


AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Area navigazione, idrovie e porti



Progettazione esecutiva e coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione
 per la sostituzione del meccanismo a fune di chiusura delle porte di valle
 della conca di navigazione di Cremona con nuovo meccanismo oleodinamico

PROGETTO ESECUTIVO

ALL. B.1 - RELAZIONE TECNICA STRUTTURE DI SOSTEGNO CILINDRI OLEODINAMICI

SCALA	CODICE	DATA	REV.
COMMITTENTE:  AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO Area navigazione, idrovie e porti Argine Cisa, 11 42022 Boretto (RE) R.U.P. Ing. Ettore Alberani		PROGETTAZIONE: Dott. Ing. Giannarturo Comola	

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1. CRITERI DI SICUREZZA.....	3
1.1.1. Prova eseguita su porta di valle paratoia inferiore come da voi indicato.....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.1. NORME PER LE STRUTTURE IN ACCIAIO	6
2.2. NORME PER GLI IMPIANTI OLEODINAMICI	6
3. DISEGNI DI RIFERIMENTO.....	7
4. MATERIALI, DATI TECNICI	7
5. CALCOLO DEI CARICHI DI APERTURA E CHIUSURA DELLE PARATOIE	8
5.1. PARATOIA DI VALLE ELEMENTO INFERIORE	8
5.1.1. Criteri di sicurezza.....	11
5.1.2. Caratteristiche del cilindro.....	11
5.2. PARATOIA DI VALLE ELEMENTO SUPERIORE	12
5.2.1. Criteri di sicurezza.....	14
5.2.2. Caratteristiche del cilindro.....	14
5.3. NUMERO DI CICLI.....	15
5.3.1. Strutture in carpenteria saldata.....	15
5.3.2. Perni e meccanismi.....	16
6. VERIFICA DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO DEI CILINDRI	16
6.1. PARATOIA DI MONTE	16
6.1.1. Verifica dei telai dei cilindri	16
6.1.2. Verifica dei supporti	18
6.1.3. Verifica perni $\phi 80/100$	18
6.1.4. Verifica zona appoggio supporti.....	22
6.1.5. Verifica dei telai dei contrappesi	23
6.1.6. Verifica dei tiranti dei contrappesi	24
6.2. PARATOIA DI VALLE - ELEMENTO INFERIORE.....	26
6.2.1. Verifica dei telai dei cilindri	26
6.2.2. Verifica dei supporti	28
6.2.3. Verifica perni $\phi 120/140$	28

6.2.4.	<i>Verifica zona appoggio supporti</i>	32
6.2.5.	<i>Verifica dei telai dei contrappesi</i>	33
6.2.6.	<i>Verifica dei tiranti dei contrappesi</i>	34
6.3.	PARATOIA DI VALLE – ELEMENTO SUPERIORE	36
6.3.1.	<i>Verifica dei telai dei cilindri</i>	36
6.3.2.	<i>Verifica dei supporti</i>	38
6.3.3.	<i>Verifica perni $\phi 120/130$</i>	38
6.3.4.	<i>Verifica zona appoggio supporti</i>	42
6.3.5.	<i>Verifica dei telai dei contrappesi</i>	43
6.3.6.	<i>Verifica dei tiranti dei contrappesi</i>	45
7.	CONCLUSIONI	47

1. PREMESSA

Il presente documento descrive il progetto della nuova meccanica di movimentazione delle paratoie del portale di valle della Conca.

In questa relazione tecnica vengono approfondite le verifiche dei dimensionamenti, analizzate le scelte progettuali e definiti i componenti di completamento.

1.1. CRITERI DI SICUREZZA

La porta non deve poter precipitare in nessuna situazione, né in fase di movimentazione né di completa apertura, per la porta di valle.

I criteri adottati sono sia preventivi che attivi, nel senso che si è provveduto a dimensionare generosamente l'impianto e si sono inseriti elementi che intervengono direttamente in caso di guasto.

Le sollecitazioni, in particolare quelle conseguenti agli attriti, sono state determinate valutando le situazioni peggiori concomitanti e utilizzando i coefficienti più penalizzanti.

Le sollecitazioni ricavate sono state per sicurezza aumentate del 25%.

