è stata installata una valvola di non ritorno, o "check valve", in modo tale da evitare un indesiderato ricircolo di acqua attraverso la pompa momentaneamente non in funzione. Oltre a questa, sono state installate due valvole a saracinesca, a monte e a valle di ogni gruppo di pompaggio, in modo tale da isolare completamente le pompe dalla linea nel caso in cui sia necessario smontarle dall'impianto.

Sulla tubatura di mandata, oltre ad essere installato un altro misuratore di pressione, si è scelto di installare un piccolo ramo di derivazione composto da una tubazione di piccolo diametro (DN25) parzialmente ostruita da un orifizio calibrato, che ha uno scopo particolare. Esso infatti garantisce un piccolo ricircolo d'acqua verso il serbatoio principale, molto utile in caso di chiusura accidentale della valvola di isolamento a saracinesca di mandata delle pompe. Senza questo ricircolo, seppur di piccola entità, le pompe si troverebbero infatti a girare a vuoto, scaldando la piccola porzione di liquido presente nel corpo pompa, portando così a possibili inconvenienti, surriscaldamenti e guasti che vengono evitati con questo stratagemma.

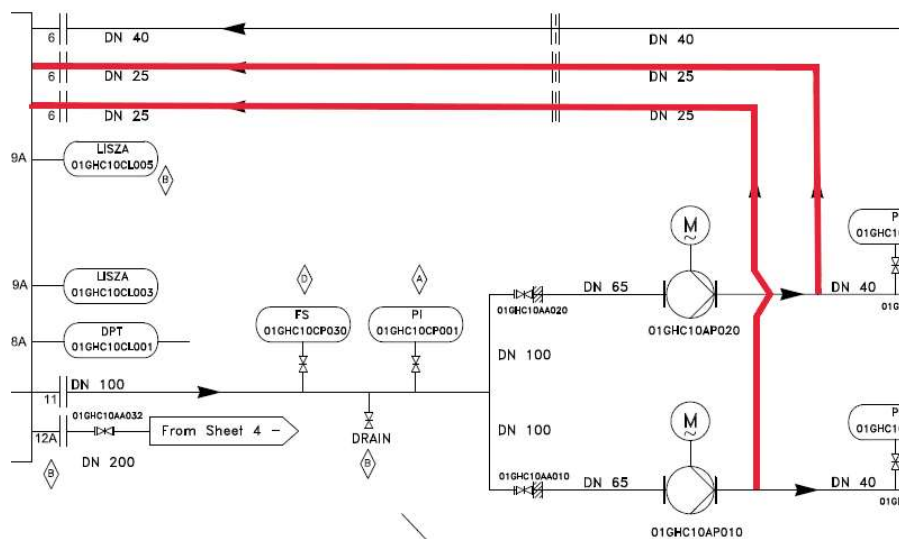


Figura 36: dettaglio tubazioni di ricircolo pompe

Procedendo in direzione del flusso, vi è un'altra tubatura posta in derivazione rispetto alla mandata principale, questa con un diametro di $\frac{3}{4}$ ". Questa, a differenza delle precedenti è installata per avere la possibilità, in caso di necessità, di effettuare un ricircolo di portata finalizzato alla regolazione della pompa.

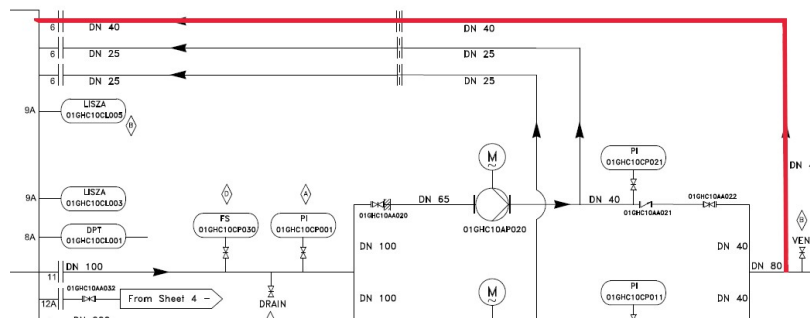


Figura 37: Dettaglio tubazione di ricircolo

In questa zona è anche installata una valvola manuale ad ago (needle valve), che essendo montata nel punto più alto dell'impianto, permette di eliminare l'aria che potrebbe accumularsi nelle tubature disturbando così il flusso di acqua, creando resistenze e turbolenze indesiderate. Si è scelto, infatti di installare questa valvola proprio nel punto più alto delle tubazioni in modo tale da essere sicuri che tutta l'aria circolante dell'impianto si vada prima o poi ad accumulare in quella zona, rendendone possibile l'eliminazione.



Figura 38: Needle valve di sfiato

Componente fondamentale per la sicurezza dell'impianto è invece la PSV, ovvero Pressure Security Valve, valvola normalmente chiusa, che si apre, scaricando così il fluido in un vaso di raccolta, ogni qualvolta la pressione all'interno delle tubature superi una certa soglia di tolleranza sopra la quale sarebbe a rischio l'integrità strutturale dell'impianto. Questo item in genere non si prevede in un impianto con pompe centrifughe, perché esse, dato il loro funzionamento, non rappresentano un pericolo in termini di possibili sovrappressioni. Tuttavia, in questo caso, il team di progettazione ha ritenuto che fosse utile installarla comunque sulla linea. Un improvviso innalzamento della pressione poteva essere dovuto, piuttosto che da un mal funzionamento delle pompe, ad una repentina evaporazione dell'acqua contenuta nei tubi per effetto del calore generato dal gruppo turbogas, per un'esposizione prolungata al sole, oppure da un'onda d'urto proveniente dalla camera di combustione.

Tutti e tre questi fenomeni avrebbero potuto portare, in assenza della valvola di sicurezza, allo scoppio delle tubature causando danni ingenti a persone e cose.

Giunti al limite di fornitura dell'impianto, appena prima del terminal point dove le tubature di uscita verranno connesse all'impianto turbogas del cliente, vi è la PCV, valvola di controllo meccanica automatica che garantisce una pressione a valle costante qualsivoglia pressione essa riceva in ingresso, nei limiti di un certo range operativo.

Oltre a questi componenti presenti sulla linea principale, ne sono stati installati anche alcuni altri che hanno funzioni ausiliarie a quella principale di pompaggio dell'acqua, ma che comunque sono altrettanto fondamentali alla sicurezza e alla buona operatività dell'impianto.

È stata installata una tubatura di grossa dimensione (size 8", DN200) che ha lo scopo di interconnettere i due serbatoio in modo tale che, una volta che il serbatoio principale munito di gruppo pompaggio, abbia esaurito la sua riserva d'acqua, mediante l'apertura di una valvola possa essere rifornito dell'acqua contenuta nel serbatoio ausiliario.

Sempre per motivi di sicurezza, si è scelto di installare una tubatura di troppo pieno, posta in alto all'interno del serbatoio essa garantisce che non vi sia una tracimazione nel caso in cui il livello dell'acqua nel serbatoio divenisse troppo alto. Questo sistema inizialmente non era stato previsto, tuttavia, è diventato indispensabile quando si è scelto di installare un secondo serbatoio. Un'apertura accidentale della valvola presente nella tubatura di interconnessione tra i due serbatoi, essendo il secondo serbatoio rialzato rispetto al principale, avrebbe portato, per la teoria dei vasi comunicanti, alla fuoriuscita di acqua dalle botole poste sul tetto del container causando possibili danni.

Altro sistema di sicurezza che in fase di progettazione si è scelto di installare, è rappresentato da una valvola a galleggiante posta a chiusura del tubo di alimentazione del container, ovvero la tubazione attraverso la quale il serbatoio viene riempito. Essa ha lo scopo di chiudere la tubazione una volta che il livello dell'acqua ha raggiunto il livello massimo evitando così che ulteriore liquido sia immesso, evitando sprechi di acqua.



Figura 39: valvola a galleggiante

Anche la manutenzione è stata tenuta in conto durante lo sviluppo del progetto. Oltre alle pratiche normalmente utilizzate per la manutenzione dei componenti idraulici e meccanici, anche la necessità di effettuare la manutenzione interna del tank è stata tenuta in forte considerazione. Infatti, a tal proposito si è scelto di installare una capiente apertura circolare situata sulla copertura superiore del serbatoio, attraverso la quale, un operatore potesse comodamente scendere mediante una apposita scala ed effettuare i controlli necessari.

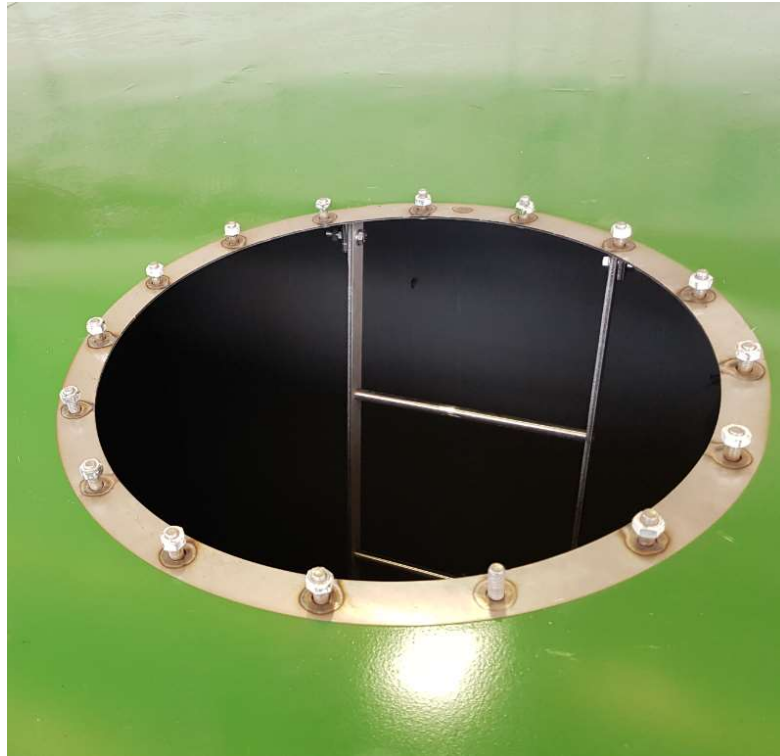


Figura 40: botola per ingresso nel serbatoio

3.10 PROBLEMATICHE E SOLUZIONI ADOTTATE

Durante le varie fasi di avanzamento del progetto non sono mancate le problematiche di vario genere che lo studente, in collaborazione con l'ufficio tecnico, ha dovuto affrontare e risolvere. Di seguito quindi, si è scelto di citare le più interessanti dal punto di vista ingegneristico al fine di far comprendere al meglio il lavoro svolto.

3.10.1 Problematica 1: Assicurare la trasportabilità su gomma dell'impianto

Una delle principali novità dell'impianto e, come tale, anche una delle principali difficoltà affrontate dal team era quella di garantire la trasportabilità totale dell'impianto in modo agile e veloce mediante camion, senza che fosse necessaria la rimozione di alcun elemento o componente fondamentale del complesso. Inoltre, altro dettame imposto dal cliente, era quello di contenere le strumentazioni e la zona pompaggio nel più limitato spazio possibile, in modo tale da poter dedicare la maggior parte dello skid all'alloggiamento del serbatoio, guadagnando in cubatura di liquido accumulabile.

Si è prima di tutto cercato di valutare se uno skid di normale concezione, fornito di serbatoio e di tutti i requisiti per l'installazione outdoor, potesse essere adattato ad una modalità di trasporto convenzionale, molto più agile e logisticamente adatto ad un impianto destinato a subire frequenti spostamenti. Analizzati a tal proposito i limiti imposti da leggi italiane e internazionali riguardo i trapiosti su gomma, è risultata problematica soprattutto la restrizione dovuta alla larghezza del trasporto, la quale non doveva eccedere i 2,60 m. Questo limite rendeva difficile trasportare uno skid di concezione classica come un monoblocco poiché la larghezza media supera di gran lunga le restrizioni.

Si è pensato quindi di ideare lo skid in una configurazione a "semi-monoblocco", ovvero scomponendo lo skid in due parti, ognuna delle quali avente, quindi, una larghezza inferiore ai limiti di trasporto. Questa soluzione, tuttavia, ad un'analisi più approfondita si è dimostrata inadeguata. La motivazione stava proprio nella troppa laboriosità dovuta, una volta raggiunto il sito di installazione, alla riconnessione di tutte le tubazioni e all'accoppiamento delle due metà trasportate separatamente che avrebbe reso le operazioni di start up dell'impianto troppo difficoltose. Oltre a questo, per lo spostamento su camion dell'impianto, sarebbe stato necessario approntare uno speciale imballaggio che avrebbe protetto i lati aperti dei due semi-gusci dagli agenti atmosferici e dagli altri possibili detriti.

La terza soluzione, poi finalmente adottata, si è palesata mediante la lettura delle normative di legge. È noto infatti che un camion adibito al trasporto di container di dimensioni standardizzate non richiede autorizzazioni di alcun tipo, per cui si è provato a valutare la possibilità di usare proprio un container come base di partenza per la progettazione dell'impianto.

TRASPORTO SPECIALE DI MERCI SU STRADA NON SOGGETTO AD AUTORIZZAZIONI

Alcuni trasporti in condizione di eccezionalità sono esclusi dalla richiesta di autorizzazione, ad esempio:

- Le bisarche sotto ai 4,20 m di altezza e che, non superano in lunghezza il 12 % dei limiti imposti dall'art.61.
- Il trasporto container su strada a patto che i porta-containers non superino i 4,30 m di altezza e il 12% in lunghezza e a condizione che non siano oltrepassati gli altri limiti di cui all'art. 62.

Soluzione adottata da Flenco per soddisfare tali requisiti fu quella di sfruttare, come telaio per l'impianto, un container standard di 40 ft. high cube (più alto del normale di 300 mm e più capiente in volume di circa 10 m³) affinché costituisse lo "scheletro" attorno al quale sviluppare tutto lo skid.



Figura 41: dettagli container 40 ft. High-Cube

Questo tipo di soluzione costruttiva, infatti, assicurava le caratteristiche di maneggevolezza, facilità di trasporto, ma anche di capienza che tanto erano ricercate dal cliente.

Si è proceduto quindi, in seguito ad un'intensa indagine di mercato, all'acquisto di un container già utilizzato ma che ancora fosse in condizioni tali da garantire anni di servizio.

Si è proceduto poi a studiare il modo più opportuno per utilizzare la struttura del container per alloggiare la strumentazione, i componenti necessari e soprattutto il serbatoio destinato a contenere acqua distillata.

Ciò è avvenuto mediante l'ausilio della modellazione 3D e grazie all'ausilio del team di progettazione dell'azienda. Grazie alla collaborazione ricevuta, si è potuto fare una stima dello spazio necessario all'alloggiamento dei gruppi di pompaggio, le valvole e le tubazioni di connessione, spazio anch'esso da ricavare all'interno del container. La soluzione di design che è apparsa da subito più indicata fu quella che prevedeva di adibire l'intero container all'accumulo di acqua, salvo ricavare una zona in, prossimità dei una delle pareti più corte, dove concentrare tutti i componenti necessari e buona parte della strumentazione. Si è quindi allestito, in primo luogo un design di massima dove vennero inseriti solo i componenti più ingombranti e le tubazioni più voluminose e, così facendo, si è potuto avere un'indicazione sulla cubatura che era possibile destinare al serbatoio.

3.10.2 Problematica 2: Necessità di utilizzare materiali resistenti alla corrosione

Dato che lo scopo principale dell'impianto è quello di accumulare e pompare acqua demineralizzata e dato che lo skid in questione era destinato a rimanere operativo per almeno 20 anni dalla sua messa in funzione, è chiaro che si dovessero prendere provvedimenti in modo tale da evitare la corrosione che essa normalmente provoca su un normale acciaio da costruzione al carbonio.

