

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Sede di Forlì

Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA
Classe L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA

in *Comportamento Meccanico dei Materiali*

**PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI
SOLLEVAMENTO PER LA DISMISSIONE DI UN
SERBATOIO PER OLIO COMBUSTIBILE
DENSO**

CANDIDATO
PIERANGELO CIT

RELATORE
GIORGIO OLMI
CORRELATORE
ANTONIO VINCENZI

Anno Accademico 2014/2015
Sessione III

INDICE

PARTE I : PETROLTECNICA S.P.A.

1.1 Presentazione dell'azienda

1.2 Attività e settori di intervento

1.3 Bonifiche di siti industriali

PARTE II : DECOMMISSIONING LINEA E SERBATOIO PER OLIO COMBUSTIBILE DENSO

2.1 Il polo petrolchimico di Ferrara

2.2 L'impianto termoelettrico

2.2.1 Descrizione dell'impianto

2.2.2 La richiesta della committente

2.3 Studio di Fattibilità

PARTE III : BILANCINO PER IL SOLLEVAMENTO DEL SERBATOIO DI OLIO COMBUSTIBILE DENSO

3.1 Descrizione del sistema di sollevamento

3.2 Schemi di sollevamento e disegni

3.2.1 Vista in pianta

3.2.2 Vista frontale

3.2.3 Vista laterale

3.2.4 Trave principale

3.2.5 Trave secondaria

3.2.6 Piastre scorrevoli su travi principale e
secondarie

3.2.7 Perno

3.2.8 Gruppo tiranti

3.3 Analisi della struttura

3.3.1 Sollecitazioni sulla struttura

3.3.1.1 Sforzo di taglio

3.3.1.2 Momento flettente

3.3.1.3 Sforzo normale

3.3.1.4 Momento torcente

3.3.2 Verifica della struttura

3.3.3 La forma più conveniente della sezione

3.3.3.1 Problemi strutturali nelle travi snelle

3.3.3.1.1 Svergolamento (instabilità laterale)

3.3.3.1.2 Imbozzamento (instabilità dell'anima)

3.3.4 La tipologia di saldatura adottata

3.4 Verifica della struttura

3.4.1 Premessa

3.4.2 Analisi dei carichi gravanti

3.4.2.1 Analisi dei carichi gravanti

3.4.2.2 Tensioni ammissibili

3.4.3 Verifica della trave principale

3.4.3.1 Geometria della trave principale

3.4.3.2 Carichi applicati

3.4.3.3 Verifica della sezione di mezzeria

3.4.3.4 Verifica della sezione senza le piastre di rinforzo

3.4.3.5 Verifica a stabilità laterale (svergolamento)

3.4.3.6 Verifica della stabilità dell'anima (imbozzamento)

3.4.4 Verifica della trave secondaria

3.4.4.1 Geometria della trave secondaria

3.4.4.2 Carichi applicati

3.4.4.3 Verifica della sezione di mezzeria

3.4.4.4 Verifica della sezione senza le piastre di rinforzo

3.4.4.5 Verifica a stabilità laterale (svergolamento)

3.4.4.6 Verifica della stabilità dell'anima (imbozzamento)

3.4.4.7 Verifica delle staffe di collegamento della trave secondaria con la trave principale

3.4.4.7.1 Geometria della staffa

3.4.4.7.2 Verifica del contorno superiore

3.4.4.7.3 Verifica del contorno laterale

3.4.4.7.4 Verifica saldature staffa-traversa

3.4.5 Verifica della staffa di attacco del gancio

3.4.5.1 Geometria della staffa

3.4.5.2 Carichi applicati

3.4.5.3 Verifica della singola piastra come cerniera

3.4.5.4 Verifica della saldatura staffa-traversa

3.4.6 Verifica dei perni per l'attacco del gancio

3.4.6.1 Geometria dei perni

3.4.6.2 Carichi applicati

3.4.6.3 Verifica del singolo perno

3.4.7 Verifica delle staffe scorrevoli della trave principale

3.4.7.1 Geometria delle staffe

3.4.7.2 Carichi applicati

3.4.7.3 Verifica del contorno superiore

3.4.7.4 Verifica del contorno laterale

3.4.7.5 Verifica del contorno inferiore come cerniera

3.4.8 Verifica delle staffe scorrevoli della trave secondaria

3.4.8.1 Geometria delle staffe

3.4.8.2 Carichi applicati

3.4.8.3 Verifica del contorno superiore

3.4.8.4 Verifica del contorno laterale

3.4.8.5 Verifica del contorno inferiore come cerniera

3.4.9 Verifica della componentistica di attacco del carico

3.4.9.1 Carichi applicati

3.4.9.2 Verifica dei grilli di giunzione

3.4.9.3 Verifica delle funi

3.4.9.4 Verifica dei tenditori

3.4.9.5 Verifica dei golfari

3.4.10 Verifica della deformazione

CONCLUSIONI

RINGRAZIAMENTI

BIBLIOGRAFIA

PARTE I : PETROLTECNICA

S.P.A.

1.1 Presentazione dell'azienda



Petroltecnica S.p.A. nasce nel 1950 come società di manutenzione operante nel settore petrolifero e si evolve sino a diventare una realtà leader nelle soluzioni integrate ed innovative con un approccio multidisciplinare alle varie problematiche ambientali. Petroltecnica offre soluzioni funzionali nel

settore oil – gas and water e fonde capacità globali con la profonda conoscenza e competenza tecnica, indispensabili per assicurare al Cliente le soluzioni più adatte.

Global service rifiuti, diagnostica, bonifica di serbatoi, smantellamento di impianti industriali, indagini ambientali, riconversione di siti contaminati, rimozione amianto, progettazione realizzazione e manutenzione di impianti di trattamento acque reflue, energie da fonti rinnovabili sono i servizi che offre, sul territorio nazionale ed estero, attraverso le proprie Unità Operative di seguito elencate:

INDUSTRIA

- Servizi per serbatoi interrati;
- Servizi per serbatoi fuori terra;

Decommissioning serbatoio di olio combustibile denso

- Decommissioning impianti industriali;
- Decontaminazione;
- Rimozione amianto;
- Ispezione di tubazioni;
- Relining tubazioni;

ACQUA E RIFIUTI

- Impianti industriali di trattamento delle acque;
- Impianti civili di trattamento delle acque;
- Trattamento Rifiuti;

AMBIENTE

- Pronto intervento ambientale;
- Consulenza ambientale;
- Indagini ambientali;
- Monitoraggio e controllo ambientale;
- Bonifiche ambientali;
- Progettazione, costruzione e manutenzione di sistemi di trattamento;
- Due Diligence ambientale;

Uno dei punti di forza dell'azienda consiste nella collaborazione tra le sue unità: dipendenti qualificati, ingegneri, geologi, chimici ed operativi altamente specializzati si relazionano al fine di sviluppare soluzioni specifiche secondo le necessità delle committenti.

La Sicurezza, l'Ambiente e la Social Responsibility sono al centro delle attività dell'azienda ed il costante impegno nel migliorare l'efficienza ambientale delle operazioni, si concretizza nello sviluppo di tecnologie in grado di migliorare l'efficienza dei processi di prevenzione ambientale e di ridurre le emissioni gassose, liquide e solide nell'ambiente.

1.2 Attività e settori di intervento

Per una miglior funzionalità, Petroltecnica è divisa in 3 macro aree di attività:

- Serbatoi & Decommissioning
- Siti contaminati
- Rifiuti & Acque

I principali settori di intervento, in cui l'azienda ha consolidato il suo ruolo di leader, sono di seguito elencati:

- bonifiche di serbatoi e strutture interrato: l'attività comprende le bonifiche, le tarature, il controllo d'integrità e la vetrificazione di serbatoi e strutture interrato di punti vendita carburanti e non solo, attuate anche con tecnologie "no man entry" che consentono di eseguire gli interventi limitando al massimo l'accesso di operatori in aree potenzialmente a rischio;
- bonifiche del sottosuolo: i tecnici preposti al servizio si occupano della progettazione ambientale e dell'esecuzione di bonifiche di suolo, sottosuolo e acque di falda contaminate e seguono i procedimenti ambientali previsti per legge dalla notifica di sito potenzialmente contaminato alla certificazione di avvenuta bonifica;
- bonifiche industriali: la divisione di tecnici specializzati che segue l'attività si occupa di bonifiche di serbatoi di grandi dimensioni (depositi e raffinerie), relining, video ispezioni, lavori d'ingegneria civile in depositi e raffinerie, sempre con tecnologie all'avanguardia in tema di sicurezza e ambiente;
- bonifiche da amianto: il servizio è indirizzato prevalentemente alla gestione delle problematiche concernenti l'amianto su stazioni di servizio e depositi carburanti e oli combustibili, a completamento dei servizi generali offerti da Petroltecnica nella risoluzione delle problematiche ambientali in generale;
- Pronto Intervento Ambientale: il servizio di Pronto Intervento Ambientale è espletato ventiquattro ore su ventiquattro, sette giorni su sette a servizio dei clienti e garantisce l'intervento in emergenza, da parte di squadre specializzate, a seguito di sversamenti (soprattutto di prodotti petroliferi) finalizzato all'attuazione degli interventi di prevenzione e di messa in sicurezza più adeguati alle specifiche criticità;
- Global Service Rifiuti: il servizio di Global Service opera a supporto sia

diretto della propria clientela, sia delle altre divisioni Petroltecnica gestendo i rifiuti prodotti dalle attività di Pronto Intervento Ambientale e su serbatoi, dagli interventi di risanamento di matrici ambientali contaminate, ecc;

- Impianto trattamento rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi: piattaforma di stoccaggio e trattamento rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi, con una capacità complessiva per le operazioni di R13/D15 di 8.000 ton puntuali e di trattamento di circa 100.000 ton/anno per le operazioni R5, R12, D8, D9, D13, D14.

1.3 Bonifiche di siti industriali

Di particolare interesse per lo svolgimento di questa tesi è il settore delle bonifiche di siti industriali, per il quale Petroltecnica S.p.A. fornisce soluzioni personalizzate in merito alla gestione integrata dell'ambiente e dei siti contaminati, offrendo un pacchetto completo di servizi per la caratterizzazione, la progettazione, l'esecuzione e la gestione di tutte quelle attività che riguardano l'aspetto del ripristino ambientale di siti contaminati di piccole e di grandi dimensioni.



La normativa di riferimento per le attività specifiche dell'Unità Operativa Ambiente è rappresentata dal D.Lgs. 152/06 "Norme in materia ambientale", testo che disciplina a livello nazionale la gestione dei rifiuti, le bonifiche del sottosuolo, la gestione degli scarichi idrici e delle

emissioni in atmosfera, nonché dalle delibere regionali e dai regolamenti tecnici che dettagliano e integrano le leggi nazionali a livello locale.

Petroltecnica S.p.A. svolge un aggiornamento continuo in materia, tenendo conto anche dei pareri espressi da parte dei principali organismi scientifici e degli orientamenti della giurisprudenza.

L' Unità Operativa Ambiente ha maturato un'esperienza più che ventennale

nella gestione delle problematiche dei siti contaminati, con uno sguardo sempre attento allo sviluppo tecnologico secondo il principio di sostenibilità e salvaguardia dell'ambiente.

L'attività di bonifica e dismissione di siti industriali è caratterizzata da quattro fasi:

a) Caratterizzazione dei siti

La fase di caratterizzazione rappresenta lo studio preliminare di un sito ed è finalizzata alla definizione dello stato di qualità del suolo/sottosuolo e delle acque sotterranee, attraverso la realizzazione delle seguenti attività:

- Raccolta materiale bibliografico
- Indagini dirette e indirette
- Installazione pozzi e sonde Soil Gas Survey
- Campionamento terreni, acque e vapori
- Analisi di laboratorio sulle diverse matrici ambientali campionate
- Rilievi topografici
- Ricostruzione del Modello Concettuale del Sito

b) Servizi di Ingegneria Ambientale e Progettazione Preliminare

La fase ingegneristica si sviluppa attraverso la progettazione sensu scripto degli interventi di Messa in Sicurezza/Bonifica, integrata con l'elaborazione di analisi di rischio e di modelli idrogeologici mediante l'impiego di software dedicati.

In questo ambito vengono eseguite le seguenti attività:

- Esecuzione ed elaborazione di prove pilota di tecnologie di bonifica consolidate ed innovative
- Esecuzione ed elaborazione di prove idrauliche
- Interpretazione test pilota di laboratorio e test biotici per tecnologie di bonifica innovative
- Redazione di progetti di bonifica e messa in sicurezza
- Elaborazione analisi di rischio sanitario ambientali sito specifiche attraverso l'utilizzo dei principali software disponibili
- Ricostruzione dell'idraulica della falda attraverso la modellizzazione matematica ottenuta mediante l'utilizzo dei principali software disponibili

c) Messa in sicurezza ed applicazione di tecnologie di bonifica

In questa fase vengono realizzate in campo tutte le attività ingegneristiche di progettazione, attraverso l'installazione di sistemi di messa in sicurezza e bonifica ed in particolare:

- Supervisione alle attività di bonifica (mediante Dig&Dump) ed accertamento della qualità ambientale
- Progettazione esecutiva ed installazione di sistemi di bonifica e di messa in sicurezza
- Manutenzione e monitoraggio di sistemi di bonifica e di messa in sicurezza
- Bioremediation
- Gestione di barriere idrauliche
- Supervisione realizzazione opere previsionali

d) Gestione tecnica pratiche autorizzative ambientali

In questa fase viene gestito tutto l'iter amministrativo di un procedimento ambientale e vengono offerti una serie di servizi di consulenza accessori per il disbrigo di pratiche finalizzate all'ottenimento delle principali autorizzazioni necessarie per l'esecuzione dei lavori:

- Compilazione ed inoltro richieste A.U.A. (autorizzazione scarico, autorizzazione emissioni atmosfera, autorizzazione impatto acustico ecc.)
- Gestione delle autorizzazioni rilasciate
- Redazione piani gestione terre e rocce da scavo
- Consulenze tecnico/legali
- Gestione pratiche legate alla sicurezza sui luoghi di lavoro D.Lgs. 81/08
- Qualifiche fornitori
- Supporto nella compilazione di database/schede anagrafiche regionali sito specifiche
- Partecipazione a tavoli tecnici e Conferenze dei servizi con le PP.AA.

PARTE II: DECOMMISSIONING

IMPIANTO O.C.D.

2.1 Il polo petrolchimico di Ferrara

La Società Enipower Ferrara S.R.L. (S.E.F.) è controllata da Enipower S.P.A.



(51%) e ha come socio di minoranza la Società elettrica Axpo International S.A.

La centrale è integrata all'interno dell'area industriale petrolchimica di

Ferrara, che è a sua volta interconnessa con le aree industriali di Porto Marghera, Ravenna e Mantova, con le quali scambia materie prime e prodotti intermedi.

Questi scambi, effettuati attraverso *pipeline* dedicate, consentono di ridurre il trasporto di materie prime via strada.

Oggi lo stabilimento produce energia elettrica e vapore mediante due centrali di tipo tradizionale policombustibili (alimentate ad olio combustibile e gasolio), unitamente agli impianti di chiarificazione e demineralizzazione dell'acqua del Po. La S.E.F. sta ultimando la fase di test e di avviamento di una nuova centrale costituita da due gruppi di produzione funzionanti a gas naturale (circa 800 MW totali), che utilizzano la tecnologia a ciclo combinato e comportano un minore impatto ambientale grazie all'utilizzo di bruciatori *Dry Low NOX* (VeLoNOX) che minimizzano la formazione di ossidi di azoto.

Cesserà quindi l'utilizzo delle vecchie centrali, alimentate principalmente ad olio combustibile, con conseguente azzeramento delle emissioni di ossidi di zolfo (SOX) e di particolato.

La nuova centrale sorge su un'area precedentemente occupata da impianti dismessi e smantellati, per la quale S.E.F. ha proceduto alla bonifica del suolo e della falda superficiale su progetto approvato dagli enti preposti. Tuttora è in corso un'ulteriore attività di bonifica della falda confinata profonda ed è stato

costruito un nuovo elettrodotto di collegamento con la rete nazionale a 380 kV, completamente interrato ad impatto visivo nullo; il tutto nell'ambito di un progetto unitario a cui partecipano tutte le Società coinsediate.

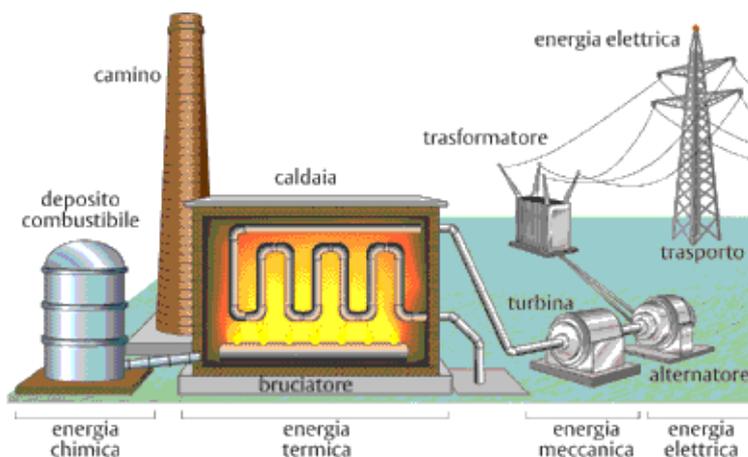
Lo Stabilimento applica un sistema di gestione ambientale che inizierà il processo di certificazione ISO 14001 e registrazione secondo il regolamento europeo EMAS dopo l'avviamento dei nuovi impianti.

2.2 L'impianto termoelettrico

Nei siti Enipower viene prodotta energia attraverso la tecnologia del ciclo combinato. Questo consiste nell'accoppiamento di un ciclo turbogas e di uno a vapore, in cui l'energia entrante nel ciclo a vapore è ottenuta dal recupero termico effettuato sui gas combusti scaricati dalla turbina a gas. In alcuni siti come Livorno e Ferrara sono ancora presenti generatori di vapore tradizionali che alimentano turbine a vapore e forniscono vapore tecnologico agli utenti del sito.

2.2.1 Descrizione dell'impianto

Una centrale termoelettrica è un impianto all'interno del quale il combustibile



(carbone, nafta, olio combustibile, metano) bruciato nella caldaia, produce energia termica che trasforma l'acqua in vapore. Quest'ultimo, fortemente sotto pressione viene fatto espandere in turbina

dove agisce sulle pale facendole ruotare mentre l'alternatore, collegato a queste, provvede a trasformare l'energia cinetica in energia elettrica di media tensione. Il vapore dopo aver ceduto il suo contenuto energetico alla turbina, viene raccolto dentro un condensatore all'interno del quale, per mezzo dell'acqua di raffreddamento proveniente dall'esterno, viene riconvertito in

acqua e quindi ricondotto in caldaia attraverso una pompa per ripetere un nuovo ciclo. Il livello di tensione della corrente elettrica prodotta dall'alternatore viene innalzato da appositi trasformatori; quindi la corrente viene inviata alle stazioni di trasformazione e resa disponibile alla rete di distribuzione.