La pressione di esercizio massima dell'impianto oleodinamico, valutata con le sollecitazioni determinate come sopra illustrato, è attorno ai 100 bar e la pressione di progetto è di 150 bar mentre la pressione di prova è di 225 bar.

Tutte le tubazioni dell'impianto oleodinamico sono rigide, in acciaio inossidabile, con flangie a saldatura SAE 3.000 psi.

Lo stato della pressione dell'impianto viene costantemente verificato mediante apparecchiature impostabili, con l'avvio immediato delle procedure di sicurezza in caso di superamento delle soglie di allarme.

Come elemento di protezione attivo, direttamente in ogni pistone, è inserita una valvola di blocco istantaneo che, in caso di mancanza di pressione nel sistema, arresta immediatamente la discesa in qualsiasi punto della corsa.

Al fine di verificare i calcoli preliminari, sulla chiusura della paratoia di valle – elemento inferiore – con by-pass aperto e deflusso dell’acqua in corso, è stata richiesta una prova reale di apertura della paratoia in più fasi registrando i valori delle celle di carico che leggono gli sforzi sulle funi. Riportiamo di seguito la registrazione delle misure, comunicate dai tecnici dell’AIPO con protocollo 2466/07 rif BG del 08/10/07.

1.1.1. Prova eseguita su porta di valle paratoia inferiore come da voi indicato

La prova è stata eseguita riproducendo la reale operazione di concata, realizzandola, viste le quote del fiume Po, utilizzando l’avanconca.

DESCRIZIONE	CELLA DI CARICO DX (t)	CELLA DI CARICO SX (t)	QUOTA IN CONCA (m s.m.m.)	QUOTA IN AVANCONCA (m s.m.m.)
Prima dell'inizio della manovra.	0,25	0,70	38,35	28,37 (la platea della conca è 28,85)
Dopo 5 secondi dalla partenza del by-pass.	4,08	5,65	38,35	28,37 (la platea della conca è 28,85)
Dopo 1' e 15" allo stop (circa 30 %).	16,30	16,25	38,20	28,55 (la platea della conca è 28,85)
Dopo 1' e 15" alla ripartenza.	8,60	8,80	38,20	28,55 (la platea della conca è 28,85)
Dopo 2'e 30" allo stop (circa 60 %).	14,20	14,60	37,57	29,40
Dopo 2'e 30" alla ripartenza.	7,90	8,40	37,57	29,40
Dopo 3' e 45" allo stop (circa 90 %).	9,90	10,20	36,50	30,65
Dopo 3'e 45" alla ripartenza.	7,70	7,90	36,50	30,65
Termine del by-pass dopo 20 secondi.	9,90	10,20	35,85	31,50
Massimo tiro dopo circa 45"	18,60	18,30	38,30	28,50

NOTA:

Si ricorda che i dati comunicati sono quelli rilevati direttamente dalle celle di carico che devono essere trasformati in funzione del tipo di inserzione e del tipo di tiro delle funi per avere la reale forza della porta di valle.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1. NORME PER LE STRUTTURE IN ACCIAIO

CNR-UNI 10011/97	Costruzioni in acciaio Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
CNR-UNI 10021/85	Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
UNI 7670	Meccanismi per apparecchi di sollevamento
UNI-EN 10083-1:1998	Istruzioni per il calcolo Acciai da bonifica Condizioni tecniche di fornitura degli acciai speciali
DIN 15018	Apparecchi di sollevamento (Organi Meccanici)
DIN 18800	Strutture in acciaio
ASME sez III	

Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio (17 maggio 2006).

2.2. NORME PER GLI IMPIANTI OLEODINAMICI

Vedi allegato E.1 "Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici Parte Meccanica".