Si è provveduto, infatti, prima di tutto a selezionare componenti che fossero tutti in acciaio inox ANSI 316 comprese tutte le tubazioni, le flange, le guarnizioni, le valvole ecc. La scelta di questo materiale è dovuta al fatto che esso rappresenta uno dei più utilizzati acciai inossidabili austenitici (con percentuali di cromo intorno al 17%, di nichel 9% con l'aggiunta del 1,5% di Molibdeno) capaci di garantire la sufficiente sicurezza e resistenza all'ossidazione in applicazioni di questo tipo. Esso è anche molto utilizzato perché facilmente saldabile, il che lo rendeva perfetto per questo genere di skid dove

l'utilizzo di questa pratica è molto esteso. Oltre alle normali caratteristiche dell'acciaio in questione, si è scelto di utilizzare la sua versione più pregiata nota con il nome di ANSI 316L, dove la "L" sta a segnalare una particolare composizione "Low Carbon" ovvero con bassissimo contenuto di carbonio, inferiore allo 0,03%).

La presenza del carbonio, infatti, in acciai INOX è alquanto deleteria data la sua particolare affinità con il cromo che causa la precipitazione di carburi di cromo. Questa precipitazione avviene al bordo dei grani austenitici essendo le zone più "attive" a causa delle instabilità e delle imperfezioni presenti. Si genera così un impoverimento locale di cromo che non è più presente in alta percentuale in soluzione solida, ma precipita nei carburi facendo sì che venga meno il meccanismo della passivazione. La scelta del 316L è proprio stata fatta per evitare il fenomeno precedentemente descritto che è spesso causa di rotture anche catastrofiche per distacco dei grani ed innesco di pericolose cricche di fatica.

Oltre alla scelta degli strumenti e dei componenti capaci di resistere alla corrosione, bisognava altresì assicurarsi che anche, e soprattutto, il serbatoio e la struttura portante fossero protetti dalla corrosione. Oltre a garantire la durata dell'impianto infatti, vi era una problematica relativa alla corrosione di più immediato impatto da tenere in considerazione. La presenza di ruggine all'interno del serbatoio infatti avrebbe contribuito ad inquinare l'acqua contenuta con particelle e pulviscolo potenzialmente molto dannose al funzionamento della turbina.

Il container adottato come struttura/serbatoio era costituito interamente in acciaio al carbonio, molto attaccabile dall'ossigeno in condizioni di perenne umidità, ciò ha fatto sì che il team di progettazione corresse ai ripari per ovviare a questa problematica.

La sostituzione completa del telaio del container a favore di una struttura composta da profilati interamente costituiti da acciaio inossidabile 316L sarebbe stato un costo insormontabile non preventivato nel budget. Esso avrebbe inoltre reso inutili le ingenti spese sostenute per l'acquisto del container che in questo modo doveva essere quasi interamente sostituito.

Si è pensato quindi ad una soluzione alternativa che prevedesse il mantenimento del telaio del container, ma la sostituzione delle pannellature a favore di lamiere in acciaio inossidabile.

La struttura è stata infine ultimata saldando delle pannellature di acciaio inossidabile al telaio del container realizzando così un compartimento stagno capace di contenere il liquido senza perdite ed impedendo così che l'acciaio al carbonio del telaio entrasse in contatto con l'acqua accumulata.

La soluzione così adottata, tuttavia, presentava ancora alcuni punti da risolvere. A serbatoio pieno infatti, la pressione idrostatica riscontrabile al suo interno raggiungeva valori non trascurabili il che implicava che la spinta esercitata dall'acqua sulle pareti potesse mettere a repentaglio la tenuta delle lamiere perimetrali. Si è quindi pensato di inserire dei supporti esterni al serbatoio che potessero aiutare a rendere più stabile la struttura. La spinta esercitata dall'acqua, considerando un'altezza del pelo libero di 2 m e considerando quindi una pressione differenziale media tra interno ed esterno della parete perimetrale di 0,1 bar, è stata stimata moltiplicando tale valore per le superfici interessate.

Per la parete con lunghezza di circa 12 metri la forza applicata dall'acqua era di circa 240 kN, mentre per la parete a superficie minore la forza calcolata era di 46 kN. I valori forniti sono stati utilizzati solo

come conferma del già intuibile fatto, che le sottili lamiere non avrebbero sopportato le sollecitazioni alle quali sarebbero state sottoposte.

Si è scelto quindi di procedere saldando periodicamente su ogni pannellatura dei supporti verticali realizzati con un profilo a “C” in modo tale da irrigidire la struttura ed evitare che cedesse o si deformasse eccessivamente sotto la spinta idrostatica dell’acqua.



Figura 42: dettaglio rinforzi pareti perimetrali del serbatoio

Per quanto riguarda la protezione del telaio esterno in acciaio al carbonio, sono state utilizzate una serie di rivestimenti e verniciature che abitualmente l’azienda adopera, tali da garantire uno strato protettivo sufficientemente efficace nel garantire la durevolezza della struttura portante anche sotto la continua esposizione agli agenti atmosferici.

3.10.3 Problematica 3: Necessità di un volume di accumulo molto elevato

Data la possibilità, comunicata dal cliente, che l’impianto in questione potesse venir utilizzato per alimentare più di una turbina in contemporanea, l’accumulo d’acqua necessario a garantire una continuità di esercizio per un tempo sufficiente è stato calcolato come 110 m^3 .

Il volume stimato che era possibile garantire con un solo container, considerando anche lo spazio per l’alloggiamento della strumentazione, era di appena 53 m^3 . Questo naturalmente non era sufficiente, dunque, si è dovuto studiare una soluzione per arrivare a soddisfare le richieste. Fornire un altro skid uguale a quello progettato avrebbe causato un forte incremento dei costi dovuti anche e soprattutto all’acquisto di una seconda fornitura di pompe, componenti e strumentazione.

Per ovviare a questo grave problema di budget si è proposto al cliente di fornire un secondo container simile al primo ma, al contrario di questo, totalmente adibito a serbatoio potendo così ottenere un cospicuo risparmio per entrambi, azienda e cliente.

Dopo l'approvazione ricevuta quindi si è iniziato a decidere il design del nuovo serbatoio cercando di sfruttare le esperienze e le tecniche costruttive usate per la costruzione dello skid principale. Sul secondo container quindi non è stato previsto un gruppo di pompaggio e filtrazione ma bensì solamente delle connessioni flangiate capaci di collegare e renderlo un tutt'uno l'impianto. Questo container, in definitiva, rappresenta una estensione della capacità da utilizzare all'occorrenza in modo rapido sempre nell'ottica di rendere le procedure di installazione più veloci e semplici possibile.

In seguito, si è anche sollevata la problematica di assicurare un giusto deflusso dell'acqua contenuta in entrambi i serbatoi verso la zona del primo container, dove era prevista l'aspirazione delle pompe. Se installati su un basamento posto alla stessa altezza infatti, si sarebbe corso il rischio che una parte dell'acqua contenuta del container supplementare sarebbe rimasta al disotto del livello di aspirazione e rendendola così stagnante ed impossibilitandone l'utilizzo.

Per ovviare a questa evenienza allora si è pensato, una volta in sito, di sistemare il container supplementare lateralmente rispetto al principale, alloggiato su un supporto in modo tale da essere leggermente rialzato e garantire il giusto deflusso dell'acqua. L'utilizzo di un secondo serbatoio ha potuto aggiungere 72 m^3 di accumulo supplementari e far raggiungere la capienza complessiva di 125 m^3 di acqua.

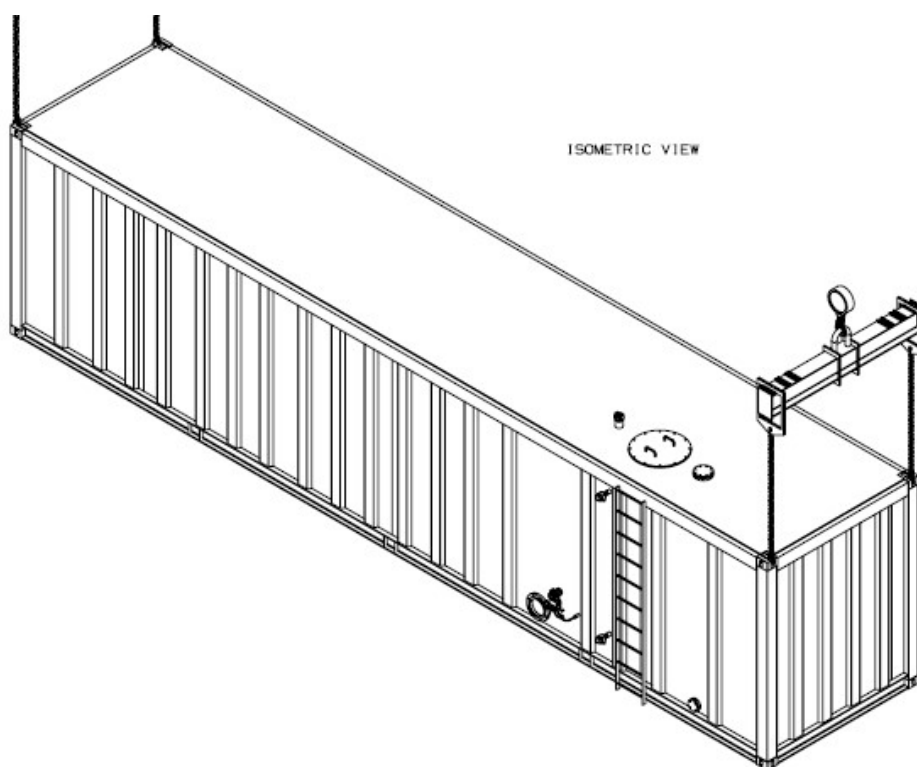


Figura 43: prospetto del serbatoio supplementare

3.10.4 Problematica 4: Modifica dei Gruppi di Pompaggio

I gruppi di pompaggio inizialmente selezionati ed ordinati per questo progetto consistevano in due pompe centrifughe alimentate da un motore elettrico sprovvisto di inverter ed alimentato in corrente alternata dalla frequenza di 50 Hz. Le pompe in questione erano state dimensionate per una portata compresa tra i 50–630 l/min (3–38 m³/h), una prevalenza compresa tra i 40 m e i 53 m ad una velocità di rotazione di circa 3000 rpm e aventi una girante del diametro di 195 mm.

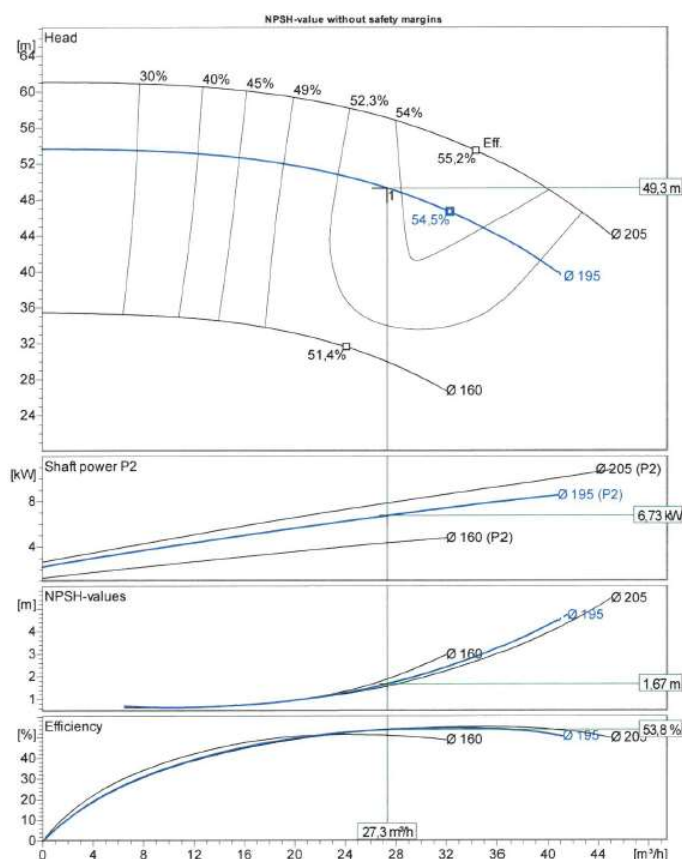


Figura 44: curva di lavoro pompa con diametro girante 195mm e 3000 rpm

La problematica è venuta a crearsi quando il cliente, una volta che le pompe erano già consegnate, ha comunicato all'ufficio tecnico Flenco un cambio di esigenze per quanto riguardava sia la portata da fornire, sia la pressione di mandata necessaria. L'impianto Prodotto dal Flenco era stato, in prima battuta, progettato per asservire ad una turbina del modello LM6000 ma, in un secondo momento, il cliente ha deciso di dirottarne l'utilizzo verso una turbina di minor potenza e che dunque avesse una necessità d'acqua demineralizzata minore. Il punto di lavoro richiesto in seguito alla modifica era di una portata di 21,7 m³/h da garantire ad una pressione di 6 barg, e come si evince dalla curva caratteristica, ciò non era raggiungibile dall'attuale assetto della pompa. Inoltre, queste nuove caratteristiche di fornitura di pressione e portata dovevano essere raggiunti sia con un'alimentazione a 50 Hz e a 60 Hz quindi con una velocità di rotazione di 3000 rpm e 3600 rpm.

Si è quindi verificato con il fornitore della pompa la possibilità di definire una soluzione nel minor tempo possibile e con costi contenuti.

In prima battuta, si è pensato semplicemente di sostituire la pompa, ma dato che il componente era già stato consegnato, il fornitore ci ha comunicato l'impossibilità di ottenere il reso della pompa già acquistata a fronte della consegna di una pompa di maggiori dimensioni. Bisognava, dunque, acquistare nuovamente una pompa a costo pieno, il che avrebbe aggravato moltissimo le spese imputate alla commessa.

Visionando le che le curve di prestazione fornite per la vecchia pompa, ci si è accorti che veniva riportata anche la curva relativa ad una girante con diametro di 205 mm, la quale avrebbe avuto le caratteristiche di pressione e portata richieste. È nata così l'idea di comprare ed adattare una nuova girante dal diametro di 205 mm al corpo pompa già presente in officina.

Contattato nuovamente il fornitore, egli ha confermato la fattibilità di questa ipotesi, dato che il "Body" previsto per una pompa con la girante di 205 mm era esattamente identico a quello adottato per una girante di 195 mm.

Egli ha provveduto così a fornirci le curve di prestazione della girante in questione sia alla velocità di 3000 rpm sia a quella di 3600 rpm e una volta visionate, si è potuto confermare che ad entrambe le velocità era possibile raggiungere i rispettivi punti di lavoro scelto.