Nel caso specifico in questione, i bruciatori erano precedentemente alimentati ad olio combustibile denso (O.C.D.), una miscela di idrocarburi che si ottiene diluendo un residuo ad alta viscosità con un distillato, detto flussante. Con un potere calorifero pari a 41,022 MJ/kg, questo combustibile trova il suo impiego prevalente proprio nella combustione stazionaria per la produzione di vapore in usi industriali o per la generazione di energia elettrica. Accanto alla linea O.C.D. è presente una seconda linea a gasolio, utilizzata per il riscaldamento della camera di combustione prima dell'iniezione dell'olio; in questo modo è possibile massimizzare l'energia ricavabile dalla combustione dell'olio.

Con le nuove normative sull'inquinamento e con la crescita del prezzo dei



combustibili ottenibili dal petrolio (come l'olio combustibile in questione), si è deciso di convertire l'alimentazione delle caldaie da olio a metano. La nuova linea a

metano è stata realizzata parallelamente alle linee di olio e gasolio preesistenti, utilizzando un rake (struttura di sostegno che permette il passaggio in quota delle tubazioni) che collega i siti di stoccaggio del combustibile con la caldaia.

2.2.2 La richiesta della committente

Una volta passati all'alimentazione a metano, si è resa necessaria la dismissione della linea di trasporto dell'olio combustibile denso, onde evitare che guasti alla linea in questione danneggiassero anche le linee di metano e gasolio in attività. Per la progettazione e la realizzazione di quest'opera di decommissioning, la società Syndial si è rivolta a Petroltecnica, leader da sempre in questa tipologia di bonifiche ambientali e già collaboratrice di Eni in

altri siti come Porto Torres, Brindisi e Gela.



Syndial è una società di Eni, la cui mission è quella di fornire un servizio integrato nel campo del risanamento ambientale tramite le attività di approvvigionamento, ingegneria e realizzazione dei progetti e di logistica dei rifiuti. Vengono realizzati interventi di bonifica e di ripristino ambientale attraverso l'applicazione di tecnologie avanzate e sostenibili, rivolgendo una forte attenzione alle specificità dei territori in cui si opera.

Nel caso specifico dell'impianto termoelettrico in questione, gli elementi oggetto del decommissioning sono:

- Serbatoio di olio combustibile;
- Zona di regolazione del flusso

dell'olio, composta da pompe e organi di intercettazione, posta frontalmente al serbatoio;

- Tubazioni per il trasporto dell'olio combustibile dal serbatoio ai bruciatori;

La particolarità di questa attività di decommissioning consiste nella richiesta della committente di bonificare gli elementi presso altra sede esterna.

Questa richiesta, tuttavia, ha generato non poche problematiche, dovute alle difficoltà di movimentazione degli elementi ancora contaminati dall'olio.

Durante il periodo di inattività della linea (dall'avviamento dell'alimentazione a metano ad oggi) i residui di olio combustibile sono rimasti all'interno delle tubazioni per l'effetto combinato delle valvole di non ritorno, collocate sulla linea proprio per evitare il reflusso del combustibile durante i periodi di inattività, e dell'elevata viscosità del fluido.

Sarà quindi necessario, durante l'opera di decommissioning, impedire la fuoriuscita del contenuto delle tubazioni sigillandole in maniera opportuna.

Per quanto riguarda il serbatoio invece, per esaudire la richiesta della committente di effettuare la dismissal dello stesso senza prima bonificarlo, sono state valutate le due seguenti ipotesi di intervento:

- La prima ipotesi prevede il sezionamento del serbatoio mediante opportuna

macchina (roditrice) partendo dall'estremità superiore e scendendo poi fino al basamento. Le porzioni di lamiera tagliate dalla roditrice verranno posizionate su apposito bancale, per poi essere caricate su apposito mezzo di trasporto ed essere veicolate all'esterno del sito per la bonifica. Le porzioni di lamiera lavorate dalla roditrice, dovranno essere di dimensioni opportune per poter essere posizionate prima sul bancale, poi all'interno del veicolo per il trasporto. I vantaggi di questa soluzione sono legati sia al risparmio in termini di tempo di lavorazione, sia alla facilità di movimentazione delle porzioni di lamiera prodotte (una volta posizionate sul bancale dalla roditrice stessa devono solo essere sollevate e collocate sul veicolo). Il problema che sorge adottando questa soluzione, tuttavia, è dovuto al rischio di contaminazione delle zone circostanti: durante il sezionamento e lo spostamento delle lamiere da parte della roditrice, è possibile, infatti, che parte del combustibile residuo, incrostato sulle porzioni di lamiera, si distacchi da queste andando ad inquinare i terreni circostanti. Inoltre l'energico taglio, caratteristico di questa macchina, incrementa ulteriormente il rischio di perdita di combustibile.

- La seconda ipotesi prevede la movimentazione diretta del serbatoio, che verrà sollevato mediante opportuno sistema, per poi essere posizionato sul veicolo per il suo trasporto all'esterno del sito. Il punto di forza di questa opzione consiste nella maggiore sicurezza in termini di inquinamento: sollevando il serbatoio "chiuso", difficilmente si verificheranno perdite di materiale inquinante (O.C.D.) che si trova incrostato sulle pareti interne del serbatoio. La difficoltà che viene riscontrata in questo caso è legata alla progettazione del sistema di sollevamento ed in particolare al suo dimensionamento. Le dimensioni ed il peso del serbatoio (D=7m, H=9m, Peso=22 ton) richiedono infatti un sistema di sollevamento di lunghezza e larghezza elevate e che possa sostenere carichi importanti. Un altro svantaggio di questa soluzione consiste nel maggiore dispendio economico dovuto alla realizzazione della struttura, che tuttavia sembra essere necessaria se si vogliono eliminare quasi totalmente i rischi di inquinamento delle zone circostanti e di contatto con le linee in attività.

Per poter adottare una di queste due tecniche di decommissioning in ogni caso,

è necessario che il serbatoio sia vuoto. Da sopralluoghi effettuati sull'area, è stato possibile appurare, invece, che il contenuto di O.C.D. occupa l'interno del serbatoio per un'altezza di circa 20 cm, corrispondenti, considerando le dimensioni del serbatoio, a circa 2000 litri: sarà quindi necessario, prima di effettuare l'attività di decommissioning del serbatoio, drenare l'olio residuo mediante opportuna pompa.

Durante l'attività di dismissione della linea, oltre all'olio combustibile denso, è necessario tener conto anche di altri possibili inquinanti come amianto e fibre vetrose che nel caso specifico, dato il periodo di costruzione dell'impianto (anni '70), potrebbero essere presenti. La loro presenza/assenza modifica radicalmente le condizioni in cui verranno svolti i lavori; in presenza di questi, infatti, è necessario isolare l'area di lavoro con tecniche che variano sulla base delle loro dimensioni, quantità e locazione.

Per questo motivo, prima della stesura dello studio di fattibilità definitivo, viene redatto il Piano di Precharacterizzazione, nel quale vengono analizzate, sulla base degli inquinanti presenti, le possibili tecniche di decommissioning da adottare. La scelta della tecnica definitiva di decommissioning sarà un compromesso tra le esigenze della Committente e le proposte della ditta appaltatrice, tenendo conto delle varie criticità legate per esempio all'area di lavoro.

2.3 Lo studio di fattibilità

Lo studio di fattibilità è un documento in cui, una volta trovato un accordo tra le parti, vengono definite tutte le variabili relative all'attività da svolgere. Questo documento infatti è il risultato di un compromesso tra le richieste della committente, le offerte della ditta che esegue i lavori, le norme (leggi e/o normative) in materia e altre variabili specifiche dell'attività svolta.

La stesura dello stesso viene fatta sulla base di alcuni punti definiti di seguito, i quali sono stati adattati all'attività in questione.

- **Sopralluogo e campionamento**

I sopralluoghi effettuati sul sito di interesse vengono effettuati allo scopo di definire i "limiti di batteria" (zone di confine che delimitano l'area di attività),

eventuali criticità del sito e, idealmente, concordare, con la committente, le principali attività da svolgere. Durante il sopralluogo infatti, oltre ai tecnici della ditta appaltatrice (Petroltecnica), sono presenti anche rappresentanti della ditta appaltante (Syndial) per collaborare e supervisionare il lavoro svolto. Nel corso del sopralluogo vengono effettuate misurazioni e rilevamenti fotografici delle aree di interesse e campionamenti di possibili materiali pericolosi. I materiali prevalentemente campionati sono stati: olio combustibile del serbatoio e delle tubazioni (probabile inquinante ambientale), materiale isolante avvolto alle tubature (possibile fibra artificiale vetrosa F.A.V) e materiale delle guarnizioni degli accoppiamenti (possibile materiale contenente amianto M.C.A).

- **Definizione dell'area di intervento**

Una volta concordati insieme alla committente gli elementi da dismettere, si procede alla marcatura degli stessi mediante colori, in modo da evitare possibili errori dovuti alla vicinanza con le parti in esercizio. In particolare questa precauzione è stata adottata per le tubazioni di trasporto dell'olio combustibile collocate, assieme alle altre per il trasporto di metano, gasolio e vapore, su un rake.

- **Analisi dei campioni prelevati durante i sopralluoghi effettuati presso il sito**

Le analisi dei campionamenti, effettuate presso apposito laboratorio, hanno riscontrato presenza di materiali pericolosi (F.A.V. e M.A.V.), che tuttavia sono collocati in zone limitate e facilmente accessibili.

- **Stesura del Piano di Precaratterizzazione**

Noti i risultati delle analisi sui campionamenti, è stato steso il Piano di Precaratterizzazione, documento in cui, sulla base dei risultati delle analisi sui campioni, Petroltecnica espone alla committente le varie opzioni per la dismissione degli elementi elencati in precedenza.

Di seguito sono riportati i punti salienti di tale documento:

-Il decommissioning del serbatoio e linea di trasporto verrà effettuato o mediante taglio a freddo di porzioni di tubo con Roditrice non essendo ritenuto opportuno per ragioni di sicurezza e incompatibilità con l'olio combustibile effettuare taglio a caldo, oppure mediante diretta movimentazione del serbatoio intero che verrà caricato direttamente su apposito automezzo.

-Le aree a rischio per la presenza di materiali pericolosi, essendo facilmente raggiungibili ed isolabili, verranno trattate con la tecnica del “glove bag”, che permette di isolare la sola zona interessata, lavorando con precisione ed in completa sicurezza.

-Su richiesta della Committente i rifiuti prodotti verranno portati presso sede esterna dove verranno bonificati.

- **Valutazione economica dell'intervento**

Insieme alle possibili alternative per lo svolgimento del lavoro, viene presentato anche il computo economico delle attività che verranno svolte.

Una volta definite tutte le variabili ed i punti precedenti e una volta trovato l'accordo anche sul computo economico, viene stilato lo studio di fattibilità, di cui riportiamo di seguito i punti principali:

- L'attività di dismissione del serbatoio di olio combustibile denso verrà realizzata mediante opportuno sistema di sollevamento da progettare, senza sezionarlo, in modo da non compromettere le aree circostanti con eventuali perdite.
- La dismissione delle tubazioni per il trasporto dell'olio combustibile verrà fatta progressivamente partendo dal serbatoio per arrivare ai bruciatori. Il taglio delle tubazioni verrà effettuato manualmente e le porzioni di tubazione tagliata verranno posizionate su apposito bancale, per essere poi caricate su un automezzo e trasferite al sito di bonifica. Il sollevamento del bancale contenente le lamiere verrà effettuato con il medesimo sistema di sollevamento utilizzato per la movimentazione del serbatoio. Tale operazione risulta realizzabile grazie alla versatilità della struttura progettata, come verrà descritto in seguito.
- Data il numero esiguo degli elementi contenenti materiali pericolosi ed essendo questi facilmente raggiungibili, l'attività di dismissione verrà effettuata con la tecnica del “glove bag”, che permette di isolare facilmente le parti in questione e di lavorarvi in condizione di totale sicurezza per gli operatori.

PARTE III : BILANCINO PER IL SOLLEVAMENTO DEL SERBATOIO DI OLIO COMBUSTIBILE DENSO

3.1 Descrizione del sistema di sollevamento

Il sistema di sollevamento progettato per la movimentazione del serbatoio di olio combustibile denso è un bilancino a sei punti di attacco equidistanti tra loro.

La scelta del posizionamento dei punti di attacco, e conseguentemente della tipologia di struttura di sollevamento, è stata dettata dalla presenza di punti di aggancio preesistenti sul serbatoio, la cui resistenza dovrà essere valutata e testata prima della movimentazione.

La struttura del bilancino è caratterizzata da:

- una trave principale su cui è stata saldata una staffa per il collegamento del gancio della gru con la trave principale, e a cui sono collegate le due travi traverse e le due staffe laterali. Il collegamento tra gancio e staffa avviene mediante dei perni opportunamente collocati, che si inseriscono in dei fori presenti sulla staffa e sui quali fa leva il gancio. Le due travi traverse sono disposte perpendicolarmente rispetto alla trave principale ed internamente rispetto alle staffe, le quali, invece sono collocate alle estremità. Per fornire una maggiore resistenza a flessione alla travi principale e secondaria sono state saldate lateralmente due piastre di rinforzo.
- Due travi traverse con posizione registrabile sulla trave principale e caratterizzate da due ulteriori staffe alle estremità a cui verrà collegato il carico mediante delle funi. Le funi sono collegate alla staffa mediante grilli

che si inseriscono in un foro presente nella stessa, e presentano un golfare all'estremità opposta per l'ancoraggio del carico.

- Due staffe collocate alle estremità della trave principale, alle quali vengono attaccate delle funi che presentano la stessa struttura e gli stessi accessori di quelle descritte nel punto precedente.

La progettazione della struttura è stata fatta allo scopo di permetterne il riutilizzo per alte attività e per altri carichi. L'unico vincolo, che verrà poi evidenziato anche nel manuale d'uso della struttura, è legato al fatto che il bilancino è progettato per sollevare carichi simmetrici (come serbatoi appunto), in quanto la stabilità della struttura è legata alla simmetria del carico; in caso di carichi asimmetrici infatti si avrebbe un'inclinazione del sistema di sollevamento con conseguente invalidamento dei calcoli effettuati durante la progettazione.

Il dimensionamento del sistema di sollevamento è stato realizzato basandosi sulle misure (dimensioni e peso) del serbatoio oggetto del decommissioning, le quali sono rappresentative dei valori massimi con cui l'azienda si trova normalmente a lavorare.

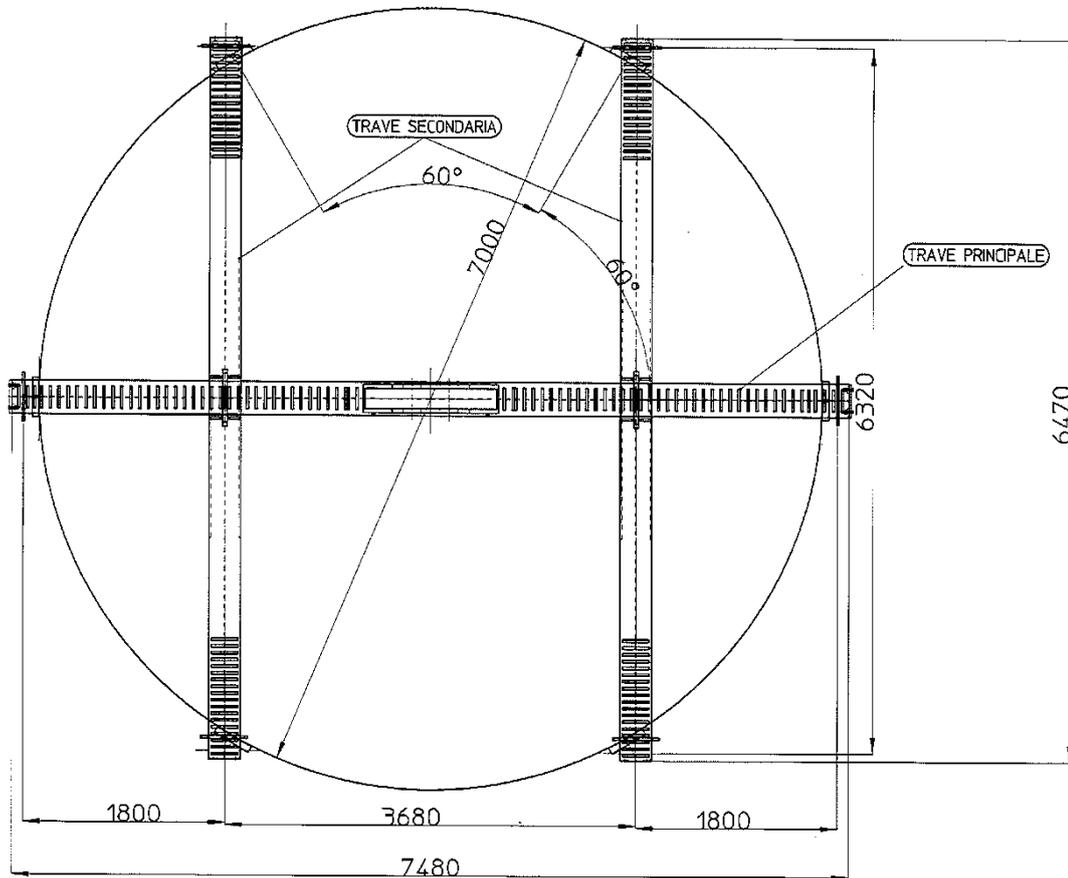
Per poter operare anche con elementi di dimensioni minori, sia le staffe laterali che le traverse secondarie hanno posizione registrabile sulla traversa principale, che presenta dei piatti distanziatori che vincolano lateralmente i collegamenti tra la trave principale e le travi secondarie/staffe. Allo stesso modo poi, le staffe sulle traverse secondarie possono essere spostate e collocate a piacimento.

Inoltre la staffa della trave principale, in cui si inseriscono i perni per l'attacco del gancio di sollevamento, presenta più configurazioni in modo tale da poter collocare i perni in diverse posizioni (sempre simmetriche) in base alle dimensioni del gancio di sollevamento.