3. DISEGNI DI RIFERIMENTO

PROGETTO ESECUTIVO

N° TM2500 Paratoia di valle elemento superiore Telaio di sostegno del cilindro dx e sn

N° TM2600 Paratoia di valle elemento superiore Telaio e tiranti contrappesi

N° TM3100 Paratoia di valle elemento inferiore Telaio di sostegno del cilindro dx (motore)

N° TM3101 Paratoia di valle elemento inferiore Telaio di sostegno del cilindro sn (condotto)

N° TM3200 Paratoia di valle elemento inferiore Telaio e tiranti contrappesi

4. MATERIALI, DATI TECNICI

Ferri profilati	S235/275JR (Fe360/430B) UNI EN 10025
Lamiere	S275/S355JR (Fe430/510B) UNI EN 10025
Tubo	Fe510B UNI 7729
Asta	C45 TF Bonif UNI 10083/2
Perni di oscillazione superiori	S355JR (Fe510B) UNI 10025
Fondelli dei cilindri	S355JR (Fe510B) UNI 10025
Stantuffi	S355JR (Fe510B) UNI 10025
Boccole di guida	G CuAlFe4 UNI5275
Guarnizioni di tenuta e raschiatori	NBR (Nitril-Butadiene)
Perno inferiore	AISI 431 Bonificato
Bulloneria	8.8 UNI 3740 Zinc. Pass
Tubazioni oleodinamiche con flangie	AISI 304

5. CALCOLO DEI CARICHI DI APERTURA E CHIUSURA DELLE PARATOIE

5.1. PARATOIA DI VALLE ELEMENTO INFERIORE

SITUAZIONE ESISTENTE

Peso paratoia (Peso calcolato dai disegni costruttivi “Terni”	47500 kg
Peso contrappesi 17000 + 17000 kg	tot 34000 kg

NUOVA SITUAZIONE

Si riporta di seguito i calcoli delle forze Attive –Passive agenti sulla paratoia:

Calcolo delle forze attive/passive dell'elemento inferiore della paratoia di valle

IN FASE DI APERTURA

Carico idrostatico sulla soglia (mm)	10400
Luce netta (mm)	12000x7410
Peso calcolato (Kg)	47500
Interasse tenute orizz (mm)	7410
Interasse tenute vertic (mm)	12330
Diametro ruote /perni (mm)	950
Diametro perni (mm)	150
Pressione media bar	0,61
Coefficiente di attrito acciaio inox-lubrite min 0,08	0,16
Coefficiente di rotolamento delle ruote sulle piste min 0,1	0,2
Coefficiente di attrito gomma/acciaio in acqua	0,8
Altezza guarnizioni (mm)	38,1
Precarica guarnizioni	0,5
Spostamento tenuta sup. ed inf (mm)	57

Forze passive

Spinta sulla paratoia (Kg)	557328,3
Attrito boccole (Kg)	14079,9
Attrito ruote (Kg)	2346,6
Attrito guarnizioni (Kg)	5047,9
Attrito precarica (Kg)	1086,0
Sottospinta dovuta allo spostamento fra tenuta superiore ed inferiore (Kg)	7309,2

Maggiorazione forze passive	1,25
Attrito boccole (Kg)	17599,8
Attrito ruote (Kg)	2933,3
Attrito guarnizioni (Kg)	6309,9
Attrito precarica (Kg)	1357,5
Totale forze passive (Kg)	35509,8

Forze attive

Peso paratoia immersa (kg)	41449,0
Peso aste cilindro+stantuffo	1600
Totale forze attive (Kg)	43049,0

Verifica APERTURA Forze attive+forze passive (Kg)	78558,8
---	---------

IN FASE DI CHIUSURA

Carico idrostatico sulla soglia (mm)	10400
Luce netta (mm)	12000x7410
Peso calcolato (Kg)	47500
Interasse tenute orizz (mm)	7410
Interasse tenute vertic (mm)	12330
Diametro ruote /perni (mm)	950
Diametro perni (mm)	150
Pressione media bar	0,61
Coefficiente di attrito acciaio inox-lubrite min 0,08	0,16
Coefficiente di rotolamento delle ruote sulle piste min 0,1	0,2
Coefficiente di attrito gomma/acciaio in acqua	0,8
Altezza guarnizioni (mm)	38,1
Precarica guarnizioni	0,5
Spostamento tenuta sup. ed inf (mm)	57

Forze passive

Spinta sulla paratoia (Kg)	557328,3
Attrito boccole (Kg)	14079,9
Attrito ruote (Kg)	2346,6
Attrito guarnizioni (Kg)	5047,9
Attrito precarica (Kg)	1086,0
Sottospinta dovuta allo spostamento fra tenuta superiore ed inferiore (Kg)	7309,2