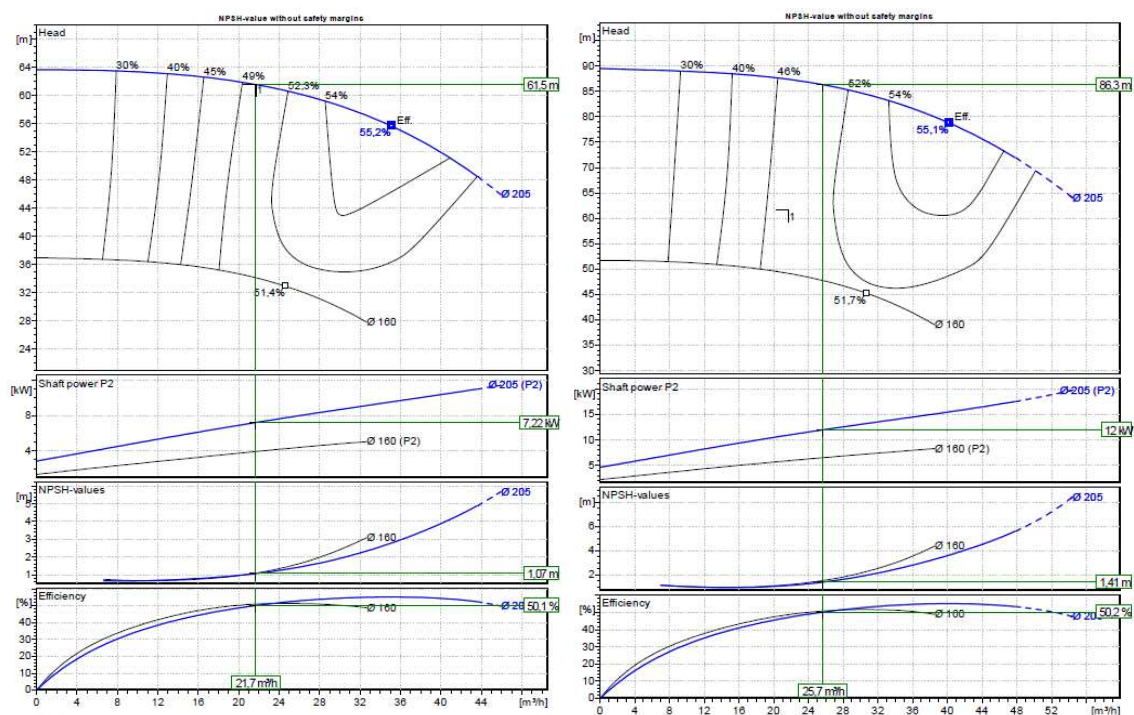


Figura 45: curve di lavoro pompa con diametro girante 205mm a 3000rpm (sinistra) e 3600 rpm (destra)

Si nota che la portata del punto di lavoro a 3600 rpm è maggiore rispetto a quella del corrispettivo punto di lavoro indicato a 3000 rpm. Questo è dovuto al fatto che è presente una tubazione di ricircolo con una resistenza fluidodinamica introdotta tramite da un orificio calibrato che, a pressioni di mandata della pompa maggiore a quella di design, ha causato un ricircolo maggiore del previsto facendo spostare verso portate maggiori il punto di lavoro.

La soluzione della sostituzione della girante è stata infine approvata e messa in atto, consentendo un sostanzioso risparmio in termini economici senza sacrificare le caratteristiche tecniche.

3.10.5 Problematica 5: Contenimento vibrazioni

In fase di collaudo preliminare, una volta avviato l'impianto, si sono monitorate le fasi di test interno volte a verificare la buona riuscita dell'impianto prima della presentazione dello stesso al cliente. Durante queste operazioni, si è effettuato un test sull'entità delle vibrazioni prodotte dagli organi rotanti in funzione, le pompe ed i motori elettrici che le alimentano.

Ebbene, alla lettura dello strumento preposto a tale misurazione, i valori rilevati sembravano piuttosto alti rispetto ai valori abitualmente registrati in questi casi. Si è effettuata una ricerca sulle normative di riferimento che descrivessero i valori, in termini di vibrazioni, di soglia entro i quali un impianto di quella potenza ben realizzato potesse rientrare.

Lo studente quindi è stato incaricato di provvedere alla ricerca e fornire quindi i dati richiesti dall'officina. La normativa di riferimento nel caso in questione è stata individuata nella ISO 10816-7, la quale descrive proprio i livelli di vibrazione misurati a livello dello statore di pompe in rotazione con potenza superiore ad 1 kW.

La normativa in questione divide le tipologie di pompe in 2 categorie in base al tipo di liquido elaborato. Nella categoria I rientrano le pompe che necessitano di un alto livello di affidabilità per motivi di sicurezza o di importanza dell'impiego, alla categoria II al contrario appartengono le pompe per uso generale e che non svolgono funzioni critiche.

- a) **Category I:** Pumps required to have a high level of reliability, availability or safety reasons (e.g. pumps for toxic and/or hazardous liquids; for critical application, oil and gas, special chemical, nuclear or power plant application);

La normativa, per una pompa di categoria I, riporta un valore di soglia accettabile in caso di installazione "in situ" di 3,4 mm/s, mentre lo strumento riportava un valore addirittura 4 volte superiore, per l'esattezza di 12 mm/s.

Table A.1 — Zone limits for vibration of non-rotating parts of rotodynamic pumps with power above 1 kW, applicable for impellers with number of blades $z_i \geq 3$

Zone	Description (see 5.2 for details of zone definitions)	Vibration velocity limit r.m.s. value mm/s			
		Category ^a I		Category ^a II	
		≤ 200 kW	> 200 kW	≤ 200 kW	> 200 kW
A	Newly commissioned machines in preferred operating range	2,5	3,5	3,2	4,2
B	Unrestricted long-term operation in allowable operating range	4,0	5,0	5,1	6,1
C	Limited operation	6,6	7,6	8,5	9,5
D	Risk of damage	> 6,6	> 7,6	> 8,5	> 9,5
Maximum ALARM limit (≈ 1,25 times the upper limit of zone B) ^b		5,0	6,3	6,4	7,6
Maximum TRIP limit (≈ 1,25 times the upper limit of zone C) ^b		8,3	9,5	10,6	11,9
In situ acceptance test	Preferred operating range	2,5	3,5	3,2	4,2
	Allowable operating range	3,4	4,4	4,2	5,2

Figura 46: estratto norma ISO 10816-7

Era, dunque, chiaro che qualcosa non funzionasse in modo corretto. Si è dunque proceduto ad analizzare singolarmente pompa e motore in modo indipendente, non riscontrando alcuna anomalia in entrambi i casi, segno che non vi era un difetto di bilanciamento o qualche imperfezione nei cuscinetti.

Dato che, in previsione del test, l'allineamento tra motore e pompa era stato effettuato con la massima cura e precisione, l'ultimo indiziato come principale causa di malfunzionamento era il giunto meccanico di trasmissione della potenza.

Dato che i tempi di consegna di un giunto nuovo erano assai superiore al tempo a disposizione prima della consegna dell'impianto non si poté acquistare un elemento sostitutivo a quello danneggiato. Si è quindi dovuto necessariamente avviare un'attività di ricerca, nel magazzino del reparto produttivo, al fine di trovare un giunto adatto alle pompe presenti sull'impianto. Alla fine, si è riusciti a trovare un elemento che fosse del tutto simile a quello difettato in tutte le caratteristiche principali, ad eccezione della lunghezza assiale.

Ripetuto il test con tale giunto si è notato che i valori misurati erano largamente al disotto della soglia di guardia ($1,6 \text{ mm/s}$). La lunghezza maggiore del nuovo giunto, tuttavia, ha costretto ad una revisione del layout ed alla ridisposizione del gruppo motore/pompa poiché esso sporgeva al di fuori della sagoma delimitata dal container, impedendo così il trasporto. Si è riusciti in ultima battuta, posizionando i componenti con la massima precisione e cambiando la posizione di alcuni strumenti, a rientrare negli spazi prestabiliti.



Figura 47: controllo dei limiti di sagoma

3.11 RISULTATO FINALE

Vi è la possibilità di visionare il risultato finale nelle immagini sottostanti, prima di tutto è riportato il modello 3D utilizzato per la costruzione in officina dell'impianto realizzato dai disegnatori in stretta collaborazione con l'ufficio tecnico. Il disegno in questione ha il nome di "General Arrangement" e consiste nel disegno complessivo dell'impianto così come dovrà essere in opera, quindi con ogni minimo dettaglio e con tutti i componenti presenti. Il "GA" inoltre è uno dei disegni principali inviati al cliente per richiedere approvazione del layout finale.

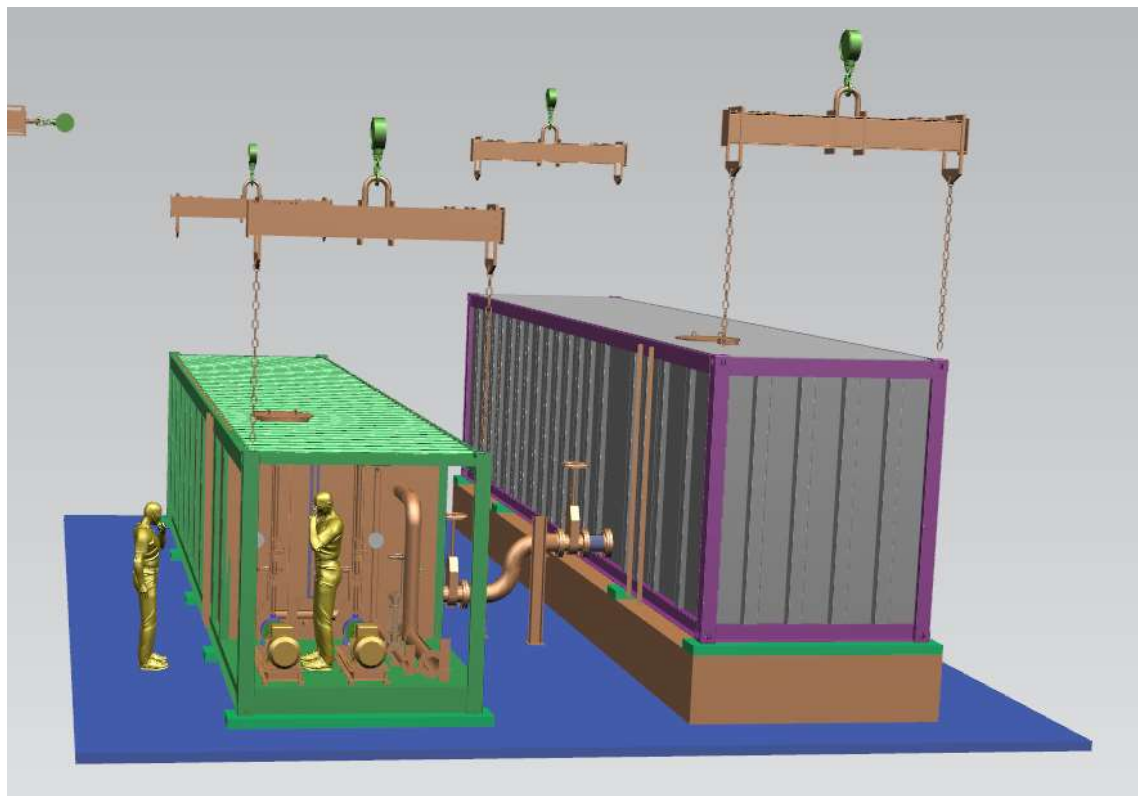


Figura 48: Modello 3D finale dell'impianto

Infine, dopo la produzione, l'impianto si presentava in questo modo. Come si può notare vi è una corrispondenza perfetta tra il modello realizzato con il software CAD e l'Hardware realizzato in officina, ciò testimonia l'importanza di una modellazione 3D efficace e di un continuo contatto tra disegnatori, ufficio tecnico e produzione al fine di produrre impianti di qualità.



Figura 49: foto dell'impianto in fase di collaudo

3.12 FASE DI COLLAUDO

Il cliente, oltre alla produzione dell'hardware, ha richiesto a Flenco e al suo ufficio tecnico di individuare quale sarebbe stata la giusta procedura di collaudo da utilizzare per l'impianto e, successivamente, di redigere un documento da far pervenire all'ingegneria General Electric per ricevere approvazione.

Si è studiata una serie di test preliminari che dovessero verificare alcuni requisiti di base che l'impianto doveva avere prima di procedere con il test funzionale in condizioni operative:

- Verifica della pulizia dell'impianto: dovendo l'acqua elaborata e pompata dall'impianto essere iniettata in un sistema complicato e delicato come la camera di combustione di un gruppo turbogas, risulta chiaro come essa dovesse essere assolutamente priva di particolato e contaminazioni di vario genere. Bisognava quindi assicurarsi che le tubazioni, il serbatoio e gli altri componenti fossero stati accuratamente "lavati" dai residui di verniciatura, saldatura e montaggio che inevitabilmente si accumulano durante la costruzione. Il Principale metodo per assicurare questo requisito è una pratica denominata "Flushing", che consiste nel far funzionare l'impianto nel regime di massima portata per un tempo di 8/10 ore utilizzando dei mezzi filtranti supplementari e sostituendo quelli normalmente presenti nell'impianto con elementi a mesh molto più fina di quella usata in condizioni operative.
- Verificare l'assenza di perdite: essendo l'impianto costituito da pannellature saldate, componenti accoppianti mediante flangiatura, elementi in pressione ecc. Un controllo sulla tenuta di tutte le zone di possibile perdita era fondamentale per attestare la corretta realizzazione dello skid. Questa fase si compone principalmente di un "Leak test", che consiste nella messa in pressione dell'impianto con dell'aria compressa per un lasso di tempo di circa un'ora ad una pressione superiore a quella operativa dopo aver provveduto a sigillare tutti i

“terminal point” (connessioni con l’esterno). Si appone poi su tutti i possibili punti di perdita un liquido simile al classico detergente che ha la funzione di manifestare la presenza di una perdita tramite delle bolle. Oltre al “Leak Test” si effettua l’“hydraulic Test” dove porzioni di impianto vengono sottoposto al test mediante l’uso di acqua in pressione, controllando quindi che non vi siano anche in questo caso gocciolamenti che rivelerebbero le perdite.

- Verificare il corretto funzionamento dei componenti: essendo numerosi i componenti fondamentali dell’impianto come i motori elettrici, le pompe, le valvole, i filtri e le varie strumentazioni di controllo, è necessario testare il giusto funzionamento di ognuno di essi e, quando richiesta, anche la verifica della taratura. Tutto ciò per assicurarsi che una volta in opera, ma anche durante il test operativo, l’impianto potesse funzionare per il meglio e con la giusta affidabilità.

Oltre alle pratiche precedenti sono stati previsti ed accuratamente dettagliati altri test ausiliari, per lo più visivi, per controllare i vincoli più macroscopici dell’impianto:

- Dimensional check: controllo che prevede che le dimensioni complessive dell’impianto rientrino nei vincoli imposti dal cliente.
- P&ID check: controllo che consiste nel verificare che tutti i componenti e le connessioni dichiarate nel P&ID approvato del cliente fossero presenti.
- Piping and Tubing check: Verificare che tutte le tubazioni rispettino le dimensioni e le schedule dichiarate. Nel settore Oil&gas and Power Generation, in genere, per “Piping” si intendono le tubazioni dove scorre il liquido di processo mentre per “Tubing” si intendono le piccole tubazioni ausiliarie di collegamento degli strumenti, di drenaggio e di ventilazione.
- Tagging check: controllo che le targhette identificative apposte sui componenti siano concordi alle codifiche mostrate sul P&ID.
- Material check: si controlla che i materiali utilizzati nella costruzione dell’impianto siano esattamente quelli dichiarati e richiesti dal cliente.
- Wiring Diagram check: controllo che il cablaggio elettrico sia conforme a quanto dichiarato nella rispettiva documentazione.
- Painting check: si Verifica che lo strato di vernice protettiva apposta sui vari componenti sia dello spessore adeguato a garantire un duraturo utilizzo.

Il sottoscritto, in seguito, è stato incaricato di riassumere tutte queste procedure di test, individuate nelle riunioni tenute con gli altri membri del Team di commessa, in un documento da presentare al cliente. Si potuto quindi elencare tutta una serie di operazioni e di passaggi che avrebbero guidato i tecnici collaudatori durante il test funzionale e avrebbero aiutato il cliente in fase di ispezione a verificare che l’impianto fosse fatto a regola d’arte e secondo le proprie esigenze.

La procedura di test è stata quindi schematizzata in 4 fasi, accuratamente descritte da una serie di passaggi: La prima fase è stata riservata alla preparazione dell’impianto per il test elencando tutte le operazioni preliminari necessarie; la seconda fase descriveva le operazioni da intraprendere per la corretta procedura di Flushing; La terza comprendeva il vero e proprio test funzionale volto a collaudare la macchina proprio nelle condizioni operative alle quali verrà utilizzato in sito; ed infine le operazioni finali atte a drenare la macchina, pulirla dai residui di liquido e garantirne il corretto trasporto.

I dettagli del documento prodotto sono contenuti nell'appendice "A"

All'interno del documento in questione, si è inoltre prevista una serie di tabelle dove annotare le principali variabili di processo e le caratteristiche dei motori in modo da poter documentare e raccogliere in modo chiaro i dati dell'impianto durante il test Funzionale.