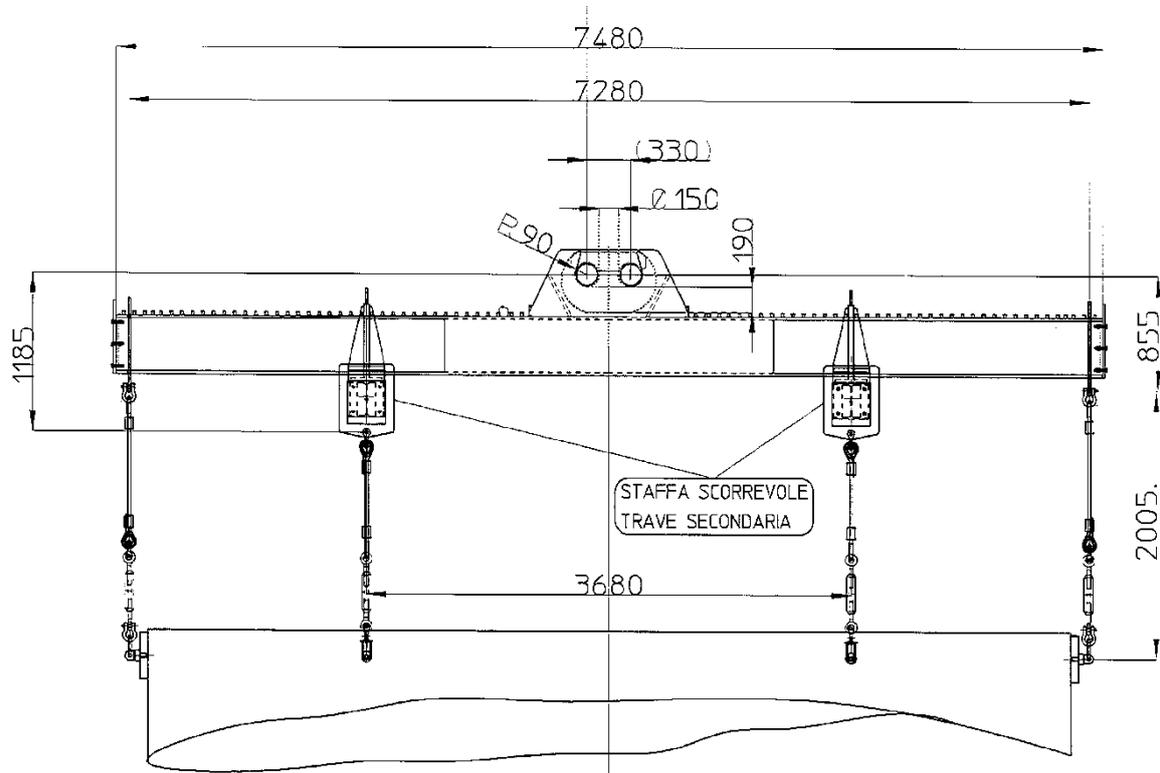
L'utilizzo di elementi non rigidi (funi) per l'ancoraggio del carico permette, inoltre, leggere tolleranze sulla geometria degli oggetti da sollevare, aumentando ulteriormente la versatilità della struttura. Resta comunque la necessità di lavorare con elementi il più possibile simmetrici per non andare a sbilanciare il sistema di sollevamento: i sei punti di attacco del carico nella struttura sono stati infatti progettati per sostenere ciascuno un sesto del carico.

3.2 Schemi di sollevamento e disegni

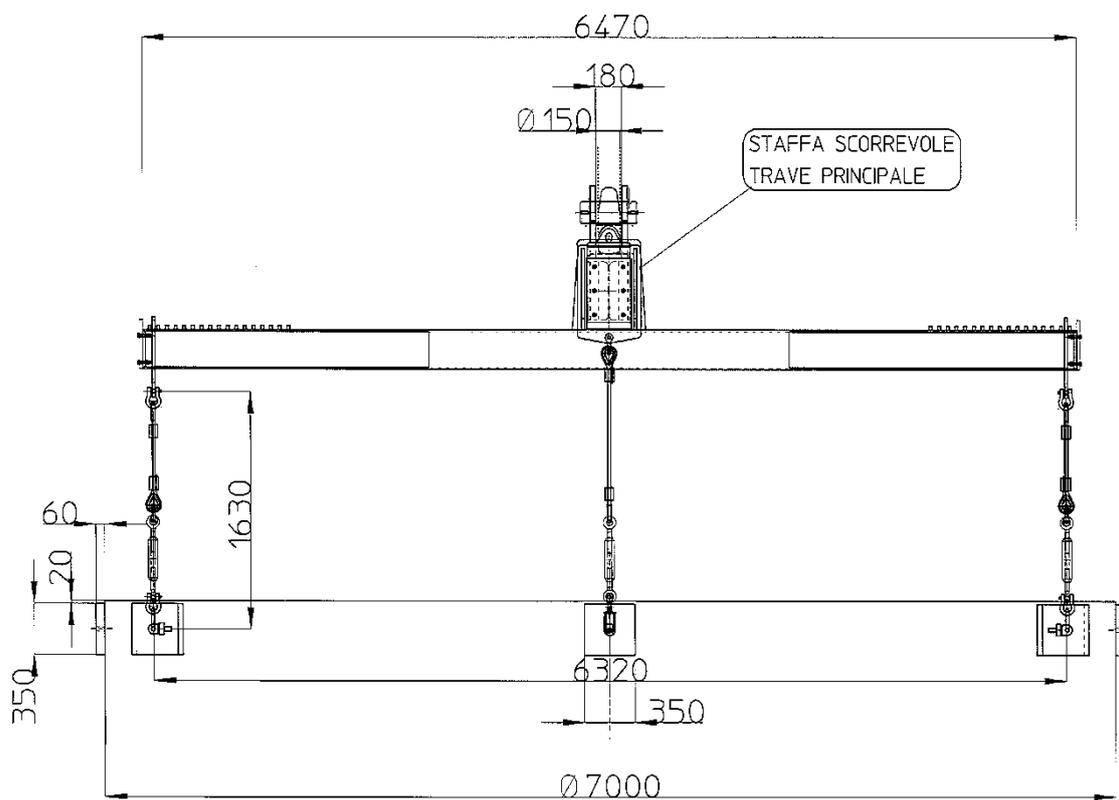
3.2.1 Vista in pianta



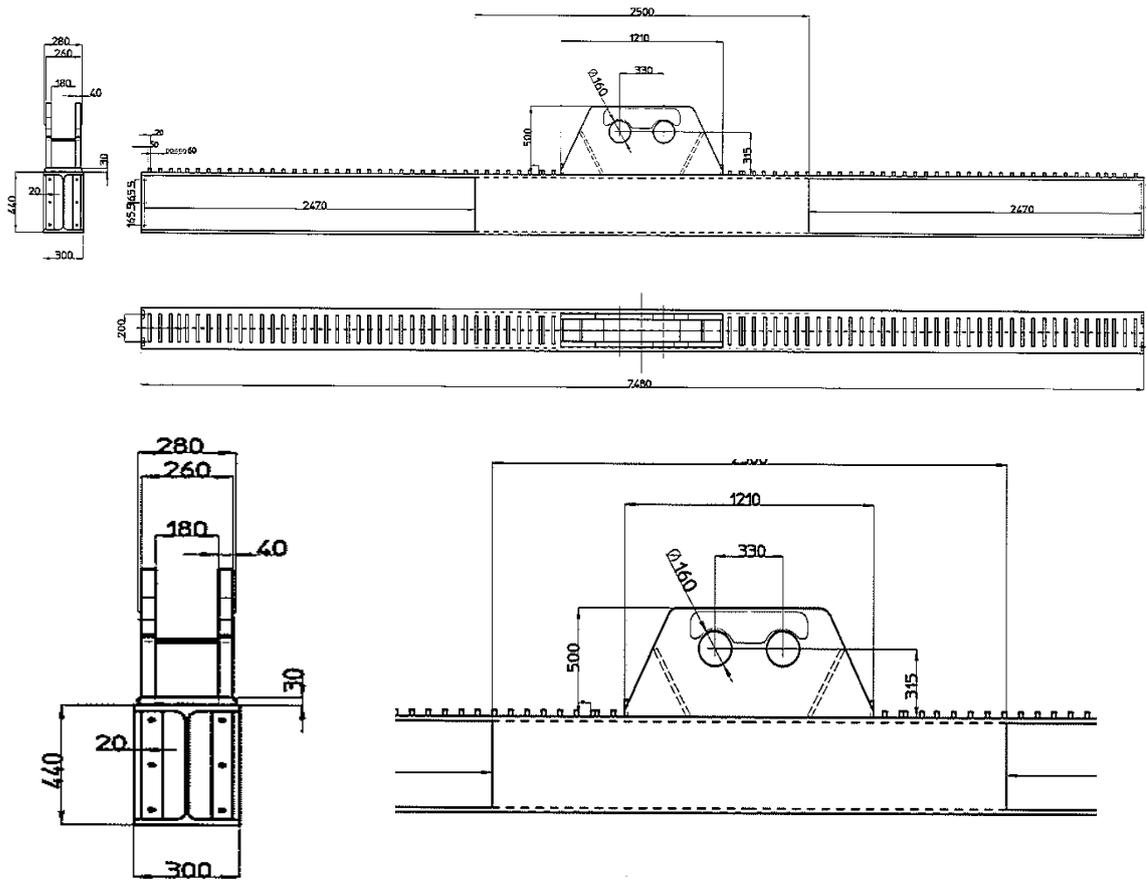
3.2.2 Vista frontale



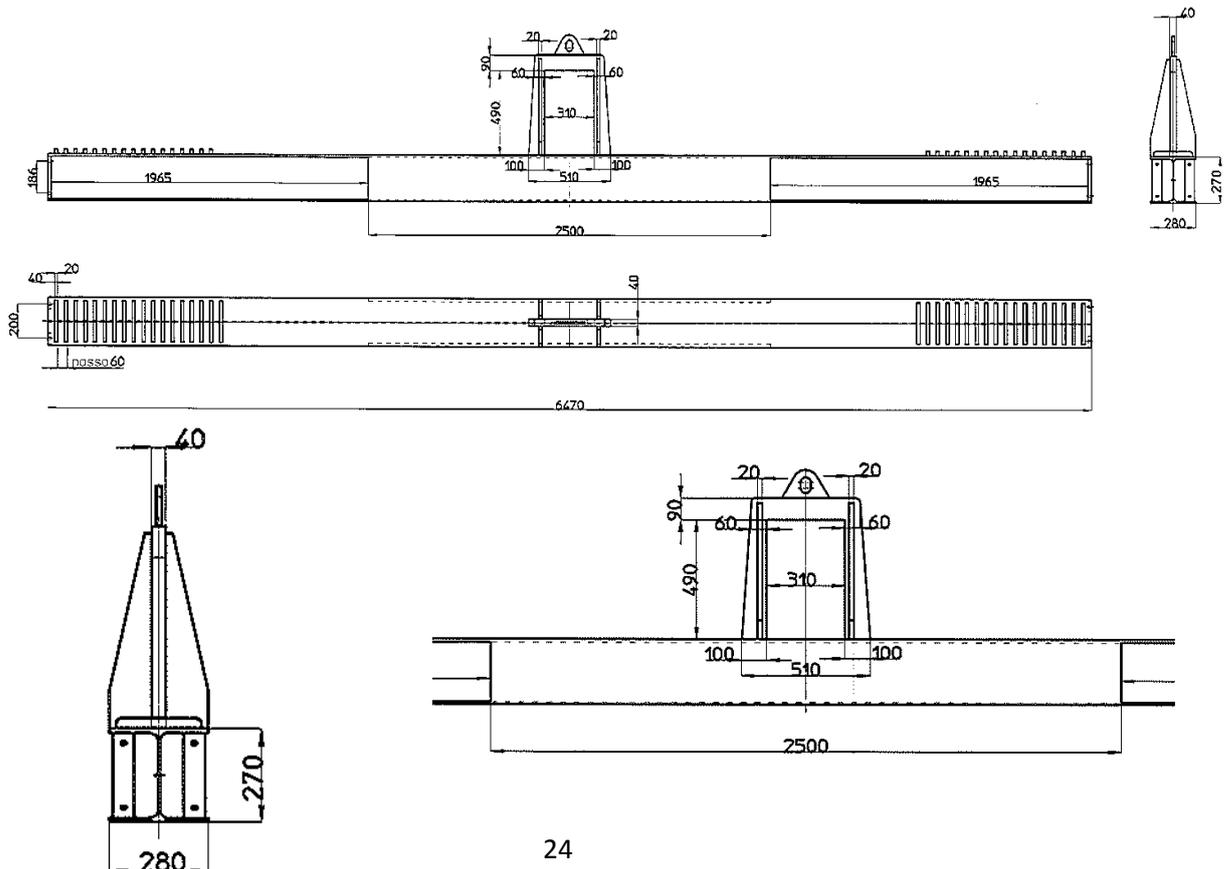
3.2.3 Vista laterale



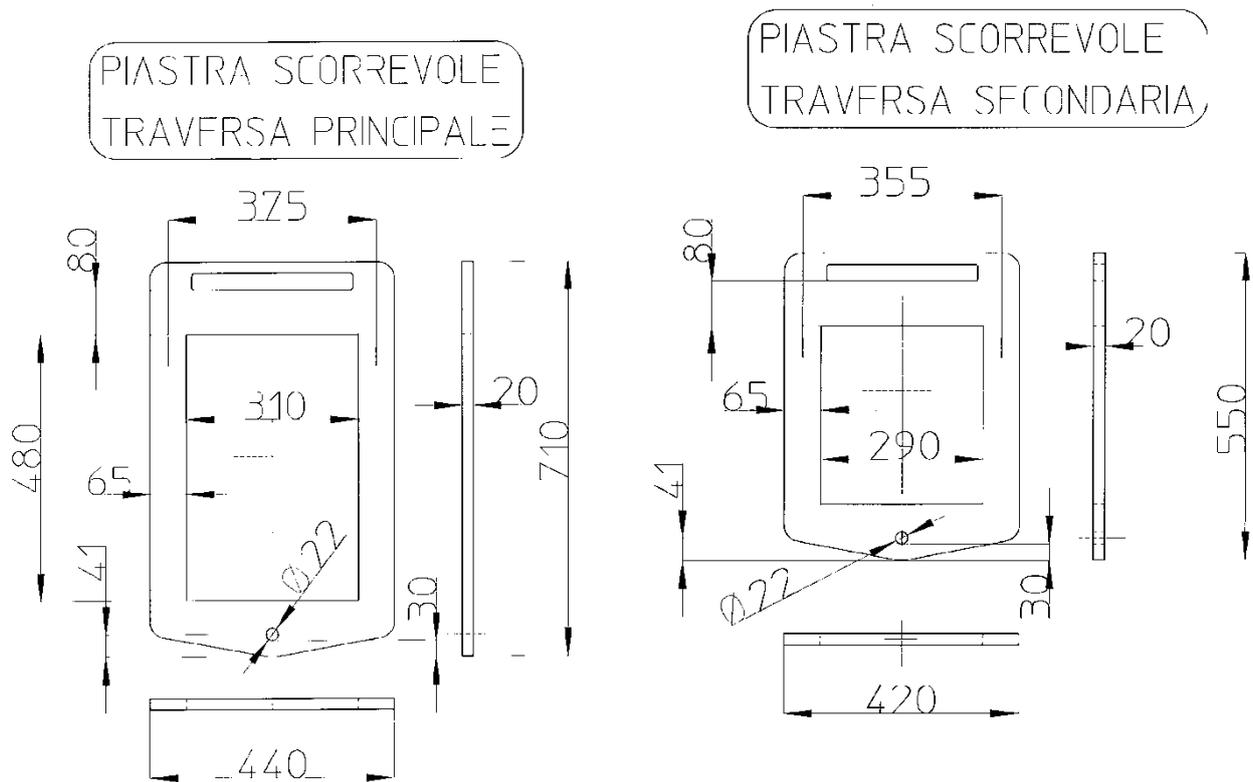
3.2.4 Trave principale



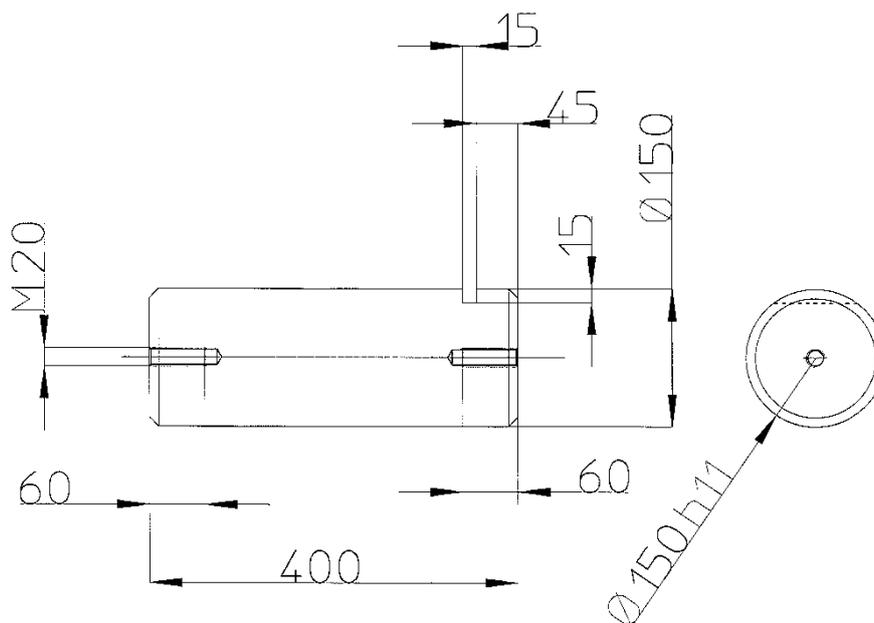
3.2.5 Trave secondaria



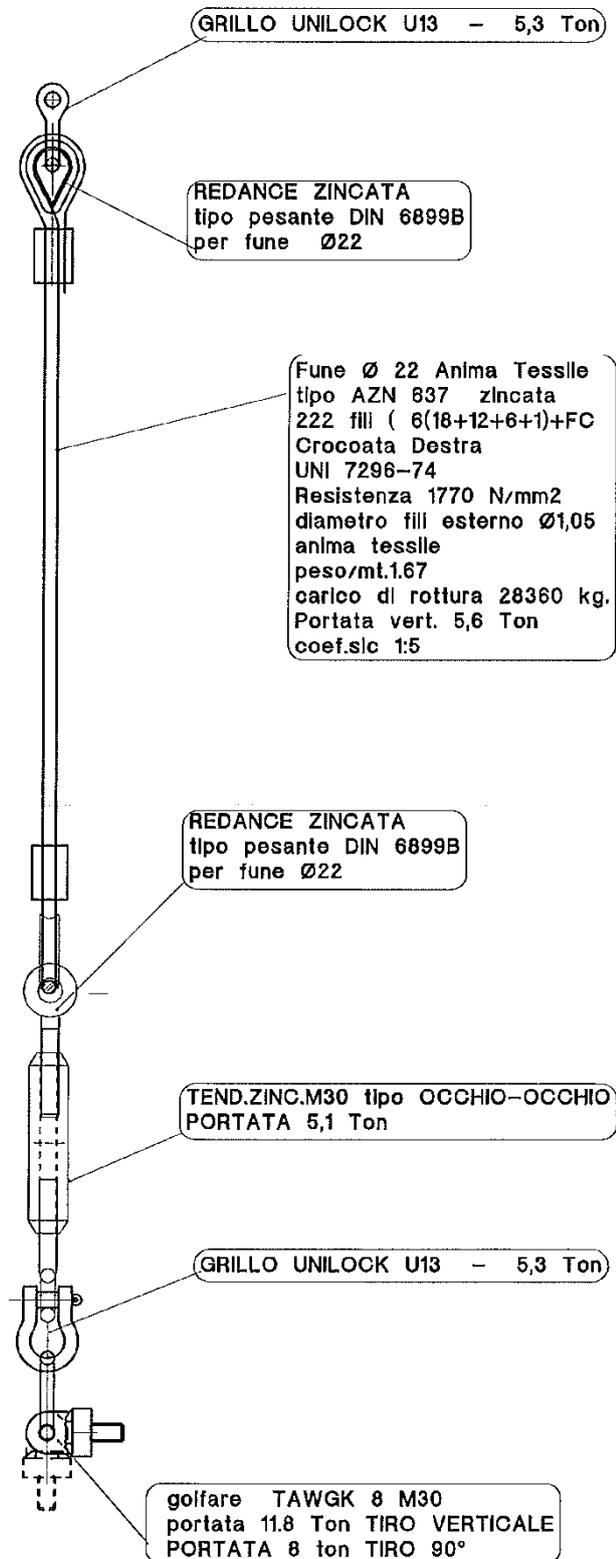
3.2.6 Piastre scorrevoli su travi principale e secondarie



3.2.7 Perno



3.2.8 Gruppo tiranti



3.3 Analisi della struttura

3.3.1 Sollecitazioni sulla struttura

Dalla tipologia dei carichi applicati al bilancino e dalla loro posizione sulla struttura, è possibile definire le sollecitazioni che andranno ad interessare la sezione e, rispetto alle quali, dovrà poi essere fatta la verifica della struttura. Di seguito vengono elencate le sollecitazioni presenti nelle varie parti della struttura e, per ognuna di queste, vengono richiamate le caratteristiche salienti in termini di sollecitazioni ed effetti sulla trave che serviranno in seguito per la verifica della resistenza della struttura.