Maggiorazione forze passive	1,25
Attrito boccole (Kg)	17599,8
Attrito ruote (Kg)	2933,3
Attrito guarnizioni (Kg)	6309,9
Attrito precarica (Kg)	1357,5
Totale forze passive (Kg)	35509,8

Forze attive

Peso paratoia immersa (kg)	41449,0
Peso aste cilindro+stantuffo	1600
Totale forze attive (Kg)	43049,0

Verifica CHIUSURA per gravità: Forze attive -forze passive (Kg)	7539,2
---	--------

Dalla registrazione delle celle di carico che misurano lo sforzo nel capo fisso delle funi è stato misurato un carico:

Porta di Valle – paratoia inferiore

DATA	CELLA DI CARICO DESTRA	CELLA DI CARICO SINISTRA
2008	tonnellate 18,60	tonnellate 18,30
2019	tonnellate 22,00	Tonnellate 22,00

Quote di riferimento prima dell'esecuzione della manovra per il rilievo dei dati:

Quota in conca 38,33 m s.m.m.

Quota in Po 28,05 m s.m.m.

Tali valori sono stati confermati anche con la prova riportata nella premessa.

Per il dimensionamento dei cilindri di sollevamento si ha:

Carico su un cilindro

Valore calcolato $P = 78.558,8 / (2 \times 1.000) = 39,28$ ton

Valore registrato P08 = $18,6 \times 2 = 37,2$ ton

Valore registrato nel 2019 P19= $22,00 \times 2 = 44,00$ ton

Per sicurezza consideriamo il valore più elevato aumentato di un fattore 1.25 e arrotondato per eccesso

$P08 = 39,28 \times 1,25 = 49,1 \cong 50$ ton/cilindro

$P19 = 44,00 \times 1,25 = 55,00$ ton/cilindro. Si ritiene che questo nuovo dato sia influenzato negativamente dalle condizioni della paratoia inferiore che potrebbe avere le ruote di scorrimento bloccate e le guarnizioni deteriorate. Il progetto prevede la sostituzione di questi elementi e pertanto le condizioni di scorrimento ritorneranno paragonabili ai dati di misura del 2008 se non migliori.

In ogni caso lo sforzo massimo misurato nel 2019 è compatibile con la pressione di progetto di 190 bar.

5.1.1. Criteri di sicurezza

Le sollecitazioni ricavate dal calcolo sono state aumentate, per sicurezza del 25%

La pressione di esercizio massima dell'impianto oleodinamico è di 165 bar

La pressione di progetto è di 190 bar

La pressione di prova è di $190 \times 1.5 = 285$ bar

In condizioni eccezionali, caso di paratoia tutta sollevata, e senza spinte idrostatiche un solo cilindro deve essere in grado di sostenere il peso della paratoia di 49100 kg compresi di pesi dei cilindri. Tale carico deve essere aumentato del 15% per effetti dinamici in caso di rottura repentina:

$$49100 \times 1.15 = 56465 \text{ kg}$$

Pressione max 186.7 bar

Tale pressione risulta essere inferiore a quella di progetto.

5.1.2. Caratteristiche del cilindro

Sezione netta	32.436 mm ²
Sforzo in trazione	500.000 N (350.000 N) (*)
Pressione	154 (107,9) bar (*)
Corsa per preapertura max	1.000 mm
Velocità di manovra	0,15 m/min
Diametro 1° sfilante	330/260 mm
Sezione netta	32.436 mm ²
Sforzo in trazione	280.000 N
Pressione	86,5bar
Corsa di completamento	6.950 mm
Velocità di manovra	3,7 m/min
Diametro 2° sfilante	230/120 mm
Sezione netta	30.237 mm ²
Sforzo in trazione	280.000 N
Pressione	92,6 bar

Corsa	8.950 mm
Velocità di manovra	4 m/min

(*) I numeri tra parentesi si riferiscono ai dati del progetto preliminare.