Pump 01GHC10 AP010 flow (Lt/min.) to point 2A							
Pump 01GHC10 AP010 pressure (barG) to point 2A							
Pump 01GHC10 AP010 pressure (barG) on pump delivery							
Pump 01GHC10 AP010 operating temperature (°C) - water temperature in the tank							
Pump 01GHC10 AP020 flow (Lt/min.) to point 2A							
Pump 01GHC10 AP020 pressure (barG) to point 2A							
Pump 01GHC10 AP020 pressure (barG) on pump delivery							
Pump 01GHC10 AP020 operating temperature (°C) - water temperature in the tank							
01GHC10 AP010 motor/pump vibration (mm/s)	X: Y: Z:						
01GHC10 AP010 pump motor absorbed current (Ampere)	L1: L2: L3:						
01GHC10 AP020 motor/pump vibration (mm/s)	X: Y: Z:						
01GHC10 AP020 pump motor absorbed current (Ampere)	L1: L2: L3:						
IOS noise emission dbA (maximum value measured)							
01GHC10 AP010 MOTOR/PUMP							
01GHC10 AP020 MOTOR/PUMP							

Figura 50: Dettaglio tabelle di registro dati

Tale procedura, è stata poi approvata ed ufficializzata dal cliente, ed è stata utilizzata per le operazioni di collaudi nello stabilimento produttivo di Trino Vercellese con la presenza e la supervisione degli ispettori General Electric e di esponenti dell'Ufficio Tecnico di Flenco.

4 IMPIANTO LUBE OIL GOLAR

“Per tutelare gli interessi della Flenco Fluid System e del cliente non verranno mostrati integralmente disegni isometrici, diagrammi o altra documentazione. Verranno riportati esclusivamente particolari di tale documentazione, quando si renderà necessario per fini espositivi.”

4.1 INTRODUZIONE

La commessa 10422-23-24-25 consiste nella progettazione, realizzazione e messa in opera di 4 skid gemelli per la lubrificazione in contemporanea, mediante olio ISO VG 32, di 4 grandi compressori assiali e di una parte dei gruppi turbogas, anche essi 4, che hanno la funzione di unità motrice dei compressori.

Gli impianti in questione sono stati commissionati a Flenco da “Baker Hughes” (gruppo G.E. oil & gas) che a sua volta ha ricevuto l’incarico di fornire gli impianti dalla “Golar LNG”, società che ha sede a Singapore, composta da aziende affiliate specializzate in attività offshore e marittime.

La particolarità che rende unici questi impianti sta proprio nel fatto che essi sono stati studiati per essere installati su una grande nave FLNG, chiamata “GOLAR GIMI”, per l’estrazione e la liquefazione del gas naturale, con tutti i vincoli e le problematiche che ne conseguono.

La nave in questione infatti, sta subendo un importante intervento di manutenzione, riqualifica e rinnovamento degli impianti per essere, nel più breve tempo possibile, operativa al largo delle coste di Mauritania e Senegal.



Figura 51: foto nave FLNG



Figura 52: Modello 3D nave Golar Gimì

4.2 SCOPO E FUNZIONE DELLE NAVI FLNG

Lo scopo di questo genere di impianti consiste, come accennato, nella compressione di gas naturale appena estratto per permettere le numerose operazioni che ne conseguono al fine di ottenere il prodotto finito da caricare su grosse navi LNG da trasporto.

A bordo infatti, per prima cosa, si procede a separare tutti gas di scarto presenti come anidride carbonica (CO_2), azoto, ossigeno (in tracce), gas nobili e solfuro di idrogeno (H_2S). In seguito si separa il metano, che costituisce il principale componente del gas naturale, dagli idrocarburi più pesanti presenti nella miscela come l'etano (CH_3CH_3), il propano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) e il butano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), nonché, piccole quantità di pentano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) mediante dei circuiti di refrigerazione progressiva che permettono la loro liquefazione e quindi separazione.

Passaggio finale è quello di refrigerare il metano, mediante l'utilizzo di sistemi ad azoto liquido, fino alla temperatura di $-140\text{ }^\circ\text{C}$ circa ottenendo così la stabilità della fase liquida anche a pressione atmosferica permettendone così lo stoccaggio e il trasporto.

4.3 SCOPE OF SUPPLY

In questo caso, l'ingegneria dell'impianto non era totalmente affidata a Flenco, anzi esso aveva subito già una forte "pre-ingegnerizzazione" da parte del cliente che aveva già selezionato buona parte dei componenti principali. Questi infatti, vennero comunicati, tramite apposite specifiche, all'ufficio tecnico e commerciale di Flenco che hanno provveduto ad acquistare dai fornitori indicati.

Il ruolo di Flenco doveva essere quindi:

- Acquistare i componenti già selezionati dal cliente.
- Studiare un design in grado di soddisfare le richieste del cliente, la funzionalità dell'impianto e i criteri di sicurezza necessari in un ambiente offshore.
- Progettare i supporti e le strutture necessarie a garantire la solidità dell'impianto.
- Produrre ed allestire l'impianto in modo tale da essere pronto ad essere installato in sito ed utilizzato.
- Collaudare l'impianto nello stabilimento produttivo.
- Ottenere le certificazioni necessarie all'utilizzo Offshore.

4.4 COME È FATTO UN IMPIANTO DI LUBE OIL E IL SUO UTILIZZO

Un impianto Lube oil, come accennato, è una centralina che ha lo scopo di fornire l'olio lubrificante necessario al funzionamento di grandi macchine rotanti come turbine o compressori. A questo scopo infatti si provvede a pompare, filtrare e regolare la temperatura dell'olio al fine di assicurare le giuste caratteristiche di portata, purezza, pressione e viscosità necessarie ai delicati cuscinetti montati sulle macchine.

4.4.1 Lubrificazione turbine e compressori

I cuscinetti installati sulla maggior parte dei grandi compressori centrifughi per la compressione di idrocarburi e negli impianti turbogas per la produzione di energia sono di tipo fluidodinamico "tilting pad". Essi presentano dei pattini oscillanti intorno ad un perno che una volta messo in rotazione l'albero, fanno sì che si generino delle forze idrodinamiche che permettano il sostentamento dei carichi radiali ed assiali senza contatto diretto tra le superfici in movimento, né la necessità di elementi volventi.



Figura 53: immagine cuscinetti idrodinamici

Questo tipo di cuscinetti offre vantaggi sia in termini di prestazioni, essendo l'attrito ridotto al minimo possibile, sia in termini di durevolezza ed affidabilità dovuta al fatto che non vi sono elementi in movimento.

4.4.2 Descrizione dell'impianto Lube Oil

Anche se con alcune differenze sostanziali, che verranno analizzate in seguito, l'impianto da produrre ha gli stessi componenti e la stessa funzione di una centralina Lube Oil classica, quindi è opportuno prima di tutto esaminare i vari elementi principali che lo compongono ed il loro funzionamento.

Un impianto Lube Oil, in generale, è costituito da un basamento che fa da supporto meccanico a tutti i componenti garantendo la solidità della struttura in opera e durante le fasi di trasporto. All'interno dell'area delimitata da tale basamento sono installati numerosi componenti, tra cui i principali sono:

- Serbatoio (tank): ha lo scopo di accumulare una certa quantità di olio necessario a garantire, con ampio margine di sicurezza, la continuità di utilizzo dell'impianto e quindi di fornitura di lubrificante anche in presenza di rotture e perdite nel circuito chiuso.
- Pompe: il "cuore" dell'impianto, ovvero il componente fondamentale che garantisce la portata e la pressione richiesta. Data l'importanza dell'item si tende ad avere sempre una ridondanza nel numero delle pompe installate e pronte al servizio. Sono previste, infatti, almeno 2 pompe gemelle che si alternano in modo tale da poter eseguire la manutenzione ordinaria e straordinaria senza fermare l'impianto. Esse in genere sono alimentati da dei motori AC trifase alimentati direttamente dalla rete elettrica locale. Oltre alle due suddette pompe, nella maggior parte dei casi se ne prevede anche una terza, di dimensioni leggermente inferiori alle principali, azionata da un motore in corrente continua.

Questo accorgimento permette di alimentare la pompa mediante un pacco batterie anche in caso di guasto o collasso della rete elettrica locale, garantendo così un apporto di olio minimo alla macchina sufficiente a garantirne lo spegnimento in sicurezza. Si ricorda infatti che l'interruzione di lubrificante ad una turbina che ha una velocità di rotazione compresa in genere tra i 3000 e i 3600 giri al minuto può avere delle conseguenze disastrose alla stessa danneggiando cuscinetti e altri elementi fondamentali al funzionamento. Questo naturalmente comporterebbe elevati costi di riparazione oltre ad un lungo periodo di inattività dell'impianto e quindi ingenti perdite economiche.

Le pompe genericamente utilizzate in questo genere di impianti sono principalmente di due tipologie: a vite, centrifughe.

Le prime sono delle pompe volumetriche che, una volta fissato il numero di giri, forniscono una portata pressoché costante qualsiasi sia la prevalenza richiesta dal circuito, le seconde invece sono contraddistinte da una curva caratteristica decrescente e non lineare.

- Cooler: Scambiatore di calore in genere a fascio tubiero o a piastre che ha lo scopo di garantire che la temperatura dell'olio rimanga costante e pari a quella ottimale di operatività. In genere questa temperatura "target" oscilla tra i 50 e i 60 °C a seconda delle richieste del cliente, tuttavia, bisogna assicurare un range di variazione della stessa quanto più limitato possibile anche dopo ore di lavoro. L'olio che transita nel circuito e torna al serbatoio, infatti, tende a riscaldarsi grazie agli attriti con le tubazioni e al contatto con superfici calde. Si rende quindi necessario ridurre la temperatura per non perdere le caratteristiche di viscosità necessarie al buon funzionamento dei cuscinetti, se ad esempio la temperatura dell'olio aumentasse di soli 10 °C la sua viscosità passerebbe da 15 cSt a 11 cSt con possibili conseguenze.

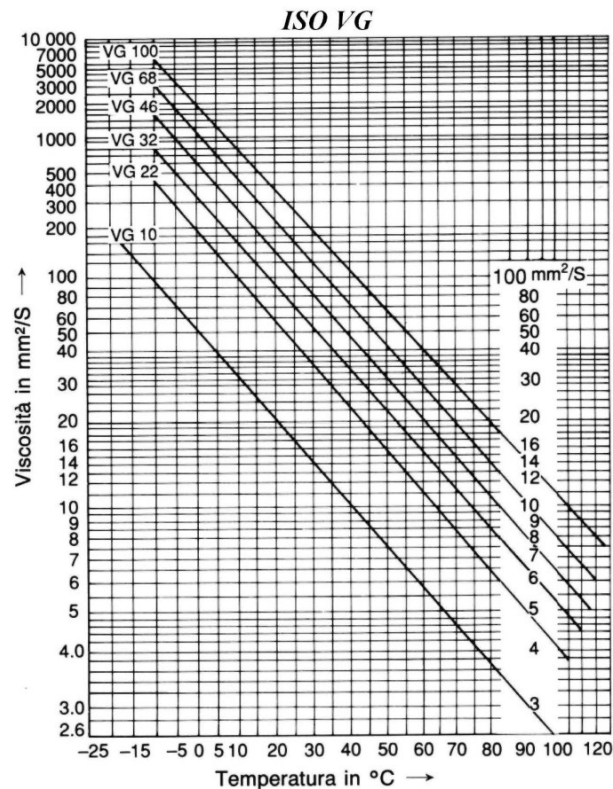


Figura 54: viscosità di vari tipi di olio minerale in funzione della temperatura

- Filtro: in genere viene predisposto un filtro in configurazione "Duplex", ciò prevede la presenza di due corpi filtranti anch'essi usati in modo alternativo in modo tale da poter comodamente sostituire le cartucce filtranti di uno mentre l'altro è in funzione. La necessità di un olio sempre pulito ed esente da detriti risulta piuttosto intuitivo se si pensa alla natura dell'impianto. La presenza di impurità e pulviscolo, anche se di piccole dimensioni, potrebbe causare danneggiamenti alle parti in movimento ad alta velocità, provocare fenditure ed abrasioni alle superfici dei tubi e dei componenti costringendo il gestore dell'impianto alla precoce sostituzione, generare accumuli che nel tempo potrebbero ostacolare, se non impedire totalmente, il fluire dell'olio con tutte le problematiche conseguenziali al caso. In questo genere di applicazioni sono utilizzati filtri a cestello con cartucce filtranti perfettamente in grado di trattenere particelle aventi diametro superiore ai $10\ \mu m$.

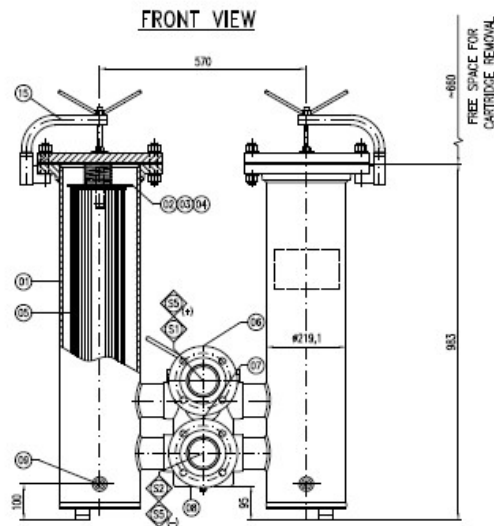


Figura 55:dettaglio disegno filtro duplex

- Valvola di Regolazione della Pressione: anche nota con l'acronimo PCV, essa permette di mantenere costante la pressione a valle della stessa in modo del tutto automatico e meccanico, senza l'ausilio di un sistema di controllo elettronico. Essa in genere viene posta in prossimità del "terminal point" dell'impianto, cioè dove l'impianto viene connesso all'utenza finale, in modo tale da garantire che l'olio uscente dall'impianto abbia esattamente la pressione desiderata. Questo genere di dispositivo presenta una membrana flessibile posta a formare una camera contenente del liquido di processo. Tale camera è messa in comunicazione con un punto a valle della valvola stessa mediante un piccolo tratto di tubing, potendo così ricevere un diretto segnale in pressione dal processo. La membrana è posta a contatto con una molla di contrasto in modo tale che una variazione della pressione all'interno della camera, comporti una variazione del precarico della molla che quindi offrirà una maggiore resistenza all'apertura dell'otturatore. Quindi è evidente che a parità di pressione in ingresso, il fluido riuscirà a far alzare più o meno l'otturatore in funzione del precarico della molla (quindi della pressione a valle) incontrando così più o meno resistenza nell'atto di attraversare la valvola, riducendo così la pressione della giusta quantità.

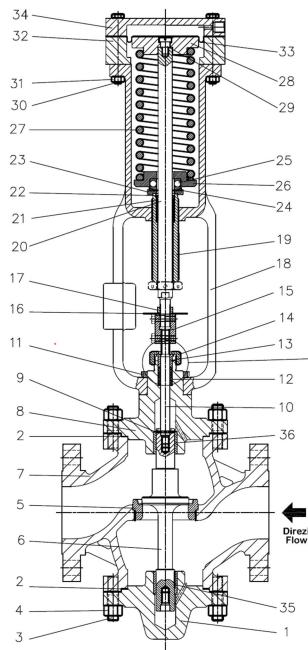


Figura 56: dettaglio disegno valvola regolatrice di pressione

- Valvola regolatrice della temperatura: in genere è una valvola a 3 vie che generalmente viene fatta lavorare in “mixing” miscelando la portata di olio a più bassa temperatura proveniente dal cooler con la portata più calda che by-passa lo scambiatore di calore, fino a raggiungere la temperatura di setting.

Il sistema di controllo di attuazione della valvola anche in questo caso è automatico. Esso può essere sia a controllo elettronico che agisce su segnale di un sensore di temperatura posizionato a valle della valvola, sia di natura puramente meccanica. Le valvole utilizzate per questa seconda soluzione, molto usate per il design molto semplice e perché non necessitano di un sistema di controllo elettronico, hanno all'interno del corpo valvola un sistema con un materiale ceroso molto sensibile agli sbalzi di temperatura.