3.3.1.1 Sforzo di taglio

Una sezione S di una trave è soggetta al solo sforzo di taglio T quando la risultante di tutte le forze esterne che la precedono giace nel suo piano e passa per il suo baricentro. Tuttavia, se ciò avviene per una sezione, nelle sezioni vicine si ha anche un Momento Flettente M dovuto a tale risultante; perciò, in generale, il taglio è accompagnato da momento flettente.

Le tensioni generate dallo sforzo di taglio sono di tipo τ (tangenti alla sezione dell'elemento sollecitato) e presentano le seguenti caratteristiche:

- La direzione delle tensioni è definita dalla direzione della forza di taglio e segue la formula di Jourawsky.
- Il modulo della tensione di taglio in un generico punto della sezione è esprimibile come: $\tau_t = \frac{T \cdot S}{J \cdot b}$ con T = forza di taglio, S = momento statico rispetto all'asse neutro, J = momento di inerzia e b = larghezza della corda considerata);
- Convenzionalmente il taglio è definito positivo se tende a far ruotare l'elemento in senso orario, ossia se diretto verso l'alto nella sezione iniziale della trave e verso il basso nella sezione finale.

La presenza di taglio sulla nostra struttura è dovuta all'azione dei carichi applicati sulla stessa nei sei punti di attacco previsti. In particolare il carico sarà

concentrato sulle staffe laterali delle travi secondarie e della principale, ciascuna delle quali sosterrà, da progetto, un sesto del carico. Sulla trave principale, inoltre, oltre alle due staffe laterali (sostenenti un sesto del carico), sono collegate le travi secondarie sostenenti ciascuna un terzo del carico (un sesto più un sesto).

3.3.1.2 Momento flettente

Una trave si definisce sottoposta a flessione semplice quando ai suoi estremi agiscono soltanto dei momenti flettenti. Si definisce poi flessione retta quella sollecitazione in cui il momento flettente agisce lungo un piano principale d'inerzia, flessione deviata quella dove il momento flettente non agisce su un piano principale d'inerzia.

Le tensioni generate dalla flessione sono di tipo σ (perpendicolari alla sezione dell'elemento inflesso) e presentano le seguenti caratteristiche:

- La disposizione delle σ rispetto alla sezione è detta a farfalla e cresce all'aumentare della distanza dall'asse neutro di flessione;
- Il modulo della tensione in un generico punto della sezione è esprimibile come $\sigma_f = \frac{M_f \cdot Y}{J}$ (con M_f = Momento flettente applicato, Y = distanza dall'asse neutro di flessione e J = momento di inerzia);
- Convenzionalmente il momento flettente è definito positivo quando mette in trazione le fibre inferiori della trave;

La presenza di momento flettente sulla nostra struttura è legata alla presenza del sopracitato taglio che tende ad inflettere le travi della stessa. La sollecitazione dovuta al momento flettente è quella che maggiormente influenza la struttura, la quale dovrà quindi essere progettata per resistere il meglio possibile a questo tipo di sollecitazione.

3.3.1.3 Sforzo normale

Una sezione retta S di trave è sollecitata a sforzo normale semplice di trazione o di compressione quando la risultante delle forze agenti da una o dall'altra parte della sezione è una forza normale al piano della sezione stessa ed è

incidente nel suo baricentro. Se tale risultante è diretta contro il piano della sezione lo sforzo normale è di compressione, tendendo ad avvicinare, in questo caso, le mutue sezioni di contatto S dei due tronchi di trave, e il segno per convenzione è negativo; al contrario se il verso della risultante si allontana dalla sezione lo sforzo normale è di trazione, e il segno positivo.

Le tensioni generate dalla flessione sono di tipo σ (perpendicolari alla sezione dell'elemento inflesso) e presentano le seguenti caratteristiche:

- La direzione delle tensioni è definita dalla direzione dello sforzo normale ed è distribuita uniformemente sulla sezione;
- Il modulo è dato da $\sigma_n = \frac{N}{A}$ (con N = sforzo normale e A = area della sezione) ;
- Convenzionalmente lo sforzo normale è definito positivo in caso di trazione e negativo in caso di compressione;

La sollecitazione di sforzo normale (in particolare quella di trazione) è presente, anche se non in maniera preponderante come taglio e momento flettente, sulle staffe laterali e sulla componentistica di attacco del carico (in particolare sulle funi).

3.3.1.4 Momento torcente

Una trave si dice sottoposta a momento torcente quando alle due estremità agiscono due coppie uguali e contrarie in piani normali all'asse geometrico della trave.

Le tensioni generate dal momento torcente sono di tipo τ (tangenti alla sezione dell'elemento sollecitato) e presentano le seguenti caratteristiche:

- La disposizione delle τ rispetto alla sezione è definita dalla direzione del momento torcente e la tensione massima è presente all'estremità esterna della sezione;
- Il modulo della tensione in un generico punto della sezione è esprimibile

come: $\tau_{Mt} = \frac{M_t \cdot r}{J}$ (con M_t = Momento torcente applicato, J = momento di

inerzia e r = distanza dal centro della sezione);

- Convenzionalmente il momento torcente è definito positivo se antiorario;

Nel caso specifico della struttura in esame il momento torcente compare solamente combinato al momento flettente, insieme al quale può generare nella struttura il fenomeno di instabilità laterale che verrà opportunamente approfondito nei paragrafi successivi.

3.3.2 Verifica della struttura

La verifica di resistenza ha lo scopo di stabilire se lo stato tensionale dell'elemento strutturale analizzato è tale da provocarne il cedimento inteso come rottura o snervamento.

I metodi di verifica previsti dalla norma CNR-UNI 10011 sono due:

1. Il metodo semiprobabilistico agli stati limite
2. Il metodo delle tensioni ammissibili

In questa verifica strutturale si è scelto di utilizzare il metodo delle tensioni ammissibili, un procedimento di calcolo convenzionale, con valutazione deterministica delle grandezze, che controlla la sicurezza delle strutture per le condizioni di esercizio, nell'ipotesi di comportamento elastico dei materiali. La verifica della sicurezza avviene confrontando le tensioni ideali σ_{id} prodotte dalle estreme sollecitazioni di esercizio, con le tensioni ammissibili σ_{amm} del materiale in questione. Perché possa definirsi verificato un dato elemento strutturale, è necessario che sia verificata la seguente relazione: $\sigma_{id} < \sigma_{amm}$

Per la determinazione della tensione ideale (o equivalente), l'UNI10011 prevede l'utilizzo del criterio di resistenza di Von Mises, il quale afferma che lo snervamento del materiale si verifica quando l'energia elastica di deformazione immagazzinata raggiunge un determinato valore critico, che può essere determinato con la prova di trazione e che è pari all'energia di deformazione relativa alla tensione monoassiale di snervamento. Analiticamente il calcolo della tensione ideale, con il criterio di Von Mises, può essere espresso mediante la seguente formula:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Per la determinazione della tensione ammissibile di un materiale, invece, è necessario rapportare la tensione di rottura del materiale in questione, con l'opportuno coefficiente di sicurezza scelto. In riferimento alla direttiva macchine del 2006 e alla normativa UNI 13155 si sceglie di utilizzare un coefficiente di sicurezza 2 sulla rottura. Il valore della tensione ammissibile può, dunque, essere determinato con la seguente formula:

$$\sigma_{amm} = \frac{\sigma_r}{CS}$$

3.3.3 La forma più conveniente della sezione

Mentre nei riguardi della sollecitazione a sforzo normale la forma della sezione non ha nessuna influenza sul valore della tensione massima, importando unicamente l'area della superficie resistente, nel caso della flessione il valore del modulo di resistenza W è fortemente influenzato dalla forma della sezione a parità di area (e quindi di peso).

La distribuzione delle tensioni, massime solo nei punti della sezione più lontani dall'asse neutro, fa sì che il materiale vicino all'asse neutro "lavori meno" di quanto potrebbe, cioè con tensioni molto inferiori alla σ_{amm} .

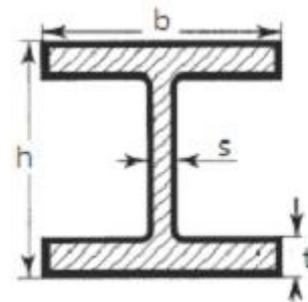
Per ovviare a ciò conviene concentrare il materiale nei punti più lontani dall'asse neutro: la forma della sezione che meglio realizza questa situazione è quella "a doppio T". Nel caso specifico in questione, si sceglie di utilizzare travi a doppio T denominate travi HE. Di questo tipo di trave sono reperibili tre varianti (HEA, HEB, HEM) in funzione dello spessore delle ali laterali. In particolare la denominazione HEA indica le travi con profilo a doppia T (oppure ad H) di serie leggera (spessore delle ali laterali contenuti), la denominazione HEB le travi con medesimo profilo di serie normale (spessore delle ali laterali intermedio) e la denominazione HEM le travi con medesimo profilo di serie rinforzata (spessore delle ali laterali elevato).

La scelta della trave da utilizzare deve essere una mediazione tra le esigenze di peso contenuto della trave e di resistenza alle sollecitazioni applicate: in particolare il peso della suddetta deve essere il più contenuto possibile in modo tale da non gravare in maniera eccessiva sulla struttura, tuttavia la sezione

della trave deve essere in grado di sopportare adeguatamente i carichi applicati, mantenendosi ben lontani dalle condizioni critiche.

Nel caso specifico in esame, per meglio sostenere le sollecitazioni di taglio e momento flettente (preponderanti sulle travi considerate rispetto alle altre sollecitazioni), conviene aumentare l'altezza (h) della sezione; così facendo si aumenta la distanza dall'asse neutro e con essa il momento d'inerzia, che per tale sezione è calcolabile secondo la seguente formula:

$$J = \frac{bh^3}{12} - \left[\frac{(b-s)(h-2t)^3}{12} \right]$$



3.3.3.1 Problemi strutturali nelle travi snelle

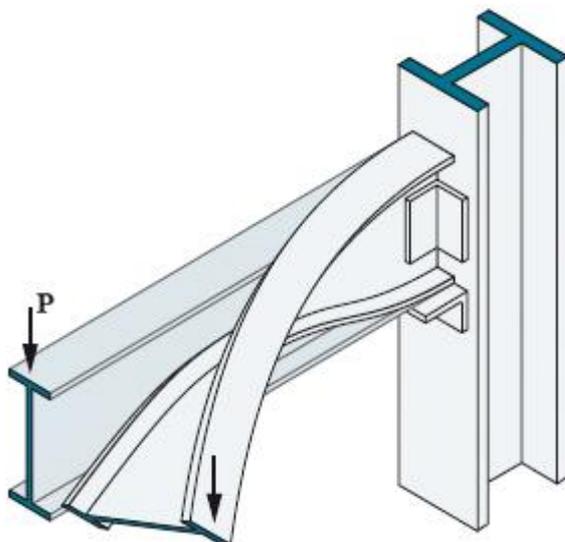
Nelle travi snelle, caratterizzate da un rapporto h/b elevato, si possono verificare fenomeni di instabilità che, se non opportunamente valutati e contenuti, possono dar luogo al collasso della trave e con essa della struttura.

I due principali fenomeni di cui si tiene conto in questa tesi sono:

- Il fenomeno dell'instabilità laterale o svergolamento
- Il fenomeno dell'imbozzamento

3.3.3.1.1 Svergolamento (Instabilità laterale)

Lo svergolamento è una particolare deformazione di una trave snella, oppure di una lastra, per sovrapposizione di una sollecitazione di torsione e una di



flessione. Nel caso particolare di una trave a doppio T d'acciaio con anima alta e sottile, caricata nel piano di simmetria verticale come rappresentato in figura., all'aumentare del carico improvvisamente si verifica il fenomeno dello svergolamento, in cui l'asse della sezione si discosta notevolmente dalla verticale fino a portarsi quasi

orizzontale all'estremità libera. Si tratta di un fenomeno di instabilità dell'equilibrio elastico ed è dovuto alla forza di compressione che agisce su una parte della sezione e che può provocare sbandamento laterale e torsione, senza che il profilo riesca a manifestare le sue risorse flessionali.

Questo fenomeno, chiamato anche instabilità laterale, dipende da:

- rigidità flessionale intorno all'asse debole;
- rigidità torsionale ;
- lunghezza libera (distanza tra sezioni impedite di traslare orizzontalmente e quindi di ruotare);
- vincoli esterni;
- quota del punto di applicazione del carico;

Per poter limitare il rischio di svergolamento, sulla struttura in questione sono state collocate (e fissate mediante saldatura) delle piastre di rinforzo tra le ali laterali della trave. La lunghezza di queste piastre di rinforzo viene scelta in fase di progetto in modo tale da mantenere le tensioni critiche al disotto di determinati valori.

Nella normativa UNI 10011 la verifica della stabilità laterale, nel caso di trave doppio T, viene effettuata confrontando la σ_{amm} con la σ calcolata mediante la seguente formula:

$$\sigma = \omega \cdot \frac{M_{eq}}{W_f}$$

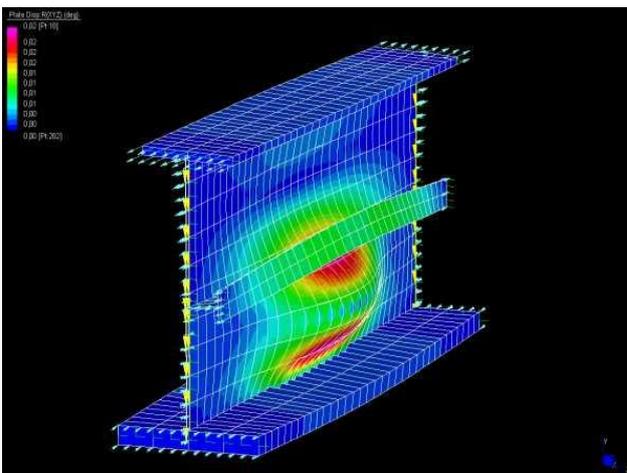
Dove:

- $\omega = \frac{f_y}{0.585 \cdot E} \cdot \frac{h \cdot l}{b \cdot t} \cdot 1.4$ = coefficiente adimensionale che dipende dalle dimensioni della trave (altezza della trave (h), spessore delle ali (t), larghezza delle ali (b) e lunghezza di un campo di travi tra due ritegni torsionali successivi (l), dal modulo di elasticità del materiale (E) e dalla tensione limite di snervamento del materiale in questione ($f_{y_{Fe430}} = 275 \text{ N/mm}^2$). Il coefficiente 1.4 viene inserito in quanto è previsto dalla normativa, qualora i carichi siano applicati all'estradosso della membratura.

- Meq = momento equivalente che nel caso delle travi in questione deve avere valori compresi tra $0.5 \cdot Mf < Meq < Mf$. Con ipotesi in favore di sicurezza si considera un valore $Meq = 0.75 \cdot Mf$
- Wf = modulo di resistenza a flessione

3.3.3.1.2 Imbozzamento (instabilità dell'anima)

L'imbozzamento è un fenomeno di instabilità dell'equilibrio elastico che si



verifica nelle lastre sottili caricate di punta lungo i bordi. Consiste nel formarsi di ondulazioni (bozze) delle lastre stesse con pericolo di collasso. La verifica all'imbozzamento è prescritta dalle norme per tutte le strutture che possono essere soggette al fenomeno, quali, per esempio, le travi a doppio T composte, con

anima sottile, nelle quali è da temere il pericolo dell'imbozzamento. dell'anima: in questo caso si dispongono irrigidimenti verticali e orizzontali (a volte anche inclinati) saldando o chiodando sull'anima laminati piatti o a L in modo da suddividere l'anima stessa in rettangoli aventi lati di dimensioni tali da ridurre il pericolo d'imbozzamento.

Nella normativa UNI 10011, per la verifica dell'imbozzamento della trave viene richiesto di verificare la seguente relazione:

$$\sigma_{id} < \frac{\sigma_{cr,id}}{\beta \cdot \nu}$$

Dove:

- $\sigma_{cr,id}$ = la tensione critica ideale calcolabile come specificato nel paragrafo 7.6.2.1 dell'UNI 10011;
- β = coefficiente che dipende dal rapporto (α) tra lunghezza della trave senza irrigidimenti e altezza dell'anima, e anch'esso può essere calcolato riferendosi al paragrafo 7.6.2.1 dell'UNI 10011;
- ν = coefficiente calcolabile riferendosi al paragrafo 7.1 dell'UNI 10011;

- σ_{id} = tensione ideale agente nel punto più sollecitato della sezione della trave priva di irrigidimenti

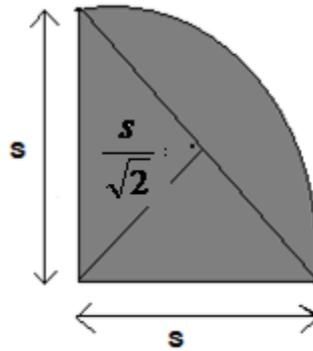
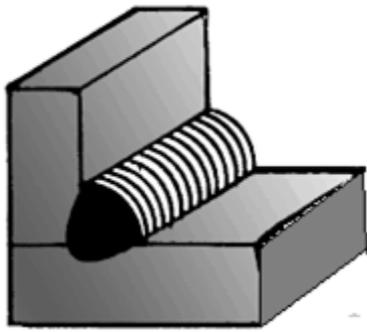
3.3.4 La tipologia di saldatura adottata

La tipologia saldatura prevista per il collegamento delle parti da saldare è quella a filo sotto gas di protezione; in particolare viene scelta la saldatura MAG e come gas di protezione l'anidride carbonica CO₂. La scelta del tipo di saldatura viene fatta tra quelle previste dall'UNI 10011 in particolare riferendosi al paragrafo 2.5, al quale si fa riferimento anche per i controlli da effettuare sui cordoni di saldatura prodotti.

Il procedimento di saldatura MIG/MAG è un procedimento a filo continuo in cui la protezione del bagno di saldatura è assicurata da un gas di copertura, che fluisce dalla torcia sul pezzo da saldare. Il fatto che sia un procedimento a filo continuo garantisce un'elevata produttività al procedimento stesso, e contemporaneamente la presenza di gas permette di operare senza scoria (entrambe queste caratteristiche aumentano l'economicità del procedimento nei confronti della saldatura a elettrodo).