5.2. PARATOIA DI VALLE ELEMENTO SUPERIORE

NUOVA SITUAZIONE

Peso paratoia (Peso calcolato dai disegni costruttivi “Terni”	27155 kg
Peso contrappesi 12000 + 12000 kg	tot 24000 kg

NUOVA SITUAZIONE

Si riporta di seguito i calcoli delle forze Attive –Passive agenti sulla paratoia:

Calcolo delle forze attive/passive dell'elemento superiore della paratoia di valle

IN FASE DI APERTURA

Carico idrostatico sulla soglia (mm)	3150
Luce netta (mm)	12000x7579
Peso calcolato (Kg)	27155
Interasse tenute orizz (mm)	3150
Interasse tenute vertic (mm)	12330
Diametro ruote /perni (mm)	750
Diametro perni (mm)	95
Pressione media bar	0,157
Coefficiente di attrito acciaio inox-lubrite min 0,08	0,16
Coefficiente di rotolamento delle ruote sulle piste min 0,1	0,2
Coefficiente di attrito gomma/acciaio in acqua	0,8
Altezza guarnizioni (mm)	38,1
Precarica guarnizioni	0,5
Spostamento tenuta sup. ed inf (mm)	57

Forze passive

Spinta sulla paratoia (Kg)	60978,0
Attrito boccole (Kg)	1235,8
Attrito ruote (Kg)	325,2
Attrito guarnizioni (Kg)	891,5
Attrito precarica (Kg)	745,2
Sottospinta dovuta allo spostamento fra tenuta superiore ed inferiore (Kg)	2213,9

Maggiorazione forze passive	1,25
Attrito boccole (Kg)	1544,8
Attrito ruote (Kg)	406,5
Attrito guarnizioni (Kg)	1114,4
Attrito precarica (Kg)	931,5
Totale forze passive (Kg)	6211,0

Forze attive

Peso paratoia immersa (kg)	27155,0
Peso aste cilindro+stantuffo	1200
Totale forze attive (Kg)	28355,0

Verifica APERTURA Forze attive+forze passive (Kg)	34566,0
---	---------

IN FASE DI CHIUSURA

Carico idrostatico sulla soglia (mm)	3150
Luce netta (mm)	12000x7579
Peso calcolato (Kg)	27155
Interasse tenute orizz (mm)	3150
Interasse tenute vertic (mm)	12330
Diametro ruote /perni (mm)	750
Diametro perni (mm)	95
Pressione media bar	0,157
Coefficiente di attrito acciaio inox-lubrite min 0,08	0,16
Coefficiente di rotolamento delle ruote sulle piste min 0,1	0,2
Coefficiente di attrito gomma/acciaio in acqua	0,8
Altezza guarnizioni (mm)	38,1
Precarica guarnizioni	0,5
Spostamento tenuta sup. ed inf (mm)	57

Forze passive

Spinta sulla paratoia (Kg)	60978,0
Attrito boccole (Kg)	1235,8
Attrito ruote (Kg)	325,2
Attrito guarnizioni (Kg)	891,5
Attrito precarica (Kg)	745,2
Sottospinta dovuta allo spostamento fra tenuta superiore ed inferiore (Kg)	2213,9

Maggiorazione forze passive	1,25
Attrito boccole (Kg)	1544,8
Attrito ruote (Kg)	406,5
Attrito guarnizioni (Kg)	1114,4
Attrito precarica (Kg)	931,5
Totale forze passive (Kg)	6211,0

Forze attive

Peso paratoia immersa (kg)	27155,0
Peso aste cilindro+stantuffo	1600
Totale forze attive (Kg)	28755,0

Verifica CHIUSURA per gravità: Forze attive -forze passive (Kg)	22544,0
---	---------

Per il dimensionamento dei cilindri di sollevamento si ha:

Carico su un cilindro

Valore calcolato $P = 34566.8 / (2 \times 1000) = 17,28$ ton

Valore registrato $P = \underline{\hspace{2cm}}$ Non ci sono celle di carico

Per sicurezza consideriamo il valore aumentato di un fattore 1.25 e arrotondato per eccesso $P = 17.28 \times 1.25 = 21.6 \cong 22$ ton/cilindro

5.2.1. Criteri di sicurezza

Le sollecitazioni ricavate dal calcolo sono state aumentate, per sicurezza del 25%

La pressione di esercizio massima dell'impianto oleodinamico è di 119 bar

La pressione di progetto è di 190 bar

La pressione di prova è di $190 \times 1.5 = 285$ bar

In condizioni eccezionali, caso di paratoia tutta sollevata e senza spinte idrostatiche, un solo cilindro deve essere in grado di sostenere il peso della paratoia di 27155 kg più i pesi dei cilindri di 1200 kg, totale 28355 kg

Tale carico deve essere aumentato del 15% per effetti dinamici in caso di rottura repentina:

$$28355 \times 1.15 = 32608 \text{ kg}$$

Pressione max 185 bar

Tale pressione risulta essere inferiore a quella di progetto.