Grazie alla espansione e contrazione termica di questo particolare materiale che si riesce ad ottenere la forza necessaria ad attuare i leverismi interni della valvola che permettono una miscelazione quanto mai precisa.

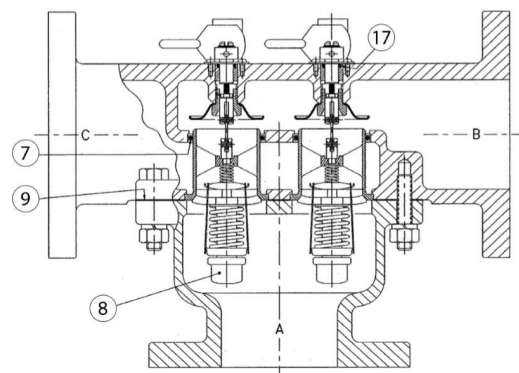


Figura 57: dettaglio disegno Valvola di controllo della temperatura

- Accumulatori idraulici: sono dei serbatoi composti da due camere separate da un diaframma flessibile. La prima camera è messa in diretta comunicazione con le tubazioni dove scorre il liquido di processo, in questo caso l'olio minerale; l'altra riempita di un gas, di solito azoto, in pressione che esercita quindi una forza sul fluido di processo controbilanciata dalla pressione presente sulla linea di mandata.

In genere sono posti in prossimità del "terminal point" di outlet del sistema ed hanno principalmente due funzioni: la prima è quella di garantire una riserva di energia sotto forma di pressione ogni qual volta si verifica un breve transitorio, ad esempio quando una pompa si spegne ed entra in funzione la sua gemella, salvaguardando quindi la turbina da cali di pressione dell'olio.

L'altra funzione principale è quella di "ammortizzatore" contribuendo in modo sostanziale a smussare i picchi di pressione ed i colpi d'ariete evitando, in questo modo, degli stress alla linea.

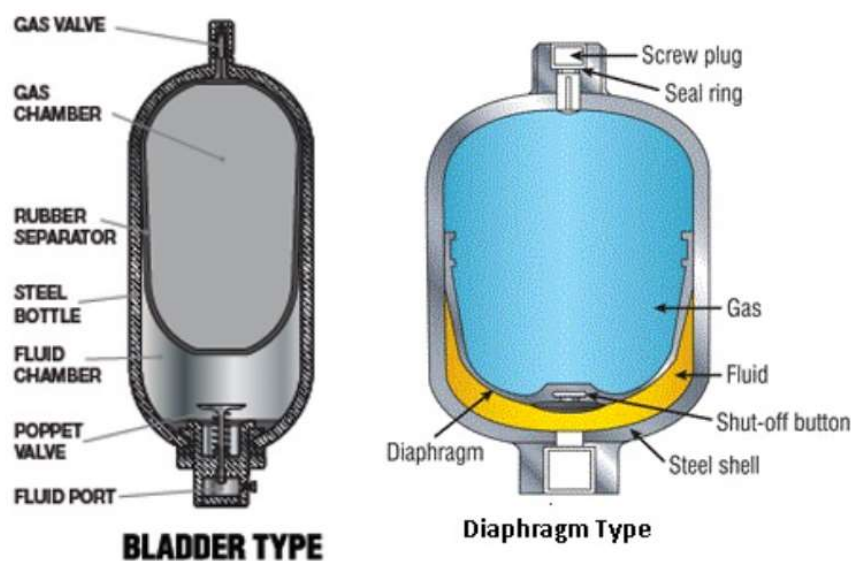


Figura 58: disegno accumulatore idraulico

- Valvola Sfiatrice: molto simile per costruzione alla valvola regolatrice di pressione, molto diversa però è la funzione e il punto di installazione. Essa in genere non è posta sulla linea principale ma su una sua derivazione ed ha la funzione di far riciclare indietro verso il serbatoio una certa quantità di olio che è in eccesso.

L'utilizzo di questa valvola è limitato ai casi in cui si utilizzino pompe volumetriche alimentate da motori sprovvisti di inverter. Infatti, essendo in genere le pompe dimensionate per una portata leggermente superiore a quella richiesta nominalmente, e non potendo essere esse regolate in altra maniera, è opportuno far sì che la esattamente la giusta portata in eccesso sia rimandata al serbatoio.

- Riscaldatore elettrico: generalmente consiste in un riscaldatore a resistenze, installato direttamente sul tank, che ha lo scopo di portare la temperatura dell'olio all'interno del serbatoio ad una soglia minima (per l'olio minerale in genere 10 °C) che consente l'accensione dell'impianti senza i rischi dovuti all'eccessiva viscosità dell'olio a basse temperature.

Per le norme API va dimensionato per una potenza capace di riscaldare l'olio dalla temperatura minima ambientale alla temperatura minima consentita in un tempo massimo di 12 ore.

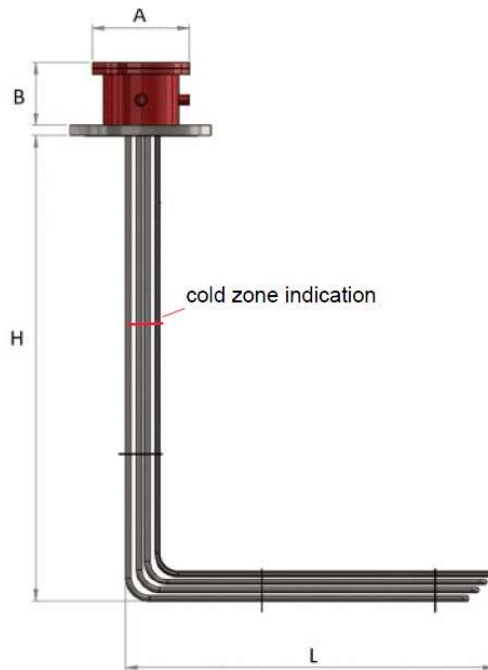


Figura 59: Riscaldatore elettrico

Viene di seguito riportato lo schema funzionale di un impianto lube oil che permette di individuare la posizione dei componenti sopracitati sulle linee di passaggio dell'olio.

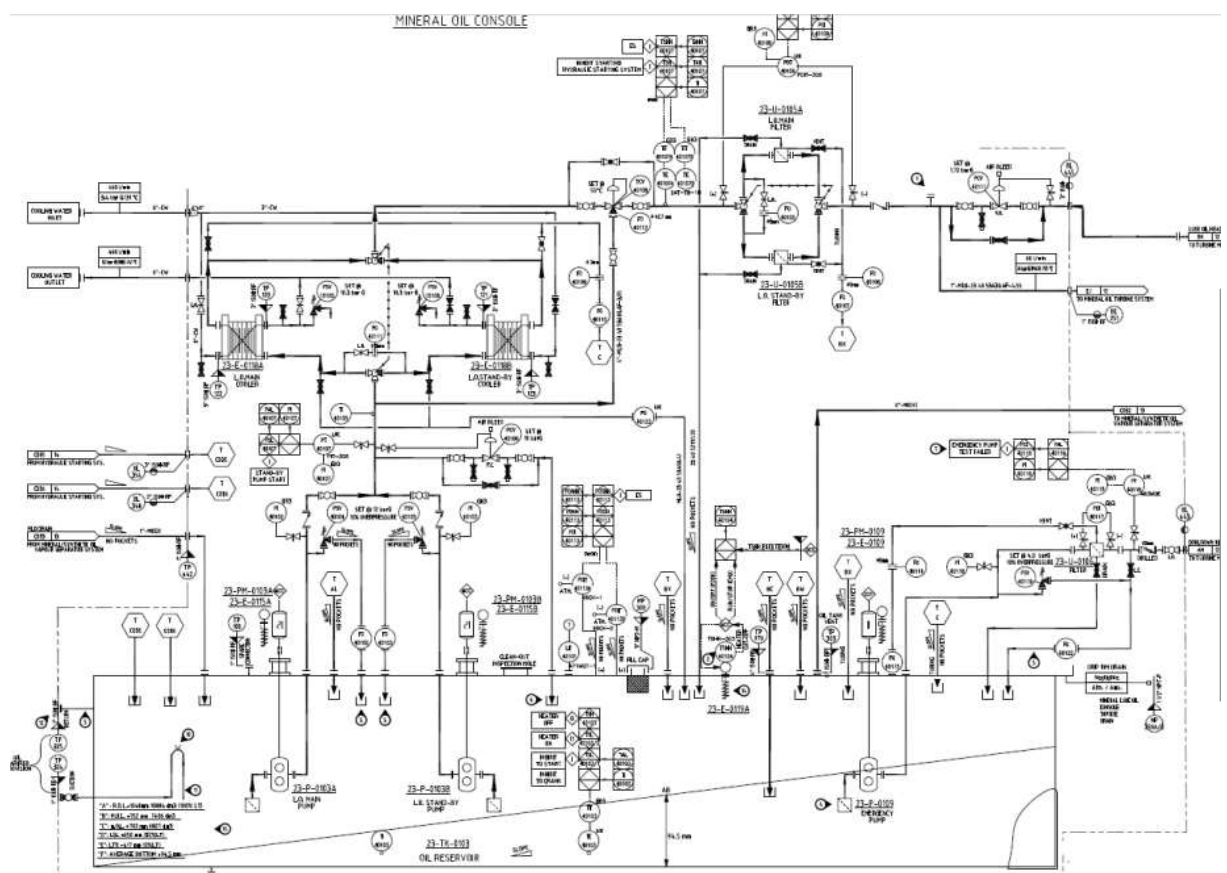


Figura 60: schema funzionale impianto Lube Oil

4.5 IMPIANTO GOLAR: PARTICOLARITÀ, PROBLEMATICHE E SOLUZIONI

La particolarità principale che rende l'impianto in questione differente dagli altri, è stata la necessità di dover installare lo skid all'interno di una struttura già progettata dal cliente in modo del tutto peculiare e nuovo rispetto alle esperienze fino ad oggi maturate da Flenco.

La struttura in questione è una torre di acciaio che presenta degli alloggiamenti studiati appositamente per ospitare, nel minor spazio possibile, tutti i vari moduli che compongono l'impianto completo. Ne consegue che anche lo skid Lube Oil non poteva, quindi, essere realizzato nella maniera classica ma doveva piuttosto adattarsi e conformarsi alla struttura precedentemente ideata dal cliente, per poter integrarsi con gli altri sistemi.

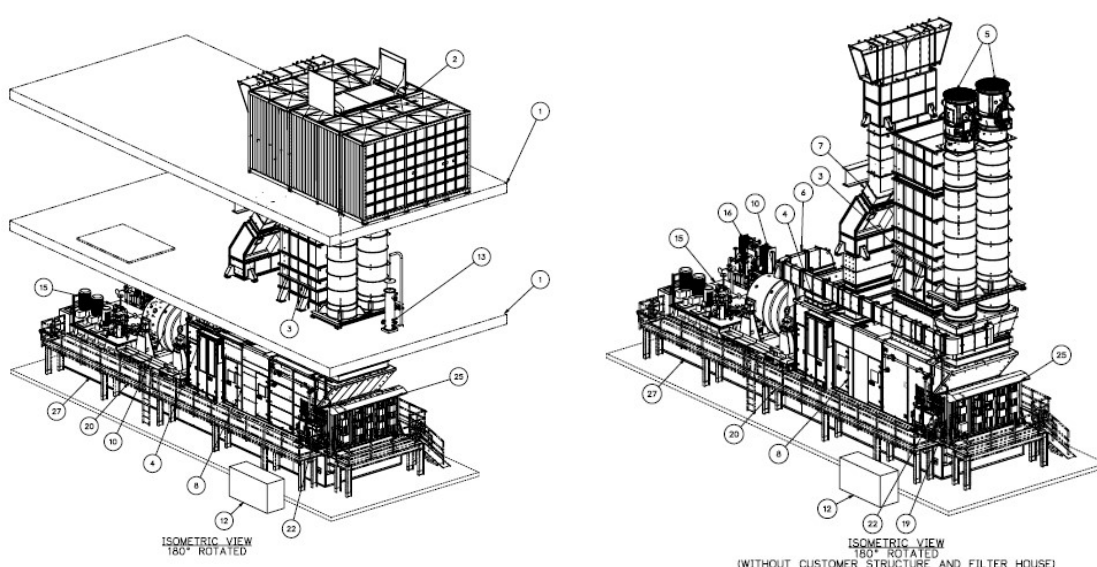


Figura 61: dettaglio del General Arrangement della zona di compressione del gas naturale

4.5.1 Problematica 1: Design dello skid

Come accennato, non si è potuto utilizzare un design classico di progettazione, il quale prevede, in genere, un basamento facente da telaio strutturale sul quale vengono alloggiati i componenti, il serbatoio e la strumentazione. Al contrario, si è dovuto adottare un metodo costruttivo piuttosto innovativo che prevedeva che l'intero skid fosse calato dall'alto nella struttura, incassato all'interno di uno degli alloggiamenti e mantenuto sospeso da una struttura portante perimetrale realizzata con delle travi con profilo a "C" rinforzate.

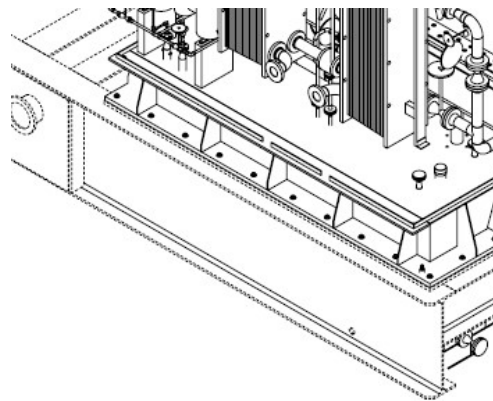
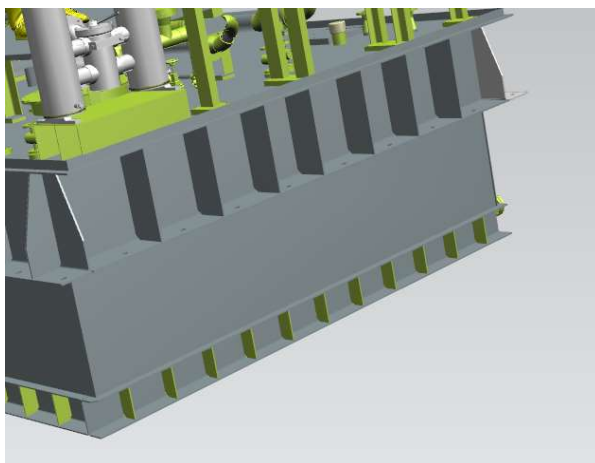


Figura 62: dettaglio della struttura dello skid

Tutto il peso, quindi, olio compreso, doveva venir sorretto dalle pareti esterne del serbatoio, chiamate quindi a sopportare forti carichi di trazione e flessione, per poi essere scaricato sulle spalle fornite dalla struttura. Questo ha comportato la necessità di un forte inspessimento delle lamiere utilizzate e dell'applicazione di numerosi rinforzi in tutte le pareti laterali.

Anche il fondo del serbatoio, chiamato anch'esso a sopportare il peso dell'olio sospeso, è stato irrigidito con una struttura realizzata con travi a "C" evitando così che esso si flettesse troppo sotto l'azione di carichi statici e dinamici. La struttura, infatti, essendo alloggiata su una nave, nonostante le grandi dimensioni di essa, doveva essere dimensionata e progettata anche per sollecitazioni cicliche ed oscillazioni del carico dovute ai fenomeni di rollio e beccheggio. L'entità di queste oscillazioni e fluttuazioni è stata frutto di uno studio approfondito del cliente, in collaborazione con l'armatore della nave, che ha potuto così fornirci di dati accurati.