Rispetto alla saldatura ad elettrodo, l'elevato numero di componenti necessari per la realizzazione della saldatura MAG, provoca un aumento del costo dell'operazione. Tuttavia, con la presenza di fili continui, è possibile generare densità di corrente più elevate di quelle sopportabili dagli elettrodi rivestiti (in questi ultimi una densità di corrente eccessiva provoca la fessurazione del rivestimento, a causa dei coefficienti di dilatazione diversi fra anima metallica e rivestimento stesso), ottenendo quindi penetrazioni maggiori ed il riempimento del giunto con un numero minore di passate. La saldatura MIG/MAG, come tutti i procedimenti a filo continuo, è un processo derivato dall'arco sommerso, ma, nei confronti quest'ultimo, ha il vantaggio di permettere l'osservazione diretta dell'arco da parte dell'operatore, consentendo quindi di controllare l'esecuzione della saldatura come nei procedimenti a elettrodo (elettrodo rivestito e TIG). Altri vantaggi nei confronti dell'arco sommerso sono la mancata formazione di scoria e la possibilità di saldare anche in posizioni non piane.

I cordoni prodotti nel processo di saldatura per la struttura in questione, sono



tutti cordoni ad angolo e sono tutti da considerarsi appartenenti ad un'unica classe (II classe), caratterizzata da

una ragionevole assenza di difetti interni, incrinature e/o cricche di strappo sui lembi dei cordoni. Le saldature appartenenti alla II classe sono giunti effettuati con elettrodi di qualità 2,3 o 4 in riferimento all'UNI 5132 o con altri procedimenti di saldatura equivalenti, non ritenuti idonei a superare gli esami richiesti per la I classe. Il controllo dei cordoni deve essere effettuato in maniera non distruttiva ed in particolare mediante sistemi magnetici.

La verifica delle saldature appartenenti alla seconda classe viene fatta in riferimento al paragrafo 5.1 dell'UNI 10011, nel quale viene richiesto di appurare che la tensione ideale (calcolata sempre secondo la formula di Von Mises) rimanga al disotto del valore $0.85 \cdot \sigma_{amm} Fe510$.

In favore di sicurezza si suppone che il materiale del filo utilizzato nel processo di saldatura sia Fe360, da qui la scelta del coefficiente 0.85 rispetto al coefficiente 0.70 consigliato dalla normativa in caso di componenti in Fe430-Fe510.

3.4 Verifica della struttura

3.4.1 Premessa

La seguente relazione di calcolo è riferita alle dimensioni indicate nei disegni precedentemente mostrati. Si ipotizza che l'attrezzatura sia stata prodotta in base alle norme di buona tecnica e che le saldature siano state eseguite a regola d'arte in riferimento al paragrafo 2.5 dell'UNI 10011. Tali saldature, prevalentemente a cordoni ad angolo, devono avere aspetto regolare e il loro controllo, come già accennato in precedenza, deve essere effettuato mediante sistemi magnetici in riferimento al paragrafo 2.5.3.3 dell'UNI 10011.

Questa relazione non si assume le responsabilità relative alle modalità di utilizzo non conformi alle indicazioni e allo stato di manutenzione del dispositivo.

I materiali utilizzati nella progettazione sono Fe430, Fe 510, C40 .

Le norme utilizzate per la progettazione del bilancino sono le seguenti: UNI10011/88-UNI10012/85-UNI10021/85-UNI7670/88-UNI 13155

$$SQ = 23000 \text{ Kg} = 23 \cdot 10^4 \text{ N} \quad \text{portata utile}$$

$$ps = 7.87 \text{ Kg/mm}^2 \quad \text{peso specifico Fe430, Fe 5010}$$

$$M = 1.14 \quad \text{coefficiente di maggiorazione}$$

$$\phi = 1.15 \quad \text{coefficiente dinamico}$$

3.4.2 Analisi dei carichi gravanti

3.4.2.1 Analisi dei carichi gravanti

In questo paragrafo vengono considerate le forze regolari dovute ai carichi applicati e, dunque, effettivamente riscontrabili in esercizio. Vengono trascurate invece le forze di inerzia che nascono durante lo spostamento del carico, sia per la piccola entità, sia perché agenti perpendicolarmente agli altri carichi.

L'utilizzo del sistema di sollevamento è previsto in ambiente aperto e sarebbe quindi opportuno ai fini della sicurezza, verificare eventuali forze esterne che

potrebbero andare a gravare sulla struttura. L'unica forza esterna che potrebbe realmente interessare la struttura è il vento la cui intensità, stimata nel periodo dell'anno in cui sono previsti i lavori (gennaio febbraio) non supera i 20km/h, risultando quindi assolutamente trascurabile sulla struttura.

Tuttavia, qualora il sollevamento del serbatoio avvenisse in presenza di vento, potrebbe non essere più trascurabile l'azione dello stesso sulla superficie del serbatoio. Per confutare questa ipotesi viene calcolata di seguito la spinta del vento sul serbatoio.

Con ipotesi in favore di sicurezza si suppone la velocità del vento pari a $V = 20\text{km/h}$ e si approssima la superficie del serbatoio a quella di un rettangolo di base $b = 7\text{m}$ e altezza $h = 9\text{m}$. La forza esercitata dal vento sulla struttura è calcolabile come:

$$F = P \cdot A \cdot Cd \cdot Kz \cdot Gh$$

con $P = 0.00256 \cdot V^2$ pressione del vento
 $A = b \cdot h$ superficie serbatoio approssimata
 $Cd = 1.2$ coefficiente di resistenza aerodinamica
 $Kz = [(h/2)/33]^{(2/7)}$ coefficiente di esposizione
 $Gh = 0.65 + 0.60 \cdot (h/33)^{(1/7)}$ fattore di risposta del vento

$$F = 61\text{kg}$$

La forza del vento risulta quindi, come anticipato, trascurabile rispetto ai carichi agenti sul bilancino.

$$Ga = 2000 \text{ N} \quad \text{peso accessori}$$

Il peso degli accessori quantificato sopra è comprensivo, oltre che degli elementi necessari al collegamento del carico al bilancino (tra cui funi, grilli, tenditori) anche di eventuali elementi aggiuntivi utilizzati durante altre applicazioni.

$$Gs = 17.75 \text{ N} \quad \text{peso staffe laterali}$$

$$SQI = M \cdot (Ga + \phi \cdot SQ) = 3.038 \cdot 10^5 \text{ N} \quad \text{carico di servizio}$$

3.4.2.2 Tensioni ammissibili

Come dichiarato precedentemente, gli elementi strutturali sono costituiti da acciaio Fe 430 e Fe510. Riferendosi al paragrafo 4.1 dell'UNI 10011, ed in particolare al prospetto 4.Ib, è possibile determinare le sollecitazioni statiche ammissibili per questi acciai:

$$\sigma_{amm} Fe430 = 19 \quad daN/mm^2$$

$$\sigma_{amm} Fe510 = 24 \quad daN/mm^2$$

3.4.3 Verifica della trave principale

3.4.3.1 Geometria della trave principale

Questo elemento è composto da:

- profilato HEA 450 di acciaio Fe 430;
- staffa attacco gancio saldata al profilato, comprensiva dei perni inseribili;
- piastre di rinforzo nella parte centrale;

$l = 7280 \quad mm$ lunghezza di lavoro della traversa principale

$a = 2500 \quad mm$ lunghezza delle piastre di rinforzo centrali trave principale

$c = 4980 \quad mm$ lunghezza della porzione della trave senza le piastre di rinforzo

$s = 12 \quad mm$ spessore minimo delle saldature strutturali

Sezione senza piastre di rinforzo

$b_{ip} = 300 \quad mm$ larghezza sezione trave principale

$h_{ip} = 440 \quad mm$ altezza sezione trave principale

$s_{ip} = 11.5 \quad mm$ spessore anima sezione trave principale

$t_{ip} = 21 \quad mm$ spessore ali sezione trave principale

$A_{ip} = 17800 \quad mm^2$ area sezione trave principale

$S_{ipA}^* = 0 \quad mm^3$ momento statico della sezione nel punto A calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$S_{ipB}^* = b_{ip} \cdot t_{ip} \cdot \left(\frac{h_{ip}}{2} - \frac{t_{ip}}{2} \right) = 1.319850 \cdot 10^6 \quad mm^3$ momento statico della

sezione nel punto B calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{tpC}^* = b_{tp} \cdot t_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - \frac{t_{tp}}{2} \right) = 1.319850 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{momento statico della}$$

sezione nel punto C calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{tpD}^* = b_{tp} \cdot t_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - \frac{2t_{tp}}{2} \right) + s_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2t_{tp}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2t_{tp}}{4} \right) = 1.481405 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

momento statico della sezione nel punto D calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$J_{tp} = \frac{b_{tp} \cdot h_{tp}^3}{12} - \frac{[(b_{tp} - s_{tp}) \cdot (h_{tp} - 2t_{tp})]}{12} = 63.722 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad \text{momento d'inerzia}$$

sezione trave principale calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$W_{tp} = \frac{2J_{tp}}{h_{tp}} = 2.896 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

$$q_{tp} = ps^* A_{tp} = 1.4 \quad \text{N / mm} \quad \text{peso distribuito}$$

$$G_{tp} = M \cdot q_{tp} \cdot l = 1.163 \cdot 10^4 \quad \text{N} \quad \text{peso traversa principale}$$

Sezione di mezzeria (con piastre di rinforzo)

$$s_p = 20 \quad \text{mm} \quad \text{spessore piastre di rinforzo}$$

$$A_{mp} = A_{tp} + 2 \cdot (h_{tp} - 2t_{tp}) s_p = 3.372 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \quad \text{area sezione di mezzeria}$$

$$S_{mpA}^* = 0 \quad \text{mm}^3 \quad \text{momento statico della sezione nel punto A calcolato}$$

rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{mpB}^* = b_{tp} \cdot t_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - \frac{t_{tp}}{2} \right) = 1.319850 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{momento statico della}$$

sezione nel punto B calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{mpC}^* = b_{tp} \cdot t_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - \frac{t_{tp}}{2} \right) = 1.319850 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{momento statico della}$$

sezione nel punto C calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{mpD}^* = b_{tp} \cdot t_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - \frac{2t_{tp}}{2} \right) + s_{tp} \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2t_{tp}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2t_{tp}}{4} \right) + 2 \cdot s_p \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2 \cdot t_{tp}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{tp} - 2 \cdot t_{tp}}{4} \right) = 2.273425 \cdot 10^6$$

$= 2.273425 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ momento statico della sezione nel punto D
calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$J_{mtp} = J_{tp} + \frac{(h_{tp} - 2t_{tp})^3 s_p}{6} = 8.474 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad \text{momento d'inerzia sezione}$$

di mezzeria

$$W_{mtp} = \frac{2J_{tpm}}{h_{tp}} = 3.852 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

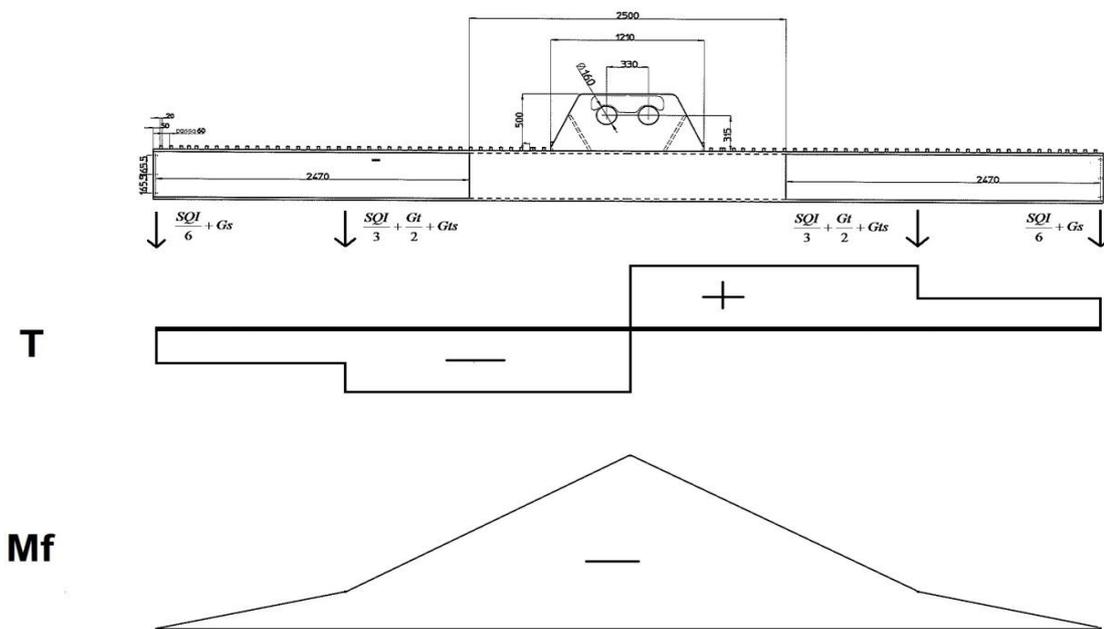
3.4.3.2 Carichi applicati

Il carico viene agganciato, sia alla trave principale che a quella secondaria, mediante staffe scorrevoli; le travi secondarie sono poi collegate alla principale mediante altre staffe saldate sulla stessa trave secondaria, ma che presentano comunque posizione registrabile sulla principale.

Con ipotesi in favore di sicurezza si suppone che ogni punto di attacco supporti un sesto del carico. Si considera inoltre trascurabile nel calcolo delle sollecitazioni, il contributo del peso delle staffe sulla trave secondaria, in quanto notevolmente inferiore rispetto al peso della trave secondaria.

Dai diagrammi di Taglio e Momento flettente riportati di seguito è possibile definire le sezioni critiche della trave principale che sono:

- sezione di mezzeria
- sezione dove terminano le piastre di rinforzo



3.4.3.3 Verifica della sezione di mezzeria

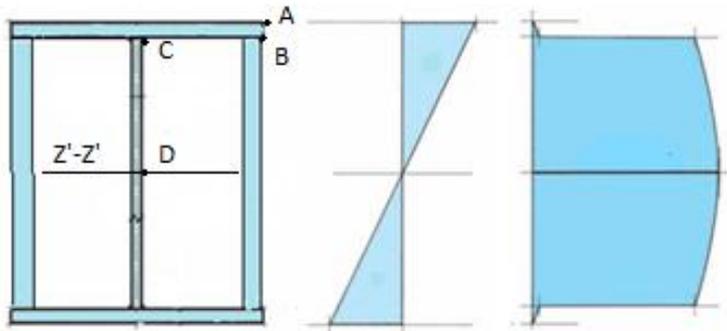
La sezione di mezzeria è considerata critica in quanto vi sono concentrati tutti i carichi applicati oltre al peso della struttura. Le sollecitazioni dovute ai carichi sono sforzo di taglio e momento flettente.

$$T = \frac{SQI}{3} + \frac{SQI}{6} + \frac{Gt}{2} + Gts + Gs = 1.634 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

$$Mf = \frac{SQI}{3} \frac{l}{4} + \frac{SQI}{6} \frac{l}{2} + \frac{Gt}{2} \frac{l}{4} + Gts \frac{l}{4} + Gs \frac{l}{2} = 3.899 \cdot 10^8 \quad Nmm \quad \text{momento}$$

flettente

Nella sezione a doppio T, con piastre di rinforzo, la distribuzione delle tensioni è quella rappresentata in figura.



I punti più sollecitati della sezione della sezione risultano essere i punti A (dove si ha momento flettente massimo), B (dove è presente

momento flettente poco sotto il valore massimo e sforzo di taglio non trascurabile), C (dove sono presenti momento flettente e sforzo di taglio entrambi poco al disotto dei valori massimi) e D (dove si ha il massimo valore dello sforzo di taglio). Non essendo possibile a priori determinare quale di questi sia il punto maggiormente sollecitato della sezione, per ciascuno viene operata la verifica calcolando la tensione ideale e confrontandola con la tensione ammissibile.

Punto A

$$\tau_{tA} = \frac{T \cdot S_{mpA}^*}{b_{tp} \cdot J_{mp}} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto A}$$

$$\sigma_{fA} = \frac{Mf}{J_{mp}} \cdot \frac{h_{tp}}{2} = 101.22 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto A}$$

La tensione ideale calcolata nel punto A della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idA} = \sqrt{(\sigma_{fA}^2 + 3 \cdot \tau_{tA}^2)} = 101.22 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto A in quanto:

$$\sigma_{idA} = 101.22 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto B

$$\tau_{tB} = \frac{T \cdot S_{mpB}^*}{b_{tp} \cdot J_{mp}} = 0.85 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto B}$$

$$\sigma_{fB} = \frac{Mf}{J_{mp}} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - t_{tp} \right) = 91.56 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto B}$$

La tensione ideale calcolata nel punto B della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idB} = \sqrt{(\sigma_{fB}^2 + 3 \cdot \tau_{tB}^2)} = 91.57 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto B in quanto:

$$\sigma_{idB} = 91.57 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto C

$$\tau_{tC} = \frac{T \cdot S_{mpC}^*}{s_{tp} \cdot J_{mp}} = 22.13 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto C}$$

$$\sigma_{fC} = \frac{Mf}{J_{mp}} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - t_{tp} \right) = 91.56 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto C}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idC} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 99.25 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idC} = 99.25 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto D

$$\tau_{iD} = \frac{T \cdot S_{mpD}^*}{s_{ip} \cdot J_{mp}} = 38.12 \text{ MPa} \quad \text{tensione di taglio nel punto D}$$

$$\sigma_{fD} = 0 \quad \text{MPa} \quad \text{tensione di flessione nel punto D}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idD} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{iC}^2)} = 38.12 \quad \text{MPa} \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idD} = 38.12 \text{ MPa} < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \text{ MPa}$$

3.4.3.4 Verifica della sezione senza le piastre di rinforzo

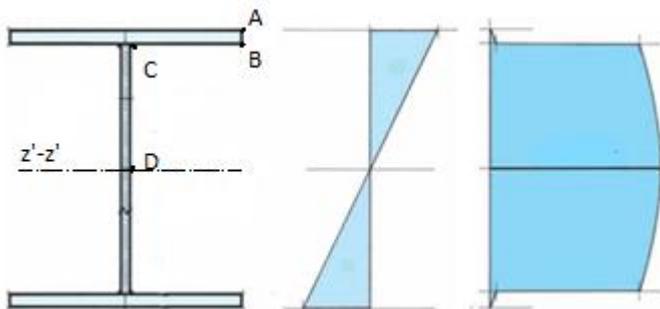
La sezione senza piastre di rinforzo è considerata critica in quanto si ha una variazione di sezione che genera una diminuzione di resistenza. Le sollecitazioni dovute ai carichi sono sforzo di taglio e momento flettente.

$$T = \frac{SQI}{3} + \frac{SQI}{6} + \frac{Gt(l-a)}{l} + Gts + Gs = 1.614 \cdot 10^5 \text{ N} \quad \text{sforzo di taglio}$$

$$Mf = \frac{SQI}{3} \left(\frac{l}{4} - \frac{a}{2} \right) + \frac{SQI}{6} \frac{(l-a)}{2} + \frac{Gt}{l} \frac{(l-a)}{2} \frac{(l-a)}{4} + Gts \left(\frac{l}{4} - \frac{a}{2} \right) + Gs \frac{(l-a)}{2} = 1.869 \cdot 10^8$$

$$= 1.896 \cdot 10^8 \quad \text{Nmm} \quad \text{momento flettente}$$

Nella sezione a doppio T la distribuzione delle tensioni è quella rappresentata in figura.