5.2.2. Caratteristiche del cilindro

Meccanismo a cilindro a semplice effetto a due sfilanti per la manovra dell'elemento superiore:

Diametro 1° sfilante	260/210 mm
Sezione netta	18.456 mm ²
Sforzo in trazione	220.000 (170.000) N (*)
Pressione	119.2 (92,1) bar
Corsa	4.825 mm
Velocità di manovra	3,9 m/min
Diametro 2° sfilante	180/100 mm
Sezione netta	17.592 mm ²
Sforzo in trazione	170.000 N

Pressione	96,6 bar
Corsa	4.825 mm
Velocità di manovra	4,1 m/min

(*) I numeri tra parentesi si riferiscono ai dati del progetto preliminare.

5.3. NUMERO DI CICLI

Sono previste:

- n° 10 Aperture e Chiusure delle paratoie / giorno
- n° 365 gg / anno
- n° 50 anni

Cicli totali di AP e CH: $n_{tot} = 10 \times 365 \times 50 = 182500$ cicli

Spettro di lavoro: si considera uno spettro di lavoro unitario

5.3.1. Strutture in carpenteria saldata

$$\Delta\sigma_{ef} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i \Delta\sigma_i^3 \times n_i}{n_{tot}}} \quad R_{ef} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i R_i^3 \times n_i}{n_{tot}}} = 1$$

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{2 \times 10^6}{n_{tot}}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 10^6}{182500}} = 2.22$$

Si considerano:

$\Delta\sigma_{A(II.4)} = 63 \text{ N/mm}^2$ (giunto in croce a cordoni d'angolo)

$c_{rid, spess} = 1.0$ (spessori inferiori a 25 mm)

$c_{rid, sald} = 0.7$ (ripristino della sezione netta)

$\Delta\sigma_{adm(II.4)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 0.7 \times 2.22 \times 63 = 97.9 \text{ N/mm}^2$

In mancanza di verifiche più accurate, per la verifica a fatica delle strutture in carpenteria saldate sarà sufficiente verificare che le tensioni risultino inferiori al limite $\Delta\sigma_{adm}$.

N.B.:

Poiché si considera un rapporto di sollecitazione nullo, $\Delta\sigma_{adm}$ e σ_{adm} coincidono.

5.3.2. Perni e meccanismi

Cicli totali di AP e CH: $n_{tot} = 10 \times 365 \times 50 = 182500$ cicli

$$k_m = \sum \frac{n_i}{n_t} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \right)^c = 1$$

$n_{eq, \sigma} = n_{tot} = 182500$ cicli

6. VERIFICA DELLE STRUTTURE DI SOSTEGNO DEI CILINDRI

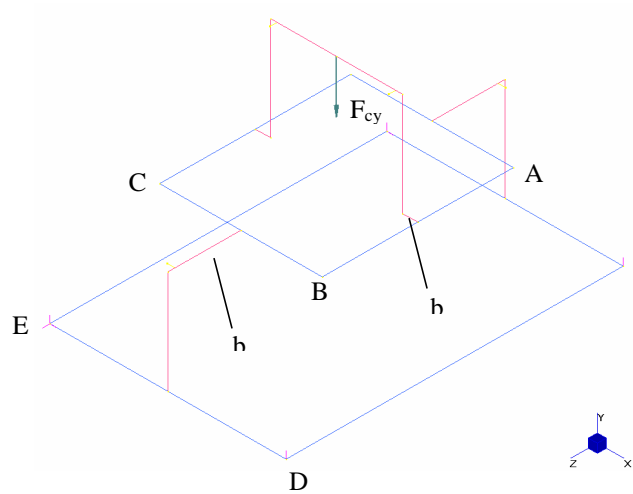
6.1. PARATOIA DI MONTE

$F_{cyl} = 210100$ N (massimo carico sui cilindri)

6.1.1. Verifica dei telai dei cilindri

Con riferimento alla figura a lato, i parametri di sollecitazione sui telai vengono ottenuti mediante un semplice modello ad elementi beam.