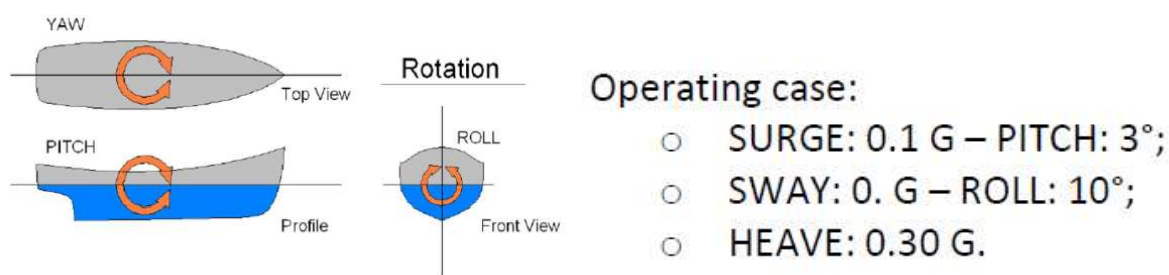


Figura 63: dettagli su rollio e beccheggio

4.5.2 Problematica 2: Predisposizione alla manutenzione del compressore

Come già spiegato in precedenza, principale funzione dell'impianto è quella di fornire lubrificante a un compressore centrifugo di grandi dimensioni (modello 2BCL906 di BHGE).

Per una logica di manutenzione dell'ingombrante corpo del compressore il cliente ha richiesto di riservare, a bordo del nostro skid, uno spazio che permettesse l'estrazione del compressore e che garantisse la possibilità di effettuarvi interventi di manutenzione e/o riparazione.

Lo spazio da ricavare doveva essere un cilindro di diametro 1850 mm e lunghezza di 3800 mm posizionato proprio al centro dell'impianto e doveva essere lasciato completamente libero da possibili interferenze ed ingombri.

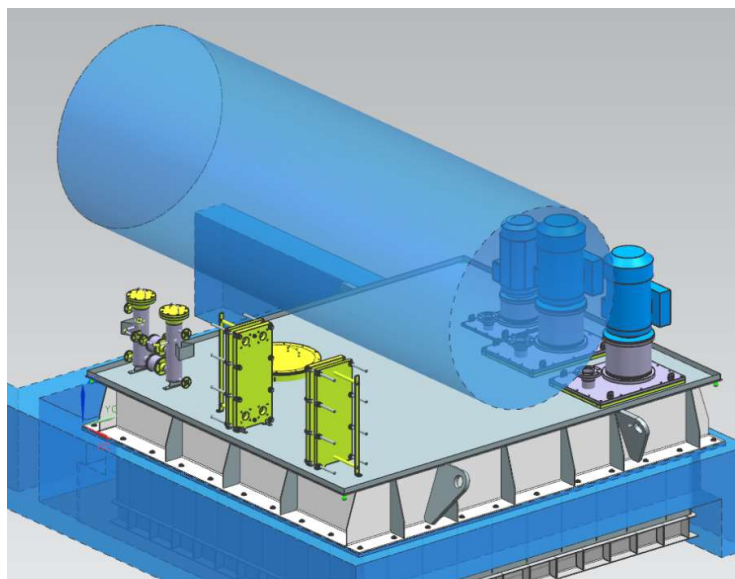


Figura 64: dettaglio spazio di estrazione del compressore

È chiaro che questo fatto ha richiesto un'opera di design non indifferente considerando sia la mole dell'ingombro, sia il fatto che i componenti fossero già stati selezionati dal cliente ed impossibilitati alla sostituzione.

Il problema era anche incrementato dal fatto che non si disponeva ancora dei disegni finali dei componenti da installare, bensì solo una versione preliminare. I disegni in questione, infatti dovevano essere forniti dal cliente che aveva già provveduto all'acquisto della maggior parte degli items principali.

Ad ogni modo, si è proceduto prima di tutto a modellare al CAD una prima versione utilizzando i disegni preliminari, si è scelto quindi, in collaborazione con l'esperto disegnatore, di piazzare tutti e 3 i gruppi di pompaggio ad immersione sul lato dello skid ed il resto degli elementi più ingombranti come filtro e scambiatore di calore nel lato opposto, installando in seguito tutte le tubazioni di interconnessione. La soluzione sembrava soddisfacente, tuttavia, una volta arrivati i disegni definitivi delle pompe acquistate dal cliente esse si sono dimostrate largamente più grandi rispetto alle quotature precedentemente fornite. Ciò ha quindi compromesso il layout poiché i basamenti dei gruppi di pompaggio superavano di gran lunga la lunghezza disponibile arrivando ad occupare la zona preposta all'estrazione del compressore.

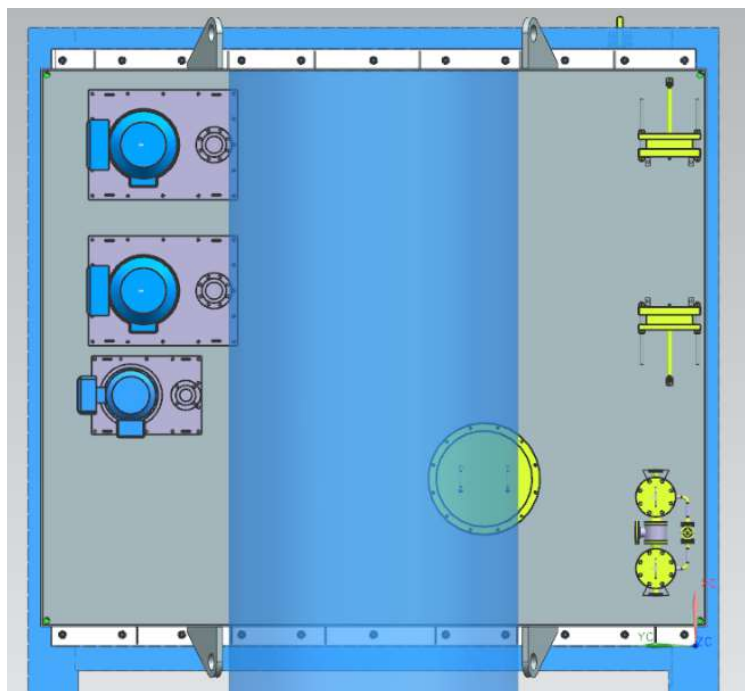


Figura 65: layout preliminare

Si è quindi provveduto a studiare una soluzione alternativa, si è quindi scelto di ruotare la posizione delle stesse di 90°, pur dovendo modificare tutte le tubazioni presenti, riuscendo così ad inserire nuovamente tutte e tre le pompe presenti nello stesso versante dello skid. Tuttavia, l'ingombro complessivo richiesto dai 3 items non permetteva l'installazione dei pannelli riservati all'alloggiamento delle strumentazioni fondamentali al monitoraggio dei processi in atto.

Si è pensato allora ad una soluzione cercando di sfruttare in modo ancora più massiccio le zone laterali del piano superiore dello skid, ricorrendo anche a delle mensole realizzate a sbalzo per alloggiare il pannello strumenti ed altri componenti. Ciò ha permesso, con qualche piccola eccezione, di realizzare un design quasi privo di ingombri nella zona di estrazione del compressore.

Nonostante gli sforzi, tuttavia, non si è riuscito ad evitare l'eventualità di dover smontare, prima della manutenzione del compressore, e in seguito reinstallare alcuni componenti presenti sullo skid come la valvola di regolazione della pressione.

Il cliente ha comunque accettato questa soluzione perché l'unica percorribile a patto che le manovre di smontaggio e rimontaggio fossero studiate in modo tale da richiedere il più breve tempo possibile.

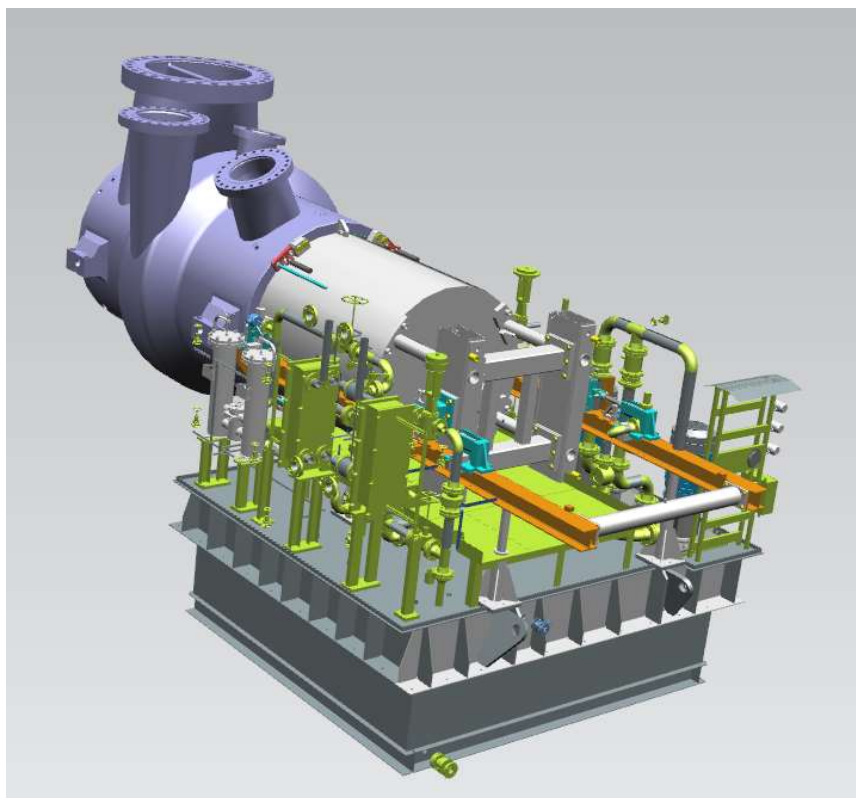


Figura 66: Prospettiva del modello 3D finale

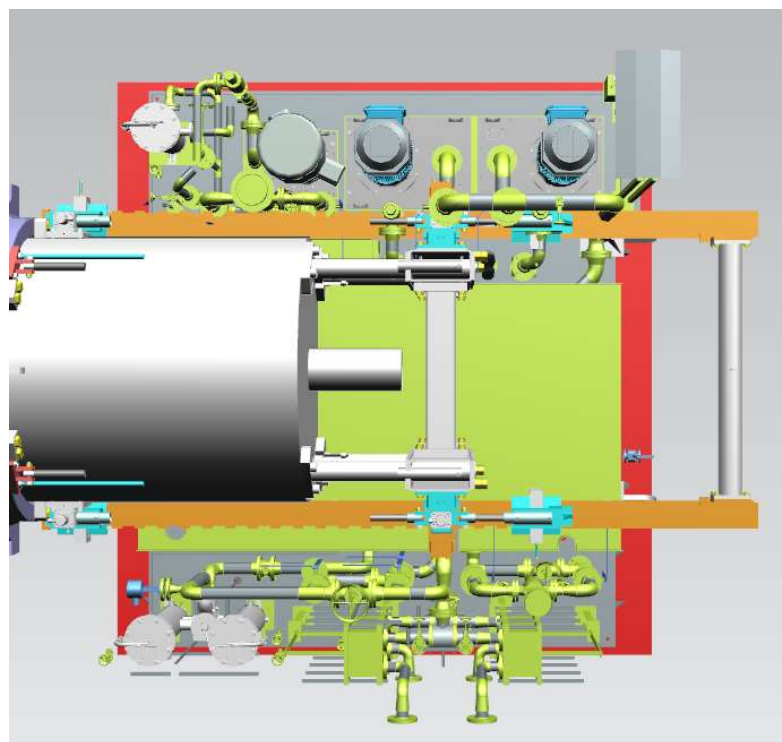


Figura 67: vista dall'alto del modello 3D finale

4.5.3 Problematica 3: Peso del compressore

In un primo momento, il sostenimento del peso del compressore, una volta estratto per la manutenzione, era stato pensato attraverso dei robusti supporti simili a rotaie che permettessero di far scivolare il compressore in modo agile e sicuro. I suddetti supporti dovevano avere delle basi di appoggio che scaricassero il peso del compressore sulle robuste spalle della struttura dove è alloggiato lo skid lube oil, non gravando, quindi, sulla superficie superiore dello skid già aggravata del peso dei componenti quali pompe, filtri, tubazioni ecc.

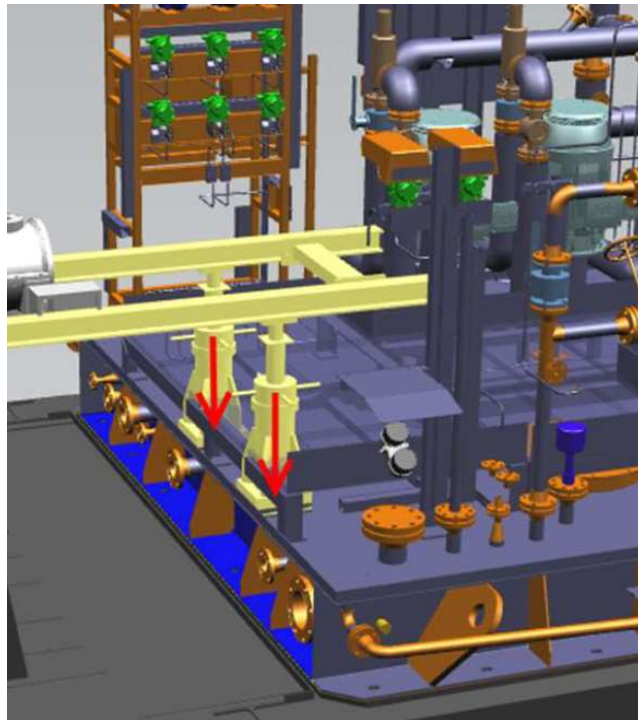


Figura 68: posizione dei supporti nelle fasi preliminari

Tuttavia, da calcoli effettuati dal cliente, questa soluzione si è dimostrata impercorribile data l'eccessiva distanza tra una coppia di basi di appoggio e l'altra. Si è dovuto provvedere, quindi, ad avvicinarle fino alla distanza necessaria finendo così per posizionarle in una zona centrale dello skid lube oil.

Il cliente ha provveduto quindi a fornirci un file contenente le informazioni necessarie a comprendere l'esatta posizione dei supporti e si è potuto così iniziare a valutare dal modello 3D dell'impianto i possibili problemi strutturali derivanti dal cambiamento.

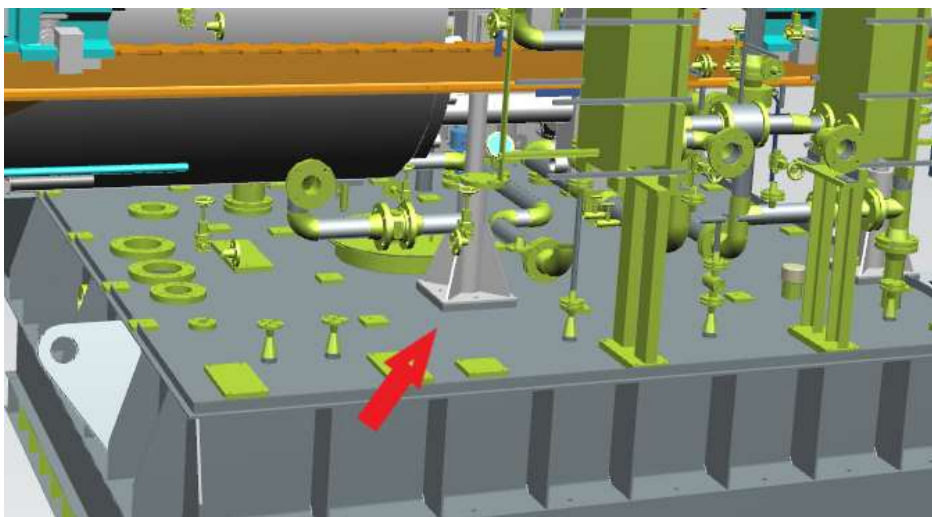


Figura 69: Dettaglio nuova posizione dei supporti

Il team di commessa ha potuto subito notare che il cambiamento attuato dal cliente comportava un problema enorme dal punto di vista della solidità della struttura dell'impianto, perché, in fase di manutenzione, tutto il peso del compressore finiva per gravare sul piano superiore del serbatoio dello skid. Questo sovraccarico, calcolato per un totale di 30 tonnellate, rendeva totalmente insufficiente la lamiera utilizzata per il "Top" del tank, pensata e dimensionata per sorreggere carichi ben minori.