I punti più sollecitati della sezione della sezione risultano essere i punti A(dove si ha momento flettente massimo)B(dove è presente momento flettente

poco sotto il valore massimo e sforzo di taglio non trascurabile), C (dove sono presenti momento flettente e sforzo di taglio entrambi poco al disotto dei valori massimi) e D (dove si ha il massimo valore dello sforzo di taglio). Non essendo possibile a priori determinare quale di questi sia il punto maggiormente sollecitato della sezione, per ciascuno viene operata la verifica calcolando la tensione ideale e confrontandola con la tensione ammissibile.

Punto A

$$\tau_{tA} = \frac{T \cdot S_{tpA}^*}{b_{tp} \cdot J_{tp}} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto A}$$

$$\sigma_{fA} = \frac{Mf}{J_{tp}} \cdot \frac{h_{tp}}{2} = 63.73 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto A}$$

La tensione ideale calcolata nel punto A della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idA} = \sqrt{(\sigma_{fA}^2 + 3 \cdot \tau_{tA}^2)} = 63.73 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto A in quanto:

$$\sigma_{idA} = 63.73 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto B

$$\tau_{tB} = \frac{T \cdot S_{tpB}^*}{b_{tp} \cdot J_{tp}} = 1.12 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto B}$$

$$\sigma_{fB} = \frac{Mf}{J_{tp}} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - t_{tp} \right) = 57.65 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto B}$$

La tensione ideale calcolata nel punto B della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idB} = \sqrt{(\sigma_{fB}^2 + 3 \cdot \tau_{tB}^2)} = 57.68 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto B in quanto:

$$\sigma_{idB} = 57.68 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto C

$$\tau_{tC} = \frac{T \cdot S_{tpC}^*}{s_{tp} \cdot J_{tp}} = 29.07 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto C}$$

$$\sigma_{fC} = \frac{Mf}{J_{tp}} \cdot \left(\frac{h_{tp}}{2} - t_{tp} \right) = 57.65 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto C}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idC} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 76.54 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idC} = 76.54 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto D

$$\tau_{tD} = \frac{T \cdot S_{tpD}^*}{s_{tp} \cdot J_{tp}} = 32.63 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto D}$$

$$\sigma_{fD} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto D}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idD} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 32.63 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idD} = 32.63 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

3.4.3.5 Verifica a stabilità laterale (svergolamento)

In riferimento al paragrafo 7.3 dell'UNI 10011, si assume il seguente valore del momento equivalente:

$$Meq = 0.75 \cdot Mf = 1.401 \cdot 10^8 \quad Nmm \quad \text{momento flettente equivalente}$$

Si procede poi con la verifica alla stabilità laterale come spigato nel paragrafo

3.3.1.1

$$\omega = \frac{f_y}{0.585 \cdot E} \cdot \frac{h_{tp} \cdot l}{b_{tp} \cdot t_{tp}} \cdot 1.4 = 1.673 \quad \text{coefficiente adimensionale}$$

$$\sigma = \omega \cdot \frac{Meq}{W_{ts}} = 80.95 \quad MPa \quad \text{massima tensione del lembo compresso}$$

Il profilo considerato risulta verificato rispetto alla stabilità laterale in quanto:

$$\sigma = 80.95 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

3.4.3.6 Verifica della stabilità dell'anima (imbozzamento)

La verifica della stabilità dell'anima viene fatta riferendosi al paragrafo 7.6.2 dell'UNI 10011, in cui viene richiesto di verificare la seguente relazione:

$$\sigma_{id} < \frac{\sigma_{cr,id}}{\beta \cdot \nu}$$

In questa verifica si omettono le tensioni di taglio perche trascurabili rispetto a quelle normali; l'anima quindi risulta sollecitata solamente a flessione. Per questo motivo, essendo le tensioni variabili linearmente, si può approssimare la tensione di critica ideale con il valore:

$$\sigma_{cr,id} = \sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_{cr0}$$

Dove

$k_{\sigma} = 23.9$ è il coefficiente di imbozzamento ricavato dal prospetto 7-VIII dell'UNI 10011;

$$\sigma_{cr0} = 186200 \cdot \left(\frac{s_{tp}}{h_{tp}} \right)^2 = 127.19 \quad \text{è la tensione di riferimento ;}$$

Inoltre per valori di $\alpha = \frac{c/2}{h_{tp}} = 5.66 > 1.5$ si considera $\beta = 1$, mentre il coefficiente

ν , per il metodo delle tensioni ammissibili, può essere approssimato ad un valore tra 1.25 e 1.5: con ipotesi in favore di sicurezza, si considera $\nu = 1.5$.

La sigma critica ideale risulta dunque:

$$\sigma_{cr,id} = 3039.96$$

L'anima del bilancino è verificata all'imbozzamento in quanto:

$$\sigma_{id} = 76.54 < \frac{\sigma_{cr,id}}{\beta \cdot \nu} = 2026.64$$

3.4.4 Verifica della trave secondaria

3.4.4.1 Geometria della trave secondaria

Questo elemento è composto da:

- profilato HEA 300 di acciaio Fe 430;
- staffa di acciaio Fe 510 saldata al profilato per il collegamento con la trave principale in cui viene inserita;
- piastre di rinforzo nella parte centrale

$l_t = 6320 \quad mm$ lunghezza di lavoro della trave secondaria

$a_1 = 2500 \quad mm$ lunghezza delle piastre di rinforzo centrali trave secondaria

$c_1 = 3970 \quad mm$ lunghezza della porzione della trave senza le piastre di rinforzo

$s = 12 \quad mm$ spessore minimo delle saldature strutturali

Sezione senza piastre di rinforzo

$b_{ts} = 280 \quad mm$ larghezza sezione trave secondaria

$h_{ts} = 270 \quad mm$ altezza sezione trave secondaria

$s_{ts} = 8 \quad mm$ spessore anima sezione trave secondaria

$t_{ts} = 13 \quad mm$ spessore ali sezione trave secondaria

$A_{ts} = 9730 \quad mm^2$ area sezione trave secondaria

$S_{tsA}^* = 0 \quad mm^3$ momento statico della sezione nel punto A calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$S_{tsB}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{s_{ts}}{2} \right) = 4.76840 \cdot 10^5 \quad mm^3$ momento statico della

sezione nel punto B calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$S_{tsC}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{s_{ts}}{2} \right) = 4.76840 \cdot 10^5 \quad mm^3$ momento statico della sezione

nel punto C calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$S_{tsD}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{2t_{ts}}{2} \right) + s_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2t_{ts}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2t_{ts}}{4} \right) = 5.03616 \cdot 10^5 \quad mm^3$

momento statico della sezione nel punto D calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$J_{ts} = \frac{b_{ts} \cdot h_{ts}^3}{12} - \frac{[(b_{ts} - s_{ts}) \cdot (h_{ts} - 2t_{ts})]}{12} = 13.673 \cdot 10^7 \quad mm^4 \quad \text{momento}$$

d'inerzia sezione trave secondaria

$$W_{ts} = \frac{2J_{ts}}{h_{ts}} = 1.013 \cdot 10^6 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

$$q_{ts} = ps * A_{ts} = 0.76 \quad N / mm \quad \text{peso distribuito}$$

$$G_{ts} = M \cdot q_{ts} \cdot lt = 5.3115 \cdot 10^3 \quad N \quad \text{peso trave secondaria}$$

Sezione di mezzeria (con piastre di rinforzo)

$$s_p = 20 \quad mm \quad \text{spessore piastre di rinforzo}$$

$$A_{mts} = A_{ts} + 2 \cdot (h_{ts} - 2t_{ts})s_p = 1.949 \cdot 10^4 \quad mm^2 \quad \text{area sezione di mezzeria}$$

$$S_{mtsA}^* = 0 \quad mm^3 \quad \text{momento statico della sezione nel punto A calcolato rispetto all'asse Z'-Z'}$$

$$S_{mtsB}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{s_{ts}}{2} \right) = 4.76840 \cdot 10^5 \quad mm^3 \quad \text{momento statico della}$$

sezione nel punto B calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{mtsC}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{s_{ts}}{2} \right) = 4.76840 \cdot 10^5 \quad mm^3 \quad \text{momento statico della}$$

sezione nel punto C calcolato rispetto all'asse Z'-Z'

$$S_{mtsD}^* = b_{ts} \cdot t_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - \frac{2t_{ts}}{2} \right) + s_{ts} \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2t_{ts}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2t_{ts}}{4} \right) + 2 \cdot sp \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2 \cdot t_{ts}}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_{ts} - 2 \cdot t_{ts}}{4} \right) = 8.01296 \cdot 10^5$$

$$= 8.01296 \cdot 10^5 \quad mm^3 \quad \text{momento statico della sezione nel punto D calcolato rispetto all'asse Z'-Z'}$$

$$J_{mts} = J_{ts} + \frac{(h_{ts} - 2t_{ts})^3 s_p}{6} = 1.852 \cdot 10^8 \quad mm^4 \quad \text{momento d'inerzia sezione di}$$

mezzeria

$$W_{mts} = \frac{2J_{mts}}{h_{ts}} = 1.372 \cdot 10^6 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a}$$

flessione

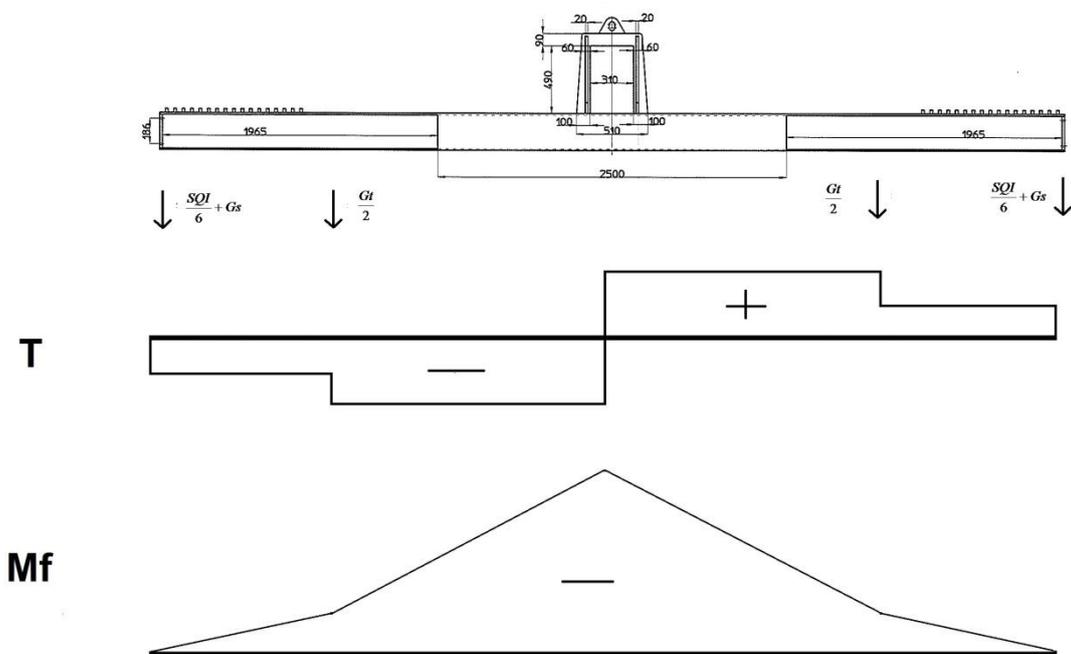
3.4.4.2 Carichi applicati

Il carico viene agganciato alla trave secondaria mediante staffe scorrevoli che presentano posizione registrabile; il carico viene collegato alle staffe mediante delle funi.

Con ipotesi in favore di sicurezza si suppone che ogni punto di attacco sopporti un sesto del carico e che, quindi, ogni trave secondaria sopporti un terzo del carico.

Dai diagrammi di Taglio e Momento flettente riportati di seguito è possibile definire le sezioni critiche della trave principale che sono:

- sezione di mezzeria
- sezione dove terminano le piastre di rinforzo



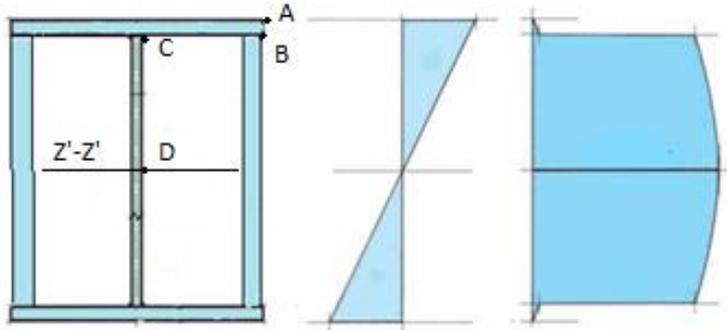
3.4.4.3 Verifica della sezione di mezzeria

La sezione di mezzeria è considerata critica in quanto vi è concentrato la somma dei carichi applicati alle staffe poste alle estremità oltre al peso della trave stessa e delle staffe. Le sollecitazioni dovute ai carichi sono sforzo di taglio e momento flettente.

$$T = \frac{SQI}{6} + \frac{Gts}{2} + G_s = 5.356 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

$$M_f = \frac{SQI}{6} \frac{lt}{2} + \frac{Gts}{2} \frac{lt}{4} + G_s \frac{lt}{2} = 1.649 \cdot 10^8 \quad Nmm \quad \text{momento flettente}$$

Nella sezione a doppio T, con piastre di rinforzo, la distribuzione delle tensioni è quella rappresentata in figura.



I punti più sollecitati della sezione della sezione risultano essere i punti A (dove si ha momento flettente massimo), B (dove è presente

momento flettente poco sotto il valore massimo e sforzo di taglio non trascurabile), C (dove sono presenti momento flettente e sforzo di taglio entrambi poco al disotto dei valori massimi) e D (dove si ha il massimo valore dello sforzo di taglio). Non essendo possibile a priori determinare quale di questi sia il punto maggiormente sollecitato della sezione, per ciascuno viene operata la verifica calcolando la tensione ideale e confrontandola con la tensione ammissibile.

Punto A

$$\tau_{tA} = \frac{T \cdot S_{mtsA}^*}{b_{ts} \cdot J_{mts}} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto A}$$

$$\sigma_{fA} = \frac{M_f}{J_{mts}} \cdot \frac{h_{ts}}{2} = 120.20 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto A}$$

La tensione ideale calcolata nel punto A della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idA} = \sqrt{(\sigma_{fA}^2 + 3 \cdot \tau_{tA}^2)} = 120.20 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto A in quanto:

$$\sigma_{idA} = 120.20 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto B

$$\tau_{tB} = \frac{T \cdot S_{mtsB}^*}{b_{ts} \cdot J_{mts}} = 0.49 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto B}$$

$$\sigma_{fB} = \frac{Mf}{J_{mts}} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - t_{ts} \right) = 108.63 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto B}$$

La tensione ideale calcolata nel punto B della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idB} = \sqrt{(\sigma_{fB}^2 + 3 \cdot \tau_{tB}^2)} = 108.64 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto B in quanto:

$$\sigma_{idB} = 108.64 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto C

$$\tau_{tC} = \frac{T \cdot S_{mtsC}^*}{s_{ts} \cdot J_{mts}} = 17.24 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto C}$$

$$\sigma_{fC} = \frac{Mf}{J_{mts}} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - t_{ts} \right) = 108.63 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto C}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idC} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 112.66 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idC} = 112.66 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto D

$$\tau_{tD} = \frac{T \cdot S_{mtsD}^*}{s_{ts} \cdot J_{mts}} = 28.97 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto D}$$

$$\sigma_{fD} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto D}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idD} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 28.97 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idD} = 28.97 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

3.4.4.4 Verifica della sezione senza le piastre di rinforzo

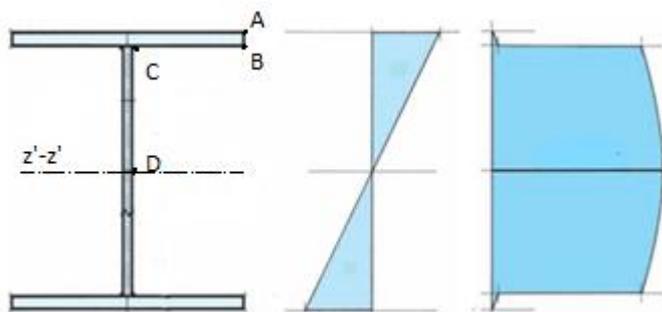
La sezione senza piastre di rinforzo è considerata critica in quanto si ha una diminuzione della sezione resistente. Le sollecitazioni dovute ai carichi sono sforzo di taglio e momento flettente.

$$T = \frac{SQI}{6} + \frac{Gts}{lt} \frac{(lt - a1)}{2} + G_s = 5.248 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

$$M_f = \frac{SQI}{6} \frac{(lt - a1)}{2} + \frac{Gts}{lt} \frac{(lt - a1)}{2} \frac{(lt - a1)}{4} + G_s \left(\frac{lt - a1}{2} \right) = 9.864 \cdot 10^7 \quad Nmm \quad \text{momento}$$

flettente

Nella sezione a doppio T la distribuzione delle tensioni è quella rappresentata in figura.



I punti più sollecitati della sezione della sezione risultano essere i punti A(dove si ha momento flettente massimo)B(dove è presente momento flettente poco sotto il valore massimo

e sforzo di taglio non trascurabile),C(dove sono presenti momento flettente e sforzo di taglio entrambi poco al disotto dei valori massimi) e D(dove si ha il massimo valore dello sforzo di taglio). Non essendo possibile a priori determinare quale di questi sia il punto maggiormente sollecitato della sezione, per ciascuno viene operata la verifica calcolando la tensione ideale e confrontandola con la tensione ammissibile.

Punto A

$$\tau_{tA} = \frac{T \cdot S_{tsA}^*}{b_{ts} \cdot J_{ts}} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto A}$$

$$\sigma_{fA} = \frac{Mf}{J_{ts}} \cdot \frac{h_{ts}}{2} = 97.19 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto A}$$

La tensione ideale calcolata nel punto A della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idA} = \sqrt{(\sigma_{fA}^2 + 3 \cdot \tau_{tA}^2)} = 97.19 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto A in quanto:

$$\sigma_{idA} = 97.19 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto B

$$\tau_{tB} = \frac{T \cdot S_{tsB}^*}{b_{ts} \cdot J_{ts}} = 0.65 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto B}$$

$$\sigma_{fB} = \frac{Mf}{J_{ts}} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - t_{ts} \right) = 87.84 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto B}$$

La tensione ideale calcolata nel punto B della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idB} = \sqrt{(\sigma_{fB}^2 + 3 \cdot \tau_{tB}^2)} = 87.85 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto B in quanto:

$$\sigma_{idB} = 87.85 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto C

$$\tau_{tC} = \frac{T \cdot S_{tsC}^*}{s_{ts} \cdot J_{ts}} = 22.88 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto C}$$

$$\sigma_{fC} = \frac{Mf}{J_{ts}} \cdot \left(\frac{h_{ts}}{2} - t_{ts} \right) = 87.84 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto C}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idC} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 96.97 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idC} = 96.37 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

Punto D

$$\tau_{tD} = \frac{T \cdot S_{tsD}^*}{S_{ts} \cdot J_{ts}} = 24.16 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio nel punto D}$$

$$\sigma_{fD} = 0 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione nel punto D}$$

La tensione ideale calcolata nel punto C della sezione risulta essere:

$$\sigma_{idD} = \sqrt{(\sigma_{fC}^2 + 3 \cdot \tau_{tC}^2)} = 24.16 \quad MPa \quad \text{tensione ideale}$$

La sezione risulta verificata nel punto C in quanto:

$$\sigma_{idD} = 24.16 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

3.4.4.5 Verifica a stabilità laterale (svergolamento)

In riferimento al paragrafo 7.3 dell'UNI 10011, si assume il seguente valore del momento equivalente

$$Meq = 0.75 \cdot Mf = 7.398 \cdot 10^7 \quad Nmm \quad \text{momento flettente equivalente}$$

Si procede poi con la verifica alla stabilità laterale come spigato nel paragrafo

3.3.1.1

$$\omega = \frac{fy}{0.585 \cdot E} \cdot \frac{h_{ts} \cdot lt}{b_{ts} \cdot t_{ts}} \cdot 1.4 = 1.543 \quad \text{coefficiente adimensionale}$$

$$\sigma = \omega \cdot \frac{Meq}{W_{ts}} = 112.68 \quad MPa \quad \text{massima tensione del lembo compresso}$$

Il profilo considerato risulta verificato rispetto alla stabilità laterale in quanto:

$$\sigma = 112.68 \quad MPa \quad < \quad \sigma_{amm} Fe430 = 190 \quad MPa$$

3.4.4.6 Verifica della stabilità dell'anima (imbozzamento)

La verifica della stabilità dell'anima viene fatta riferendosi al paragrafo 7.6.2 dell'UNI 10011, in cui viene richiesto di verificare la seguente relazione:

$$\sigma_{id} < \frac{\sigma_{cr,id}}{\beta \cdot \nu}$$

In questa verifica si omettono le tensioni di taglio perche trascurabili rispetto a quelle normali; l'anima quindi risulta sollecitata solamente a flessione. Per questo motivo, essendo le tensioni variabili linearmente, si può approssimare la tensione di critica ideale con il valore:

$$\sigma_{cr,id} = \sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_{cr0}$$

Dove

$k_{\sigma} = 23.9$ è il coefficiente di imbozzamento ricavato dal prospetto 7-VIII dell'UNI 10011

$$\sigma_{cr0} = 186200 \cdot \left(\frac{s_{ts}}{h_{ts}} \right)^2 = 163.46 \quad MPa \quad \text{è la tensione di riferimento}$$

Inoltre per valori di $\alpha = \frac{c1/2}{h_{tp}} = 7.35 > 1.5$ si considera $\beta = 1$, mentre il coefficiente

ν , per il metodo delle tensioni ammissibili, può essere approssimato ad un valore tra 1.25 e 1.5: con ipotesi in favore di sicurezza, si considera $\nu = 1.5$

La sigma critica ideale risulta dunque:

$$\sigma_{cr,id} = 3906.88 \quad MPa$$

L'anima del bilancino è verificata all'imbozzamento in quanto:

$$\sigma_{id} = 97.19 \quad MPa \quad < \quad \frac{\sigma_{cr,id}}{\beta \cdot \nu} = 2604.59 \quad MPa$$

3.4.4.7 Verifica delle staffe di collegamento della trave secondaria con la trave principale

3.4.4.7.1 Geometria della staffa

$$ss = 40 \quad mm \quad \text{spessore staffa}$$

$ll = 370$ mm lunghezza di lavoro della staffa

$es = 90$ mm altezza elemento superiore

$el = 60$ mm altezza elemento laterale

$W_{cs} = \frac{ss \cdot es^2}{6} = 5.4 \cdot 10^4$ mm^3 modulo di resistenza a flessione
contorno superiore

$A_{cs} = es \cdot ss = 3.6 \cdot 10^3$ mm^2 area sezione contorno superiore

$A_{cl} = el \cdot ss = 2.4 \cdot 10^3$ mm^2 area sezione contorno laterale

$ls = 100$ mm lunghezza saldatura

$As = 2ls \frac{s}{\sqrt{2}} = 1.697 \cdot 10^3$ mm^2 area sezione saldatura

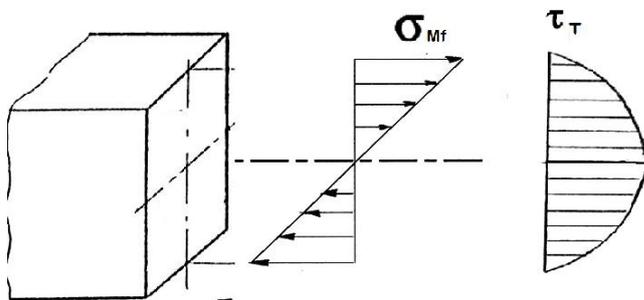
3.4.4.7.2 Verifica del contorno superiore

Il contorno superiore della staffa è sollecitato sia a flessione che a taglio. Con ipotesi in favore di sicurezza si considera l'elemento come una trave (di piccole dimensioni) su due appoggi sollecitato da un carico uniformemente distribuito.

$T = \frac{SQI}{6} + \frac{Gts}{2} + Gs = 5.356 \cdot 10^4$ N sforzo di taglio

$Mf = \left(\frac{SQI}{3} + Gts + 2 \cdot Gs \right) \cdot \frac{ll}{8} = 4.955 \cdot 10^6$ Nmm momento flettente

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Con ipotesi in favore di sicurezza si sceglie di verificare i due punti più sollecitati della sezione: quello centrale, in cui si ha taglio massimo, e quello

all'estremità della sezione, dove si ha momento flettente massimo.

$\sigma_f = \frac{Mf}{W_{cs}} = 91.75$ MPa tensione di flessione

$$\tau_t = \frac{3}{2} \frac{T}{A_{cs}} = 22.32 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio media}$$

Il contorno superiore risulta verificato in quanto:

$$\sigma_f = 91.75 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

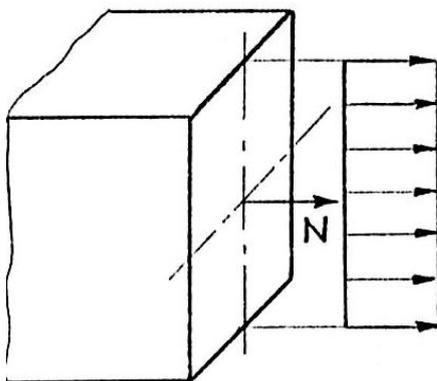
$$\tau_t = 22.32 \quad MPa < \frac{\sigma_{amm} Fe510}{\sqrt{3}} = 138.56 \quad MPa$$

3.4.4.7.3 Verifica del contorno laterale

Il contorno laterale della staffa è sollecitato a sforzo normale ed in particolare a trazione. Con ipotesi in favore di sicurezza non si considera l'apporto delle nervature.

$$N = \frac{SQI}{6} + \frac{Gts}{2} + Gs = 5.356 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo normale}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Essendo le tensioni generate dallo sforzo normale distribuite uniformemente sulla sezione, non si hanno punti critici particolari; la verifica viene perciò fatta rispetto ad un punto qualsiasi della sezione.

$$\sigma_n = \frac{N}{A_{cl}} = 22.32 \quad MPa \quad \text{tensione normale}$$

Il contorno laterale risulta verificato in quanto:

$$\sigma_n = 22.32 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

3.4.4.7.4 Verifica saldature staffa-traversa

Il cordone di saldatura è situato lungo i due lati della staffa ed è sollecitato a sforzo normale ed in particolare a trazione.

Con ipotesi in favore di sicurezza, non si considera l'apporto delle nervature.

$$N = \frac{SQI}{6} + \frac{Gts}{2} + Gs = 5.356 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

La tensione dovuta allo sforzo normale è calcolabile come:

$$\sigma_n = \frac{N}{A_{cl}} = 31.56 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio}$$

Le saldature risultano verificate in quanto:

$$\sigma_n = 31.56 \quad MPa < 0.85 \cdot \sigma_{amm} Fe430 = 161.5 \quad MPa$$

3.4.5 Verifica della staffa per l'attacco del gancio

3.4.5.1 Geometria della staffa

Questo elemento è composto da:

-numero 2 piastre in acciaio Fe 510, forate e saldate alla trave principale

I fori realizzati sulla piastra servono ad inserire i perni su cui farà leva il gancio per il sollevamento dell'intera struttura. Il gancio scelto per il sollevamento è un gancio a doppia ancora tipo GD 400 da catalogo italmet con carico massimo pari a 40 tonnellate.(UNI 9465-DIN 15400)

$re = 175 \quad mm$ raggio esterno

$ri = 75 \quad mm$ raggio interno

$sst = 40 \quad mm$ spessore singola piastra

$d = 180 \quad mm$ distanza tra le due piastre

$ls = 1200 \quad mm$ lunghezza saldatura

$$As = 2ls \frac{s}{\sqrt{2}} = 2.036 \cdot 10^4 \quad mm^2 \quad \text{area sezione saldatura}$$

3.4.5.2 Carichi applicati

Da progetto, la staffa di attacco del gancio è costituita da due piastre forate ciascuna sostenente metà del carico totale. La verifica della singola piastra viene dunque effettuata per metà del carico totale.

$$Ss = SQI + Gtp + 2Gts + 2Gs = 3.264 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{carico totale sulla staffa}$$

$$\frac{S_s}{2} = 1.632 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{carico sulla singola piastra}$$

3.4.5.3 Verifica della singola piastra come cerniera

$$ap = re - ri = 100 \quad mm \quad \text{larghezza minima staffa attacco gancio}$$

$$cp = re - ri = 100 \quad mm \quad \text{spessore minimo cerniera}$$

La verifica dell'elemento come cerniera viene fatta riferendosi al paragrafo 5.6.3 dell'UNI 10011, in cui si richiede di verificare/rispettare le seguenti relazioni:

L'uso della sola metà del carico gravante sulla staffa è dovuto al fatto che, da progetto, sono presenti due staffe uguali, disposte parallelamente, tra le quali si inserisce il perno, tuttavia in questo paragrafo si sta verificando la singola staffa e non l'insieme delle due.

$$1) \frac{1.4 \cdot \frac{S_s}{2}}{2 \cdot ap \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

$$2) \frac{\frac{S_s}{2}}{cp \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

Come richiesto nel paragrafo si suppone che:

- la lunghezza del perno sia tale da offrire completo appoggio a tutte le parti collegate;

- i perni vengano mantenuti in modo opportuno nella posizione prevista;

L'attacco è verificato come cerniera in quanto:

$$1) \frac{1.4 \cdot \frac{S_s}{2}}{2 \cdot ap \cdot sst} = 28.56 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

$$2) \frac{\frac{S_s}{2}}{cp \cdot sst} = 40.8 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

3.4.5.4 Verifica della saldatura staffa-traversa

Il cordone di saldatura è situato lungo i due lati della staffa. La verifica della saldatura viene fatta in riferimento al paragrafo 5.1 dell'UNI 10011; con ipotesi in favore di sicurezza, non si considera l'apporto delle nervature e si considera

la sezione della saldatura triangolare.

Le saldature della staffa sono sollecitate a sforzo normale ed in particolare a trazione.

$$N = \frac{Ss}{2} = 1.632 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

Le sollecitazioni agenti sulla saldatura sono calcolabili come:

$$\sigma_n = \frac{N}{A_s} = 8.01 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio media parallela}$$

Le saldature risultano verificate in quanto:

$$\sigma_n = 8.01 \quad MPa < 0.85 \cdot \sigma_{amm} Fe430 = 161.5 \quad MPa$$

3.4.6 Verifica dei perni per l'attacco del gancio

3.4.6.1 Geometria dei perni

Questo elemento è composto da:

-cilindro in acciaio C40 (in riferimento all'UNI7070)

$$\phi p = 150 \quad mm \quad \text{diametro perno}$$

$$l p = 220 \quad mm \quad \text{lunghezza di lavoro del perno}$$

$$A_p = \pi \frac{\phi p^2}{4} = 1.767 \cdot 10^4 \quad mm^2 \quad \text{area di base del perno}$$

$$W_p = \pi \frac{\phi p^3}{32} = 3.313 \cdot 10^5 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

La tensione ammissibile per il C40 è ricavabile dividendo il suo carico di rottura (pari a 540 N/mm^2) per il coefficiente di sicurezza adottato (per questi elementi si utilizza un coefficiente di sicurezza 2). Si ottiene dunque:

$$\sigma_{amm} C40 = 270 \quad MPa$$

3.4.6.2 Carichi applicati

Da progetto i perni inseriti nella staffa di attacco per il gancio a doppia ancora sono due, ciascuno sostenente metà del carico applicato. La verifica del singolo perno verrà perciò fatta considerando un carico agente su ciascun perno pari alla metà del carico totale.

$$Ss = SQI + Gtp + 2Gts + 2Gs = 3.264 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{carico totale su}$$

entrambi i perni

$$\frac{S_s}{2} = 1.632 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{carico su singolo perno}$$

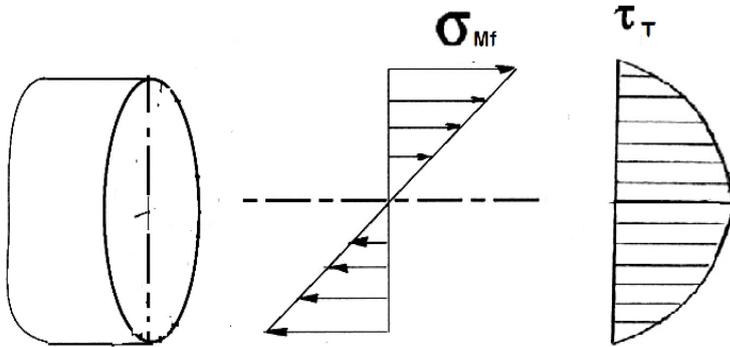
3.4.6.3 Verifica del singolo perno

Le sollecitazioni dovute ai carichi sono sforzo di taglio e momento flettente

$$M_f = \frac{S_s l_p}{2} = 1.795 \cdot 10^7 \quad Nmm \quad \text{momento flettente}$$

$$T = \frac{S_s}{2} = 1.632 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione circolare, è quella rappresentata in figura:



Con ipotesi in favore di sicurezza si sceglie di verificare i due punti più sollecitati della sezione: quello centrale, in cui si ha taglio massimo, e quello all'estremità della

sezione, dove si ha momento flettente massimo.

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_p} = 54.18 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione}$$

$$\tau_t = \frac{4 T}{3 A_p} = 12.31 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio media}$$

Il perno risulta verificato in quanto:

$$\sigma_f = 54.18 \quad MPa < \sigma_{amm} C40 = 270 \quad MPa$$

$$\tau_t = 12.31 \quad MPa < \frac{\sigma_{amm} C40}{\sqrt{3}} = 155.884 \quad MPa$$

3.4.7 Verifica delle staffe scorrevoli della trave principale

3.4.7.1 Geometria delle staffe

Questo elemento è composto da:

-staffa di acciaio Fe 510 inserita sulla trave principale o sulle secondarie ed utilizzata per il collegamento dei componenti di attacco del carico (grilli, funi e golfari);

$ss = 20$	mm	spessore staffa
$ls = 370$	mm	lunghezza di lavoro
$es = 80$	mm	altezza elemento superiore
$el = 64$	mm	altezza elemento laterale
$ei = 105$	mm	altezza elemento inferiore
$cp = 30$	mm	altezza minima cerniera
$ap = 150$	mm	larghezza minima semiparte cerniera
$\phi_f = 20$	mm	diametro foro

$$W_{cs} = \frac{ss \cdot es^2}{6} = 2.133 \cdot 10^4 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

contorno superiore

$$A_{cs} = es \cdot ss = 1.6 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno superiore}$$

$$A_{cl} = el \cdot ss = 1.28 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno laterale}$$

$$W_{ci} = \frac{ss \cdot (ei^3 - \phi_f^3)}{6 \cdot ei} = 3.65 \cdot 10^4 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

contorno inferiore

$$A_{ci} = ss \cdot (ei - \phi_f) = 1.7 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno inferiore}$$

3.4.7.2 Carichi applicati

Inizialmente si era deciso di dimensionare le staffe per sostenere un terzo del carico, in modo tale da poterle realizzare in serie con le staffe per il collegamento delle travi secondarie con la principale. Dimensionando la staffa

in questo modo, sarebbe stato necessario utilizzare dei grilli di giunzione di dimensione maggiore, in modo tale che la lunghezza del perno del grillo fosse maggiore dello spessore della staffa; tuttavia cercando da catalogo il grillo desiderato si rischiava di dover scegliere un elemento troppo sovradimensionato rispetto a quanto richiesto, ritrovandosi quindi con una lunghezza del perno troppo elevata. Così facendo, quest'ultimo, sarebbe fortemente sollecitato a flessione, rendendo inadeguate le condizioni di lavoro dell'elemento. Per evitare tali problemi si sceglie quindi di progettare le staffe per sostenere un sesto del carico.

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{carico su una staffa}$$

3.4.7.3 Verifica del contorno superiore

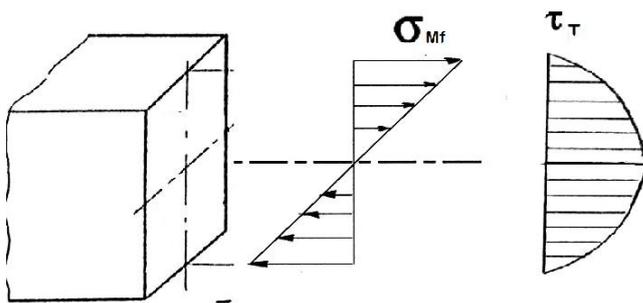
Il contorno superiore della staffa è sollecitato sia a flessione che a taglio.

Con ipotesi in favore di sicurezza si considera il carico sul contorno superiore distribuito uniformemente

$$T = \frac{R}{2} = 2.532 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sfuerzo di taglio}$$

$$M_f = \frac{R \cdot l_s}{2 \cdot 4} = 2.342 \cdot 10^5 \quad Nmm \quad \text{momento flettente}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Con ipotesi in favore di sicurezza si sceglie di verificare i due punti più sollecitati della sezione: quello centrale, in cui si ha taglio massimo, e quello

all'estremità della sezione, dove si ha momento flettente massimo.

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_{cs}} = 109.78 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione}$$

$$\tau_t = \frac{3}{2} \frac{T}{A_{cs}} = 23.74 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio media}$$

Il contorno superiore risulta verificato in quanto:

$$\sigma_f = 109.78 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

$$\tau_t = 23.74 \quad MPa < \frac{\sigma_{amm} Fe510}{\sqrt{3}} = 138.56 \quad MPa$$

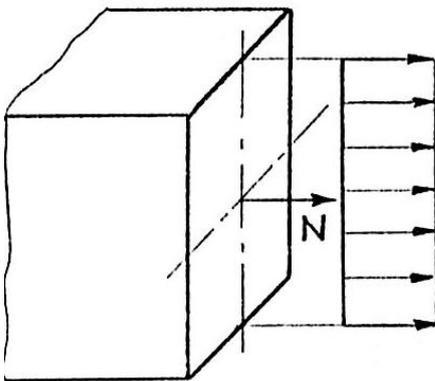
3.4.7.4 Verifica del contorno laterale

IL contorno laterale della staffa è sollecitato solamente a sforzo normale ed in particolare a trazione.