Si è dovuto trovare così una soluzione che potesse risolvere la problematica. La prima opzione proposta di porre dei pilastri verticali a puntellare e rinforzare la lamiera fu prontamente scartata.

Era evidente infatti che non si potesse aggiungere supporti verticali che sostenessero il peso perché il fondo del serbatoio non poggiava a terra e non avrebbe quindi fornito alcun supporto alla struttura.

La seconda proposta venuta alla luce è stata quella di inserire due travi orizzontali IPE passanti all'interno del tank, che avrebbero dovuto sorreggere il peso e scaricare le sollecitazioni sulle spalle della struttura assicurando così un buon sostegno al piano di appoggio del compressore. Riflettendo sul fatto che le suddette travi si trovassero a passare all'interno del serbatoio contenente l'olio, si è intuito che un normale acciaio da costruzione non fosse adatto a tale scopo. Il motivo principale è che l'acciaio al carbonio, ossidandosi, avrebbe potuto rilasciare all'interno del serbatoio una serie di particelle che avrebbero irrimediabilmente inquinato l'olio. Oltre a questo fatto, essendo la struttura realizzata completamente in acciaio inossidabile, la presenza di un ambiente umido avrebbe potuto instaurare meccanismi di corrosione galvanica sui due acciai di diverso tipo posti a contatto, mettendo a repentaglio la solidità strutturale negli anni. Dopo un'indagine di mercato, chiedendo informazioni ad alcuni fornitori, si è stati costretti a scartata l'opzione a causa del costo eccessivo delle travi in questione costruite in acciaio inossidabile.

Si è quindi provato a trovare una soluzione che potesse ridurre i problemi di budget. Si è quindi pensato di attuare una soluzione simile alla precedente, fabbricando tuttavia internamente le strutture che avrebbero in seguito costituito il supporto.

Si è quindi pensato di fabbricare due travi con profilo a "T" rovesciato, a partire da dei semilavorati già presenti in officina che, saldate alle lamiere costituenti le pareti laterali e superiore, avrebbero garantito il supporto necessario a fronte di un costo per l'azienda assai minore.

Dopo l'approvazione del cliente riguardo la soluzione adottata, si è proceduto a far valutare la struttura dal punto di vista della resistenza sia statica che dinamica da uno studio specializzato nel calcolo strutturale. La soluzione è stata nuovamente approvata in questi termini e quindi si è potuto procedere all'acquisto dei materiali e alla costruzione come da modello di cui è fornito un estratto.

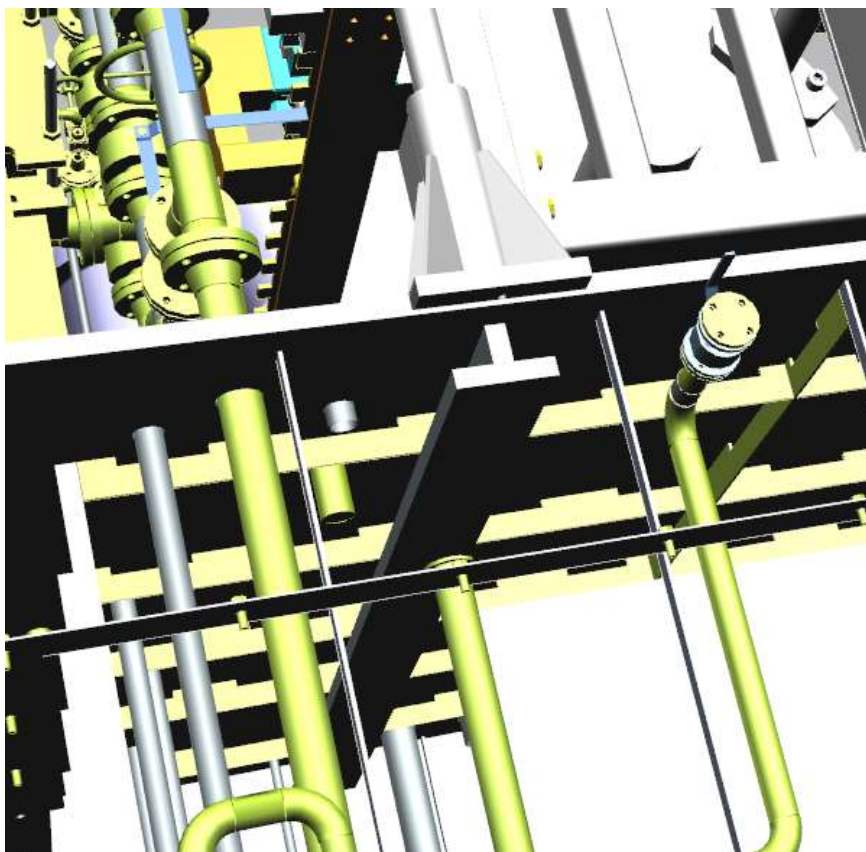


Figura 70: dettaglio travi di supporto

4.5.4 Problematica 4: Presenza di sostanze infiammabili, Hazardous Area

Anche se l'olio minerale elaborato dall'impianto per la non è considerato un fluido pericoloso in termini di esplosività, l'estrema vicinanza dello skid con il compressore, che comprime grandi quantità di gas naturale, e con il gruppo turbina, che è alimentato con combustibile altamente infiammabile, ha fatto sì che anche la zona di alloggiamento dell'impianto lube oil fosse classificata come "Hazardous Area" (zona a rischio).

Il fatto di rientrare in una zona a rischio di esplosione ha comportato il fatto di dover attuare tutta una serie di accorgimenti per garantirne la sicurezza nel modo più completo possibile. Il cliente ha richiesto, a tal proposito, che l'impianto ed in particolare tutti i componenti elettronici ed elettrici, i cavi utilizzati per il cablaggio, i pressacavi, le cassette di collegamento ecc. fossero certificati "IEC Ex".

I componenti elettrici/elettronici, infatti, sono le principali cause di inneschi di fiamme o esplosioni, dunque le apparecchiature destinate ad ambienti a rischio, devono essere fabbricate in modo tale da non sviluppare scintille, calore eccessivo e in modo tale che la temperatura che le superfici raggiungono durante l'utilizzo, non superi una certa soglia.

La “IEC Ex” è uno schema di certificazione internazionale che attesta la conformità di un componente o un impianto alle normative di sicurezza in ambienti “hazardous” emanate da IEC (International Electrotechnical Commission), ente che definisce gli standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. Essendo una normativa diversa dalla normativa “ATEX” usualmente utilizzata in ambito di fabbricazione europea, il sottoscritto ha prima di tutto ricercato il significato della classificazione di area individuata come riferimento per la normativa, fornitaci dal committente.

La zona in questione è stata valutata da studi effettuati dal cliente come classe 1, zona 1, Gruppo IIB, temperatura T4 secondo la normativa internazionale IEC che si rifà alla normativa americana NEC 505. Si è potuto appurare che essa fornisce una classificazione per la valutazione dei rischi in base alla tipologia di sostanza infiammabile presente nell’ambiente, la quantità presente, la ventilazione e le temperature ambientali e dei componenti. Analizzando così i codici forniti si è potuto risalire al significato degli stessi:

Compressor Skid: Class 1, zone 1, group IIB, Temperature T3

Figura 71: Classificazione di zona a rischio esplosione fornita dal cliente

- Classe 1: si definisce luogo di “classe 1” quello nel quale vi è la presenza di gas infiammabili in quantità sufficiente a causare una possibile esplosione. Nel caso in esame, la presenza di una grande quantità di gas naturale che circola nelle tubazioni ed attraverso il compressore fa ricadere l’ambiente in questa classe.
- Zona 1: indica una zona dove è probabile che in condizioni normali di operatività vi sia la presenza di Gas infiammabili. Questa seconda classificazione infatti è relativa alla possibilità che vi sia del gas, essa va da “zona 0” dove la presenza del gas è sicura, ad una “zona 2” dove la presenza di agenti pericolosi non è probabile e, anche in caso essa possa accadere, la durata della persistenza nella zona sarebbe minima.
- Gruppo IIB: indica la tipologia di gas maggiormente presente, in questo caso Etilene.
- Temperatura T3: indica la temperatura massima superficiale alla quale i componenti possono arrivare senza avere un concreto rischio di esplosione. In questo caso essa corrisponda a 200 °C.

Si è potuto così acquistare le strumentazioni, gli accessori ed il materiale elettrico, provvisti di una certificazione che garantisse le possibilità di utilizzo nelle condizioni descritte precedentemente. Tale operazione ha sicuramente comportato un aggravio dal punto di vista economico non indifferente per l’azienda ma, tuttavia, indispensabile.

Si è dovuto, quindi, ottimizzare il più possibile, dal punto di vista commerciale, l’acquisto di tali componenti, procedendo con un accurato lavoro di selezione e controllo di strumenti e fornitori in modo tale che garantissero, al contempo, sia la validità tecnica degli items, sia la competitività economica.

4.5.5 Problematica 5: Certificazione DNVGL

Data la complessità, la grandezza e la portata economica di un investimento in un impianto offshore di questo tipo, spesso le società armatrici dei vascelli decidono di affidarsi a quotati enti certificatori in

grado di monitorare e salvaguardare la buona fattura dell'impianto, la funzionalità e, soprattutto, che la sicurezza per cose e persone sia oltremodo assicurata. È per questo motivo che, anche per lo skid lube oil prodotto da Flenco, il cliente ha espressamente richiesto che l'impianto ed i componenti utilizzati fossero approvati e certificati da "DNV GL".

La "DNV GL", acronimo di "Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd" è una società di certificazione internazionale che ha sede in Norvegia, frutto della fusione dei due giganti: DNV, di origine norvegese, e della tedesca GL. Essa è ad oggi la più grande società del settore, i cui servizi e certificazioni sono forniti a più di 13000 scafi tra navi e piattaforme mobili offshore, circa il 21% dell'ammontare totale del mercato.

Dato che anche la certificazione mediante questo ente era una totale novità per l'azienda, essa ha comportato uno sforzo non indifferente per ottenere le informazioni necessaria a procedere nella progettazione dell'impianto. L'azienda ha quindi incaricato il sottoscritto, di produrre un dettagliato report riguardante tutti i dettami e tutte le procedure da dover seguire per ottenere la completa certificazione dell'impianto. Oltre a questo, si doveva prendere contatto con il personale dell'ente DNVGL con sede a Genova per schedulare una serie di incontri e ottenere una quotazione per quanto riguarda il costo della certificazione.

Si è proceduto, per prima cosa, a selezionare le normative e gli standard DNV che avevano validità nel caso in questione, analizzandole e studiandole al fine di allineare il layout e la scelta della strumentazione e dei componenti ai dettami.

Gli standard di riferimento individuati come pertinenti al nostro caso sono:

Please be aware that this simplified matrix is for reference only, the final decision should be based on products parameter and the exact regulation requirement.	DNV-OSS-103 Rules for Classification of LNG/LPG Floating Production and Storage Units or Installations								
	DNV-OS-E201 Oil and Gas Processing Systems								
	DNV-OS-C101 Design of Offshore Steel Structures, General LRFD method								
	DNV-OS-A101 Safety Principles and Arrangements								
	DNV-OS-D101 Marine and Machinery Systems and Equipment								
	DNV-OS-D201 Electrical Installations								
	DNV-OS-D202 Automation, safety, and Telecommunication systems								
	DNV-OS-D301 Fire Protection								
Gas Turbine	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gas Turbine Package	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lube Oil System	X	X				X	X		X

Figura 72: Specifiche DNVGL applicabili

Le normative in questione si sono dimostrate piuttosto severe e stringenti, come sicurezza impone, data la pericolosità dell'impianto, costringendo l'ufficio tecnico Flenco a numerose modifiche ed ottimizzazioni, indirizzando la progettazione dell'impianto verso soluzioni anche del tutto nuove rispetto agli standard aziendali. Ciò nonostante, in seguito al meticoloso studio delle normative ed il contatto diretto e continuo con gli ispettori DNV, si è arrivati a pianificare con un buon dettaglio tutti le operazioni necessarie al buon esito dell'attività.

Il report realizzato, quindi, si è dimostrato fondamentale in quanto ha permesso di conoscere tutte le restrizioni poste dall'ente in una fase ancora preliminare di progettazione, riuscendo così ad adattare, in corso d'opera, l'impianto risparmiando tempo prezioso e riducendo i costi. I dati e le informazioni contenute del report prodotto verranno, di seguito, brevemente esposte e suddivise per Macro-argomenti.

4.5.5.1 Classificazione generale dell'impianto

Studiando le normative si è prima di tutto potuto appurare che la definizione delle procedure da seguire per gli standard DNV passa attraverso una serie di Categorie, suddivise in base alla funzione dell'impianto ed alla pericolosità del processo che vi si svolge, ognuna delle quali presenta particolari conseguenze in termini di progettazione, approvazioni necessarie e test da eseguire.

Come primo passo nel percorso mirato al raggiungimento dell'approvazione è stato, quindi, necessario assegnare la classe e la categoria nelle quali l'impianto in questione facesse parte. L'ottenimento di questa catalogazione, anche se del tutto preliminare, si è rivelata comunque impegnativa. Grazie alle atipicità del design illustrate precedentemente, ai carichi presenti piuttosto importanti ed alla natura "Portante" del serbatoio, si è dovuto consegnare all'ufficio DNVGL, sin dalle prime fasi di elaborazione della commessa, un modello 3D quanto più fedele possibile all'idea di impianto da realizzare, con tanto di calcoli strutturali annessi, affinché potesse essere studiato dagli esperti e catalogato propriamente.

La Classificazione così ottenuta ha inquadrato l'impianto come "Category I", questa categoria è quella che prevede i dettami più stringenti in assoluto. Per ottenere la certificazione infatti vi è bisogno di (DA DIRE MEGLIO):

- Revisione da parte di DNV di tutta la documentazione relativa alla struttura
- Hydraulic test e Leak test del serbatoio e tubazioni presenziato da ispettore DNVGL
- Functional test presenziato da ispettore DNVGL
- Ispezione finale per controllo conformità con il P&ID e controllo dimensionale

Oltre alle procedure elencate, che in linea di massima rientrano negli standard di qualità Flenco, vi è una serie di provvedimenti da dover attuare e rispettare nel reperimento delle materie prime e nei semi lavorati da utilizzare per la costruzione di tutte le parti che hanno una valenza strutturale.

Per i così detti "Raw Material" è infatti richiesto un certificato 3.2 descritto dalla norma UNI EN 10204. Tale documento, oltre a certificare tutte le informazioni contenute in un certificato 3.1, attesta la conformità sulla base di test eseguiti in presenza di un ispettore di un ente terzo, in questo caso DNVGL.

Le informazioni da ottenere prima di poter usare qualsiasi componente di carpenteria metallica sono:

- Intestazione dell'acciaieria che ha prodotto il materiale
- Tipologia di materiale
- Identificativo del lotto e della colata
- Composizione chimica
- Normative di riferimento utilizzate come riferimento per la produzione
- Risultato dei test presenziati dall'ispettore DNVGL per ogni lotto di produzione utilizzato

In merito ai test si è dovuto anche ottenere informazioni riguardanti le tipologie di test necessarie e le procedure e le dimensioni necessarie alla corretta realizzazione dei provini da utilizzare.

I Test relativi alla resilienza dei materiali, da realizzare mediante pendolo Charpy al contrario non si sono dimostrati necessari come evidenziato dall'estratto della normativa DNV sottostante.

4.5 Mechanical properties

4.5.1 The mechanical properties of the material shall comply with the requirements specified in Table 17. For austenitic steels both the 0.2% and the 1.0% yield strength shall be reported.

The values for tensile strength, yield strength and elongation refer to testing at room temperature.

For austenitic steels impact tests are required for design temperatures below -105°C.