Con ipotesi in favore di sicurezza, non si considera l'apporto delle nervature.

$$N = \frac{R}{2} = 2.532 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo normale}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Essendo le tensioni generate dallo sforzo normale distribuite uniformemente sulla sezione, non si hanno punti critici particolari; la verifica viene perciò fatta rispetto ad un punto qualsiasi della sezione.

$$\sigma_n = \frac{N}{A_{cl}} = 19.78 \quad MPa \quad \text{tensione normale}$$

Il contorno laterale risulta verificato in quanto:

$$\sigma_n = 19.78 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 24 \quad MPa$$

3.4.7.5 Verifica del contorno inferiore come cerniera

Per la presenza sulla staffa, del foro in cui viene inserito il perno per il collegamento del grillo, si ritiene opportuno verificare l'elemento anche come cerniera; tale verifica viene fatta riferendosi al paragrafo 5.6.3 dell'UNI 10011, in cui l'elemento si ritiene verificato se vengono rispettate le seguenti relazioni:

$$1) \frac{1.4 \cdot R}{2 \cdot ap \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

$$2) \frac{R}{cp \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

Come richiesto nel paragrafo si suppone che:

- la lunghezza del perno sia tale da offrire completo appoggio a tutte le parti collegate;
- i perni vengano mantenuti in modo opportuno nella posizione prevista;

L'attacco è verificato come cerniera in quanto:

$$\frac{1.4 \cdot R}{2 \cdot ap \cdot sst} = 11.81 \text{ MPa} < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \text{ MPa}$$

$$\frac{R}{cp \cdot sst} = 84.39 \text{ MPa} < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \text{ MPa}$$

3.4.8 Verifica delle staffe scorrevoli della trave secondaria

3.4.8.1 Geometria delle staffe

Questo elemento è composto da:

- staffa di acciaio Fe 510 inserita sulla trave principale o sulle secondarie ed utilizzata per il collegamento dei componenti di attacco del carico (grilli, funi e golfari);

$ss = 20$	mm	spessore staffa
$ls = 355$	mm	lunghezza di lavoro
$es = 80$	mm	altezza elemento superiore
$el = 64$	mm	altezza elemento laterale
$cp = 30$	mm	spessore minimo cerniera
$ap = 150$	mm	larghezza minima cerniera
$\phi_f = 20$	mm	diametro foro

$$W_{cs} = \frac{ss \cdot es^2}{6} = 2.133 \cdot 10^4 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

contorno superiore

$$A_{cs} = es \cdot ss = 1.6 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno superiore}$$

$$A_{cl} = el \cdot ss = 1.28 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno laterale}$$

$$W_{ci} = \frac{ss \cdot (ei^3 - \phi_f^3)}{6 \cdot ei} = 3.65 \cdot 10^4 \quad mm^3 \quad \text{modulo di resistenza a flessione}$$

contorno inferiore

$$A_{ci} = ss \cdot (ei - \phi_f) = 1.7 \cdot 10^3 \quad mm^2 \quad \text{area sezione contorno inferiore}$$

3.4.8.2 Carichi applicati

Inizialmente si era deciso di dimensionare le staffe per sostenere un terzo del carico, in modo tale da poterle realizzare in serie con le staffe per il collegamento delle travi secondarie con la principale. Dimensionando la staffa in questo modo, sarebbe stato necessario utilizzare dei grilli di giunzione di dimensione maggiore, in modo tale che la lunghezza del perno del grillo fosse maggiore dello spessore della staffa; tuttavia cercando da catalogo il grillo desiderato si rischiava di dover scegliere un elemento troppo sovradimensionato rispetto a quanto richiesto, ritrovandosi quindi con una lunghezza del perno troppo elevata. Così facendo, quest'ultimo, sarebbe fortemente sollecitato a flessione, rendendo inadeguate le condizioni di lavoro dell'elemento. Per evitare tali problemi si sceglie quindi di progettare le staffe per sostenere un sesto del carico.

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{carico su una staffa}$$

3.4.8.3 Verifica del contorno superiore

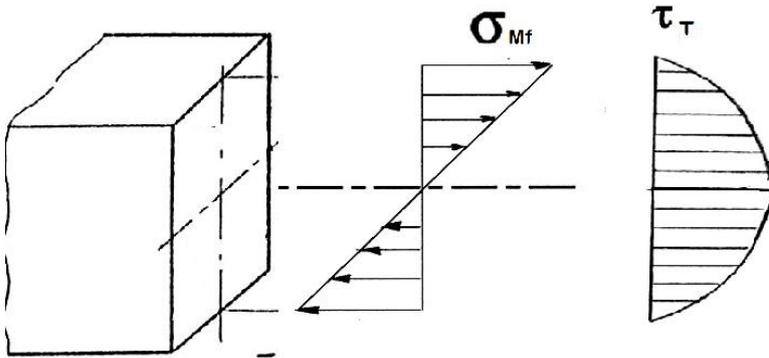
Il contorno superiore della staffa è sollecitato sia a flessione che a taglio.

Con ipotesi in favore di sicurezza si considera il carico sul contorno superiore distribuito uniformemente

$$T = \frac{R}{2} = 2.532 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo di taglio}$$

$$M_f = \frac{R \cdot l_s}{2 \cdot 4} = 2.247 \cdot 10^6 \quad Nmm \quad \text{momento flettente}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Con ipotesi in favore di sicurezza si sceglie di verificare i due punti più sollecitati della sezione: quello centrale, in cui si ha

taglio massimo, e quello all'estremità della sezione, dove si ha momento flettente massimo.

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_{cs}} = 105.32 \quad MPa \quad \text{tensione di flessione}$$

$$\tau_t = \frac{3}{2} \frac{T}{A_{cs}} = 23.74 \quad MPa \quad \text{tensione di taglio media}$$

Il contorno superiore risulta verificato in quanto:

$$\sigma_f = 105.32 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

$$\tau_t = 23.74 \quad MPa < \frac{\sigma_{amm} Fe510}{\sqrt{3}} = 138.56 \quad MPa$$

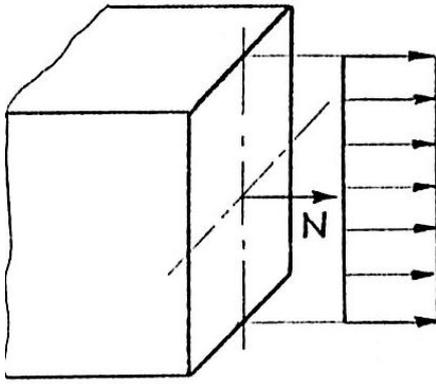
3.4.8.4 Verifica del contorno laterale

IL contorno laterale della staffa è sollecitato solamente a sforzo normale ed in particolare a trazione.

Con ipotesi in favore di sicurezza, non si considera l'apporto delle nervature.

$$N = \frac{R}{2} = 2.532 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{sforzo normale}$$

La distribuzione delle tensioni, nella sezione rettangolare, è quella rappresentata in figura:



Essendo le tensioni generate dallo sforzo normale distribuite uniformemente sulla sezione, non si hanno punti critici particolari; la verifica viene perciò fatta rispetto ad un punto qualsiasi della sezione.

$$\sigma_n = \sigma_n = \frac{N}{A_{cl}} = 19.78 \quad MPa$$

tensione normale

Il contorno laterale risulta verificato in quanto:

$$\sigma_n = 19.78 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 24 \quad MPa$$

3.4.8.5 Verifica del contorno inferiore come cerniera

Per la presenza sulla staffa, del foro in cui viene inserito il perno per il collegamento del grillo, si ritiene opportuno verificare l'elemento anche come cerniera; tale verifica viene fatta riferendosi al paragrafo 5.6.3 dell'UNI 10011, in cui l'elemento si ritiene verificato se vengono rispettate le seguenti relazioni:

$$1) \frac{1.4 \cdot R}{2 \cdot ap \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

$$2) \frac{R}{cp \cdot sst} < \sigma_{amm} Fe510$$

Come richiesto nel paragrafo si suppone che:

- la lunghezza del perno sia tale da offrire completo appoggio a tutte le parti collegate;
- i perni vengano mantenuti in modo opportuno nella posizione prevista;

L'attacco è verificato come cerniera in quanto:

$$\frac{1.4 \cdot R}{2 \cdot ap \cdot sst} = 11.81 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

$$\frac{R}{cp \cdot sst} = 84.39 \quad MPa < \sigma_{amm} Fe510 = 240 \quad MPa$$

3.4.9 Verifica della componentistica di attacco del

carico

3.4.9.1 Carichi applicati

Con ipotesi in favore di sicurezza si suppone che ogni singolo “ramo” di attacco del carico, sopporti un sesto del carico

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{carico su ciascun componente}$$

3.4.9.2 Verifica dei grilli di giunzione

Questi elementi di giunzione permettono di collegare le funi alle staffe poste alle estremità della struttura. Da catalogo FAS viene scelto un grillo U13 con portata 5.3 tonnellate.

$$S_{gramm} = 5.3 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{portata ammissibile del grillo}$$

I grilli sono verificati in quanto:

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N \quad < \quad S_{gramm} = 5.3 \cdot 10^4 \quad N$$

3.4.9.3 Verifica delle funi

Questi elementi di giunzione collegano i grilli, collegati alle staffe, con i tenditori, collegati ai golfari. Da catalogo FAS viene scelta una fune AZN 637 zincata composta da 222 fili più anima tessile con diametro $\phi = 22\text{mm}$. Per tale fune il carico di rottura è di 28.360 tonnellate; per determinare la portata ammissibile è necessario dividere il carico di rottura per il coefficiente di sicurezza che per le funi è fissato a 5 dalla direttiva macchine paragrafo 4.1.2.4. La portata ammissibile della fune designata risulta pertanto essere di 5.672 tonnellate.

$$S_{famm} = 5.672 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{portata ammissibile della fune}$$

Le funi sono verificate in quanto:

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N \quad < \quad S_{famm} = 5.672 \cdot 10^4 \quad N$$

3.4.9.4 Verifica dei tenditori

Questi elementi di giunzione collegano le funi con i golfari e permettono di ottenere lunghezze delle funi uguali su ogni ramo. Da catalogo FAS si sceglie un tenditore zincato tipo M30 occhio-occhio con portata 5.1 tonnellate

$$Stamm = 5.1 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{portata ammissibile del tenditore}$$

I tenditori sono verificati in quanto:

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N < Stamm = 5.1 \cdot 10^4 \quad N$$

3.4.9.5 Verifica dei golfari

Questi elementi di giunzione collegano i tenditori con il serbatoio da sollevare. La filettatura alle estremità di questi elementi permette di avvitarli nei fori presenti sul rinforzo del serbatoio, saldato allo stesso sia nella parte superiore che nella parte inferiore. Da catalogo SAF si sceglie un golfare TAWGK 8 tipo M30 con portata 8 tonnellate

$$Sgoamm = 8 \cdot 10^4 \quad N \quad \text{portata ammissibile della fune}$$

I golfari sono verificati in quanto:

$$R = \frac{SQI}{6} = 5.063 \cdot 10^4 \quad N < Sgoamm = 8 \cdot 10^4 \quad N$$

3.4.10 Verifica della deformazione

La verifica alla deformazione viene effettuata, con ipotesi in favore di sicurezza, considerando tutto il carico applicato alle traverse di estremità.

Lo schema di carico a cui si fa riferimento per il calcolo della freccia in mezzzeria è quello di una trave su due appoggi caricata in mezzzeria, per la quale si ha un abbassamento pari a :

$$Y = \frac{Sp \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$$

La deformazione viene calcolata considerando tutto il carico applicato alle estremità.

Il carico da sollevare viene moltiplicato per il coefficiente dinamico

$$Sp = 1.1 \cdot SQ = 2.53 \cdot 10^5 \quad N \quad \text{carico di prova}$$

La freccia totale in mezzzeria è data da:

$$f = \frac{Sp \cdot l^3}{48 \cdot 21000 \cdot J_{mp}} + \frac{\frac{Sp}{2} \cdot l^3}{48 \cdot 21000 \cdot J_{mts}} = 34.598 \quad mm$$

CONCLUSIONI

In riferimento alle normative UNI 10011 e UNI 13155, il dimensionamento del bilancino di sollevamento è stato effettuato in modo da ottenere, su ciascun elemento della struttura, un coefficiente di sicurezza minimo pari a due.

Gli elementi critici nel dimensionamento della struttura sono stati la trave principale, le travi secondarie ed i perni di attacco del gancio, in quanto da questi dipende la stabilità dell'intera struttura.

La scelta della trave principale, sia in termini di dimensioni che di forma della sezione, è stata fatta considerando le sollecitazioni a cui era sottoposta. Il peso del serbatoio (circa 23 tonnellate) insieme al peso delle travi secondarie e della componentistica di attacco carico, hanno richiesto l'impiego di una trave HEA 450, capace di sostenere le sollecitazioni di taglio e momento flettente generate. Inoltre, per incrementare ulteriormente la resistenza a flessione della trave e per evitare problemi di instabilità della stessa, sono state collocate due piastre di rinforzo nella parte centrale per una lunghezza di 2500 mm.

La verifica della struttura per le sollecitazioni di taglio e momento flettente, fatta sia nella sezione di mezzeria che nella sezione senza le piastre di rinforzo, ha permesso di determinare il punto maggiormente sollecitato, che è risultato essere il punto all'estremità della sezione in mezzeria.. Confrontando la tensione ideale del punto con la tensione di rottura dell'Fe430 (materiale di cui è composta la trave) è stato possibile determinare il coefficiente di sicurezza sulla trave principale pari a :

$$CS = \frac{\sigma_{rFe430}}{\sigma_{id}} = 4.2$$

Data la particolare forma della sezione, sulla trave sono state effettuate anche verifiche per l'instabilità laterale e per l'imbozzamento, ottenendo coefficienti di sicurezza pari a:

$$CS = \frac{\sigma_{rFe430}}{\sigma_{id}} = 5.3 \quad \text{per l'instabilità laterale,}$$

$$CS = \frac{\sigma_{cr,id} / \beta \cdot \nu}{\sigma_{id}} = 5.6 \quad \text{per l'imbozzamento.}$$

Analoghe considerazioni sono state fatte per la scelta delle travi secondarie le

quali, tuttavia, sono state scelte di dimensioni minori sia per la minore lunghezza, sia per la minore porzione di carico da sostenere. Dovendo sostenere “solamente” un terzo del carico, per la trave secondaria è stata scelta un profilo HEA 280 a cui sono state applicate due piastre di rinforzo centrali, analoghe a quelle della trave principale, in modo da aumentarne la resistenza a flessione ed a fenomeni di instabilità.

Anche per queste travi la verifica della struttura per le sollecitazioni di taglio e momento flettente, fatta sia nella sezione di mezzeria che nella sezione senza le piastre di rinforzo, ha permesso di determinare il punto maggiormente sollecitato, che è risultato essere il punto all'estremità della sezione della trave in mezzeria. Confrontando la tensione ideale del punto con la tensione di rottura dell'Fe430 (materiale di cui è composta la trave) è stato possibile determinare il coefficiente di sicurezza sulla trave secondaria pari a :

$$CS = \frac{\sigma_{rFe430}}{\sigma_{id}} = 3.6$$

Data la particolare forma della sezione, sulla trave sono state effettuate anche verifiche per l'instabilità laterale e per l'imbozzamento, ottenendo coefficienti di sicurezza pari a:

$$CS = \frac{\sigma_{rFe430}}{\sigma_{id}} = 3.8 \quad \text{per l'instabilità laterale,}$$

$$CS = \frac{\sigma_{cr,id} / \beta \cdot \nu}{\sigma_{id}} = 4.4 \quad \text{per l'imbozzamento.}$$

Infine i perni, utilizzati nella staffa di attacco del gancio, sono stati scelti in acciaio C40 , materiale che presenta una tensione di rottura maggiore di quelle di Fe430 e Fe510, in modo da poterne contenere le dimensioni e da renderli compatibili con il gancio ipotizzato.

La verifica del singolo perno per le sollecitazioni di taglio e momento flettente, ha permesso di determinare il punto maggiormente sollecitato, che è risultato essere il punto all'estremità della sezione del perno. Confrontando la tensione ideale del punto con la tensione di rottura del C40 è stato possibile determinare il coefficiente di sicurezza sul perno pari a :

$$CS = \frac{\sigma_{rC40}}{\sigma_{id}} = 9.8$$

Gli altri elementi della struttura, la cui progettazione è risultata meno difficoltosa rispetto a quella degli elementi sopracitati, risultano tutti verificati e con coefficienti di sicurezza maggiori di due.

Dai risultati riportati in precedenza è possibile constatare la compatibilità della struttura progettata con le normative di riferimento. Il bilancino inoltre è stato moderatamente sovradimensionato per poter lavorare anche con carichi leggermente più pesanti rispetto a quelli del caso analizzato. Può capitare infatti che, durante la dismissione, all'interno degli elementi da bonificare siano presenti residui di materiale e/o parti strutturali di cui non è possibile verificare la presenza a priori. Sovradimensionando moderatamente il Bilancino è quindi possibile far fronte a questi inconvenienti senza dover ricorrere ad altre soluzioni.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine, anche se a me spetta la responsabilità per ogni errore contenuto in questa tesi.

Ringrazio anzitutto il professor Giorgio Olmi, Relatore, e L'ingegner Antonio Vincenzi, Co-relatore: senza il loro supporto e la loro guida sapiente questa tesi non esisterebbe.

Proseguo con l'ingegner Andrea Michelotti che mi ha reso partecipe delle attività dell'azienda, e con tutto il personale di Petroltecnica, per la serietà e la disponibilità.

Un ulteriore ringraziamento va ai mie genitori per il sostegno incondizionato e a tutta la mia famiglia per gli incoraggiamenti.

Un ringraziamento particolare, infine, va alla mia fidanzata Flavia per il sostegno morale e a Davide, per il tempo speso ad aiutarmi e a discutere con me le bozze del lavoro.

Dedico questo lavoro ai miei nonni, esempio dei risultati ottenuti con il duro lavoro

BIBLIOGRAFIA

- D. Croccolo - R. Cuppini Lezioni di fondamenti e Tecnica della progettazione meccanica Progetto Leonardo, Esculapio Bologna;
- D. Croccolo - R. Cuppini Esercizi di tecnica delle costruzioni meccaniche e costruzione di macchine Pitagora Editrice Bologna;
- G. Manfè - R. Pozza- G. Scarato Disegno meccanico Vol1,2,3. Principato Editore
- V. Dal Re Dispense del corso di Comportamento meccanico dei materiali
- A. Fortunato – A. Ascari Tecnologie di giunzione mediante saldatura, Volume 1 Progetto Leonardo Bologna
- Arturo Mancini Prontuario: dimensioni e pesi teorici
- Normativa UNI 10011/88
- Normativa UNI 10021/85
- Normativa UNI 13155