Figura 73: estratto specifica DNVGL

Dato che il materiale utilizzato è un acciaio inossidabile austenitico, infatti, esso non presenta una transizione duttile/fragile, fenomeno al contrario molto presente in un normale acciaio al carbonio anche a temperature vicine a quella ambiente, il che rende superflui i test da "impatto".

4.5.5.2 Piping, valvole e flange

Anche per quanto riguarda le tubazioni e tutti gli elementi ad esse direttamente collegate quali flange, valvole e fitting si è reso necessario individuare una classe di appartenenza in modo tale da definire i corretti procedimenti atti a conseguire le certificazioni.

Analizzando la normativa DNV di riferimento si è giunti alla conclusione che tutte le tubazioni presenti sullo skid rientrassero nella "Class II" poiché la pressione di design è sempre inferiore ai 16 bar e la temperatura di design al disotto dei 150 °C. Inoltre, nonostante l'olio minerale non sia considerato pericoloso nelle classificazioni ATEX o IEC, in questo caso è comunque considerato un fluido infiammabile e, per questo motivo, rischioso.

Table 1 Classes of piping systems

Piping system for	Class I ¹⁾		Class II ¹⁾		Class III ^{1) 4)}	
	p (bar)	t (°C)	p (bar)	t (°C)	p (bar)	t (°C)
Steam, thermal oil	> 16	or > 300	≤ 16	and ≤ 300	≤ 7	and ≤ 170
Flammable fluids ²⁾	> 16	or > 150	≤ 16	and ≤ 150	≤ 7	and ≤ 60
Other media ³⁾	> 40	or > 300	≤ 40	and ≤ 300	≤ 16	and ≤ 200

p = Design pressure, as defined in [3.4.2]
t = Design temperature, as defined in [3.4.4]

1) For class II and III piping both specified conditions are to be met. For class I piping one condition only is sufficient.

2) Flammable fluids include: lubricating oil, flammable hydraulic oil and fuel oil.

3) Cross or pipes and open ended pipes (drains, overflows, vents, boiler escape pipes etc.) independently of the pressure and temperature, are pertaining to class III.

4) Additional NDT requirements is applicable for Class III piping for safety critical systems in Oil Production and Storage Units. See Sec.6 Table 4.

Note:
Cargo piping for chemicals or liquefied gases are not covered by the table.
Requirements for these piping systems are found in DNV Rules for ships Pt.5 Ch.4 and Pt.5 Ch.5.

Figura 74: Classificazione DNVGL delle tubazioni

L'appartenenza a questa classe, e non alla "Classe I" più restrittiva, ha permesso di evitare la procedura di test presenziati descritta precedentemente per i materiali da carpenteria.

Tuttavia, anche in questo caso la documentazione da presentare al personale DNVGL si è dimostrata piuttosto abbondante: è stato necessario fornire sia il data sheet contenente le informazioni, le quote,

le caratteristiche meccaniche del componente ed un certificato rilasciato dal produttore che attesta che i metodi di produzione, i materiali e il design del componente siano in linea con i dettami DNVGL e con le normative da essi riconosciute.

Per rendere più efficiente questa fase si è scelto di acquistare tutto il materiale da fornitori già approvati da DNVGL e quindi già consapevoli e abituati a far fronte a questo genere di richieste.

4.5.5.3 Tubing

Nell'impiantistica Oil & Gas con la denominazione di "tubing" si indicano tutte quelle tubazioni di piccolo diametro (minore di 1") dove non scorre il liquido di processo ma hanno il solo scopo di collegare la strumentazione e l'attuazione di alcune valvole alle tubazioni principali di processo.

In genere per il "Tubing" vengono utilizzati dei tubi con schedula molto bassa, quindi spessori molto limitati, in modo tale da poter essere agilmente piegati e modellati anche in sito senza l'ausilio di macchinari particolari. La connessione con il processo e con la strumentazione avviene attraverso dei "fitting" filettati da un lato, mentre dal lato opposto il tubing è ancorato con un particolare sistema a compressione.



Figura 75: dettaglio Fitting utilizzato

Date le funzioni secondarie e ausiliarie di queste connessioni in genere le normative applicate abitualmente nella costruzione degli impianti O&G non hanno dettami troppo stringenti a riguardo, lasciando piuttosto libero il design, la tipologia di connessione e i componenti da utilizzare.

Nelle normative DNVGL, al contrario, non è riconosciuta nessuna differenziazione tra linee di "Piping" e linee di "tubing", dunque anche quest'ultime devono sottostare a tutti i dettami che un normale "seamless" pipe deve rispettare per poter essere installato. Nel caso specifico tutti i materiali utilizzati devono presentare una certificazione dei materiali UNI EN 3.1 ed in aggiunta, tutti gli items come connessioni tubo-tubo, fittings, stacchi a "T" ed oltre devono avere un design già approvato dalla DNVGL per quel utilizzo. I fornitori ed i modelli da utilizzare dunque erano da ricercarsi all'interno di una lista piuttosto limitata.

Altra problematica non indifferente è stata l'impossibilità di utilizzo di connessioni filettate, severamente vietate dalle normative, qualora il filetto rappresenti l'elemento di tenuta della tubazione e all'interno della stessa sia presente del fluido infiammabile quale l'olio minerale.

Slip-on threaded joints may be used for outside diameters as stated below except for piping systems conveying toxic or flammable media or services where fatigue, severe erosion or crevice corrosion is expected to occur.

Threaded joints in CO₂ systems shall be allowed only inside protected spaces and in CO₂ cylinder rooms.

Threaded joints for direct connectors of pipe lengths with tapered thread shall be allowed for:

- Class I, outside diameter not more than 33.7 mm
- Class II and Class III, outside diameter not more than 60.3 mm.

Threaded joints with parallel thread shall be allowed for Class III, outside diameter not more than 60.3 mm.

Figura 76: Dettaglio normativa DNVGL

Tutta la strumentazione che nella stragrande maggioranza dei casi si utilizza per questo tipo di impianti, purtroppo, presenta proprio connessioni filettate coniche, il che ha significato un serio problema nella ricerca di produttori che avessero nei cataloghi una metodologia di connessione alternativa.

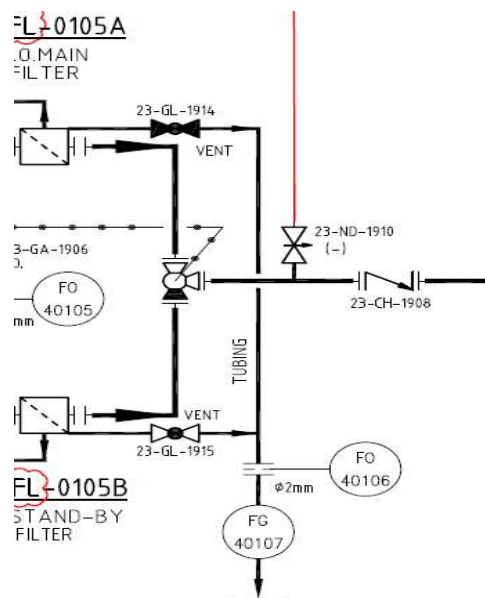


Figura 77: Dettaglio P&ID con ramo di collegamento strumenti

L'individuazione di tutti i provvedimenti individuati ha permesso un rapido avanzamento delle procedure di certificazione. Ciononostante, i tempi tecnici per questo genere di attività risultano spesso assai lunghi e, al termine dell'esperienza in azienda dedicata alla stesura della tesi, la certificazione non era ancora stata emessa.

5 CONCLUSIONE

Si può quindi concludere che il lavoro, effettuato al fine di produrre l'elaborato di tesi Magistrale, si è rivelato assai importante per incrementare il proprio bagaglio tecnico. E' stato possibile ottenere un miglioramento in tal senso affrontando problematiche ingegneristiche stimolanti ed applicando le competenze acquisite in anni di studio ad una casistica reale; tutto ciò in un ambiente molto dinamico, con scadenze molto pressanti e con degli standard qualitativi assai elevati. Si ha avuto, inoltre, la possibilità di migliorare le proprie capacità personali interagendo con fornitori e clienti di molte nazionalità diverse, provenienti da contesti e settori di competenza tra i più disparati, e comunicando attraverso lingue differenti dalla propria.

Soddisfazione ulteriore è stata quella di poter contribuire all'incremento del know-how complessivo dell'azienda, aggiungendo nuove tipologie di impianto alla già vasta libreria di prodotti realizzabili dalla stessa. Infatti, elaborando e definendo le caratteristiche principali dei progetti trattati, si è fornita una solida base di esperienza per eventuali progetti futuri di simile costituzione, facilitando così le operazioni di realizzazione ed i tempi di delivery degli impianti che verranno prodotti.

Le commesse trattate nella tesi hanno riscontrato un forte apprezzamento, sia consolidando il rapporto che Flenco ha con due clienti importanti come General Electric Power e Baker Hughes, sia continuando a garantire una solida presenza dell'azienda nel panorama internazionale delle forniture per il settore Oil & Gas and Power Production.

Alla luce di quanto detto, Il lavoro di tesi magistrale in azienda è stato, per il sottoscritto, un'esperienza oltremodo positiva, durante la quale si è dimostrato che l'innovazione e la customizzazione dei prodotti è possibile anche in contesti dove l'ingegneria ha già affondato le proprie radici da lungo tempo.

APPENDICI

APPENDIX A – TEST PROCEDURE “CONTAINER WATER INJECTION SKID”

1.PREPARATION FOR TEST

- 1.1 Check the correct positioning of structure and levelling.
- 1.2 Check for freedom of stress induced between pipes and main items of equipment. When loosening the flange bolts, the flanges and mating flanges shall not move with respect to each other.
- 1.3 Check that tank and piping are properly cleaned.
- 1.4 Fill the tank with water at least to minimum operating level.
- 1.5 Check that all motor pump groups are easy to move by hand.
- 1.6 Check that all filtrating devices are installed.
- 1.7 Install flow meter and suitable throttle valve at each delivery limit to set and measure the flow. Check that flow meter installation is in accordance with flow meter data sheet.
- 1.8 Install temporary pressure gauges to measure pressure at each delivery limits.
- 1.9 Install temporary mesh at each delivery limits to check the system cleanliness.
- 1.10 Check availability of calibration certificates of all testing instrumentation (flow meters, pressure gauges, etc.) and make them available for inspector’s review.
- 1.11 Clean console surfaces from spilled water in order to identify any leakage during flushing.
- 1.12 Check that all components and instruments are in conformity with P&I Diagram and relevant specifications.
- 1.13 AC motors, test will be performed with AC motors 50 Hz.

2.FLUSHING

Flushing procedure shall follow standard:

- 2.1 The whole unit shall be flushed properly for approximately 8-10 hours. Run the pumps alternatively. One pump always in operation, once per hour one pump will be switched off and the other pump will be switched on. The sequence will be repeated for 8-10 hours.
- 2.2. Verify system cleanliness at supply limits checking that on the temporary mesh installed it is not present dirt or particles accumulation.
- 2.3 Check all water system for leaks, excessive vibration, sense of rotation of motors, suitability of supports, etc.
Any issue shall be corrected prior to start the Performance Test.
- 2.4 After flushing no line components shall be removed and all reservoir openings shall be kept shut. Special care shall be brought to the temporary return lines openings.
- 2.5 After flushing and prior of Performance Test start, verify that all manual valves are in the correct open / close position according to Piping and Instrumentation Diagram.

3.FUNCTIONAL TEST OPERATIONS

Equipment shall be tested for at least 2 hours of continuous operation according to procedure below:

- 3.1 Unless otherwise specified the minimum water temperature to start the test is 10°C, unit shall not run for less than 2 hours. During test functional values shall be recorded every 15 minutes as per relevant table reported in paragraph 6 of this procedure.
- 3.2 Start the pump 01GHC10 AP010. Normal operation is with one pump on for at last 30 minutes and perform step 3.3 to 3.9
- 3.3 Check functionality of the battery limit 2A by acting on final water delivery throttle valve.
- 3.4 Act on Pressure Control Valve if necessary in order to meet required flow and pressure at delivery limits 2A.
(see reference values table in paragraph 7)
- 3.5 Verify that pump delivery pressure meets specification and verify pressure.
- 3.6 Check AC motor vibration on the three main axes (10 mm/s max acceptable).
- 3.7 Measure current absorbed by pumps AC motor.
- 3.8 Check lines for excessive vibration and if necessary to install the additional supports.
- 3.9 With pump in operation, perform sound level measurement: the supplied equipment shall be not exceed the sound pressure of 85 dBA measured at 1 meter horizontally in free field condition.
- 3.10 Stop the pump 01GHC10 AP010.
- 3.11 Start the pump 01GHC10 AP020 and repeat steps from 3.3 to 3.9.
- 3.12 Stop the pump 01GHC10 AP020.
- 3.13 Check wiring and functionality of system instrumentation by powering when it is safely possible without risk of damages.

NOTES:

- (a) During functional test the number of motor starts shall not exceed the maximum informed by motor manufacturer, in cold/hot winding conditions, to prevent winding insulation life reduction.
- (b) During test water temperature will increase. Tests shall be stopped if water temperature reaches 50°C.

4.FINAL OPERATIONS

NOTE: these steps are not part of the Performance Test and will be carried out after functional test and must be verified during final inspection.

- 4.1 Stop all running equipment.
- 4.2 Verify that any electrical utility to console is disconnected.
- 4.3 Remove test equipment and put blind flanges at all nozzles.
- 4.4 Drain the whole system.
- 4.5 Verify process filtration devices cleanliness. If some residual dirt or particles are present, it must be necessary to clean the elements.
- 4.6 Remove dirt accumulate in the reservoirs during functional test.
- 4.7 Prepare the unit for shipping.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Testi:

- Formazione di Inquinanti Legati alla Combustione nei Processi di Produzione di Energia, Università degli studi di Genova
- La combustione nelle turbine a gas: caratteristiche e classificazioni dei combustori e degli atomizzatori – Università degli studi di Napoli “Federico II”
- Prof. Dongiovanni Claudio - Thermal and Hydraulic Machines - Gas Power Plant, Politecnico di Torino
- Prof. Rivola Alessandro - Lubrificazione a fluido, Università degli studi di Bologna
- Newman Nicholas - La magia del gas naturale liquefatto, www.eniday.com

Siti internet:

- <https://www.ge.com/power/gas/gas-turbines/tm2500>
- <https://www.bhge.com/bcl-compressors>
- https://nacto.org/docs/usdg/vehicle_standards_information_nsw.pdf
- <https://www.golarlng.com/about-us>
- <https://www.kingsbury.com/oil-temperature-and-bearing-power-loss>
- <http://babbittbearingresource.com/bearings-tilt-pad-turbine>
- https://www.wika.it/flc_op_flc_fl_flc_ac_it_it.WIKA
- <https://www.swagelok.com/en/toolbox/product-catalog>

Normative:

- IEC 60079-0 - Atmosfere esplosive
- NEC Article 505: Zone Locations
- Art. 61 codice della strada: Sagoma limite
- API 614: Lube Oil Systems.
- ISO 10816: Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts General guidelines.
- DNV STANDARD - DNV-OS-D101: Marine and machinery systems and equipment.
- DNV STANDARD - DNV-OS-D201: Electrical Installations.
- DNV STANDARD - DNV-OS-E201: Oil&Gas Processing Systems.
- DNV STANDARD - DNV-OS-C101: Design of offshore steel structures.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare il Professor Maurizio Schenone, relatore della tesi, per l'opportunità concessami, per avermi seguito e guidato con pazienza e assiduità, dimostrandosi, per me, un punto di riferimento. Inoltre, il suo ruolo di intermediario presso l'azienda è stato fondamentale, senza il quale non avrei potuto portare a termine questa esperienza.

Ringrazio inoltre tutto il personale della Flenco Fluid System, in particolare il mio Tutor aziendale Francesco Castelli, che hanno rappresentato per me una fonte inesauribile di informazioni, know-how e competenza dalla quale attingere per portare a termine il lavoro di tesi, dimostrandosi, in ogni situazione, disponibili e cortesi.