Quindi si calcolano le tensioni sui profili (coppia di UPN 200) che costituiscono i telai.



Si riportano in tabella dati e risultati del calcolo.

	tratto	AB	BC	DE
Geometria	L [mm]	485	414	600
	b [mm]	39.5	185	0
	F_{cyl} [N]	210100	210100	210100
	F [N]	105050	105050	105050
	T [N]	52525	52525	52525
	M [Nmm]	22510477	9352363	15847040
	M_t [Nmm]	1555970	9758526	0
Sezione	A [mm ²]	6440	6440	6440
	A_t [mm ²]	3400	3400	3400
	W [mm ³]	382000	382000	382000
	W_t [mm ³]	450000	450000	450000
Tensioni	σ_{fless} [N/mm ²]	58.9	24.5	41.5
	τ_{tors} [N/mm ²]	3.5	21.7	0.0
	τ_{taglio} [N/mm ²]	15.4	15.4	15.4
	σ_{VM} [N/mm ²]	67.4	68.8	49.4

Verifica statica:

$$\sigma_{\max} = 68.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235JR})$$

Verifica a fatica:

$$\sigma_{\max} = 68.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 97.9 \text{ N/mm}^2$$

6.1.2. Verifica dei supporti

Snodi sferici TX esenti da manutenzione mod. GE 80 TXG3A-2LS, carico statico

$C_0 = 1900 \text{ kN}$, carico dinamico $C = 1140 \text{ kN}$

$$F = F_{\text{cyl}} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N} = 105.05 \text{ kN} < C = 1140 \text{ kN}$$

6.1.3. Verifica perni $\phi 80/100$

Materiale: acciaio S355JR $f_t = 510 \text{ N/mm}^2$ (sp. > 40 mm)
 $f_y = 315 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{\text{adm}} = 210 \text{ N/mm}^2$

Sezione 1-1 ($\phi 80 \text{ mm}$)

$$A = 5026.5 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 3769.9 \text{ mm}^2$$

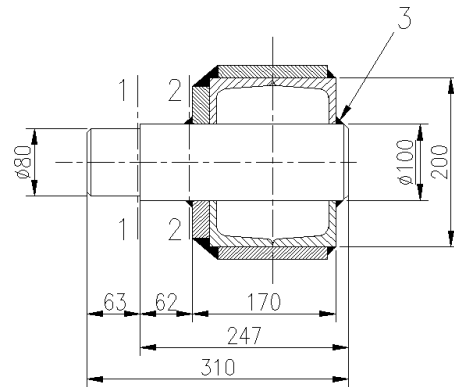
$$W = 50265.5 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{\text{cyl}} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N}$$

$$M = T \times 30 = 105050 \times 30 = 3.1515 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 3.1515 \times 10^6 / 50265.5 = 62.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 105050 / 3769.9 = 27.9 \text{ N/mm}^2$$



Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 79.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Considerando i criteri della Direttiva Macchine:

$$\sigma_{id} = 79.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = f_t / 5 = 510 / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$r \cong 0 \text{ mm} \quad r / d \cong 0$$

$$D = 100 \text{ mm} \quad D / d = 100 / 80 = 1.25$$

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$\gamma_\sigma = 0.54 \quad f_{s,\sigma} = 1.64$$

$$\gamma_\tau = 0.88 \quad f_{s,\tau} = 0.5 \quad f_{s,\sigma} = 0.82$$

$$k_{f,\sigma} = 1 + \gamma_\sigma \times f_{s,\sigma} = 1.886$$

$$k_{f,\tau} = 1 + \gamma_\tau \times f_{s,\tau} = 1.722$$

$$\sigma = 62.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{af} = 190.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{af} = 122.5 \text{ N/mm}^2 < \tau_{af} = 117.7 \text{ N/mm}^2$$

R	510	510
sigma_D-1	255	255
k_f	1.8860	1.7220
k_d	1.30	1.30
k_l	1.10	1.10
k_c	1.10	1.10
sigma_f	85.95	94.14
chi	0	0
k_chi	1.667	1.667
sigma_d	143.26	156.90
c	4.348	4.684
c'	8.810	9.474
n	182500	182500
k_n	1.734	1.667
K_t	1	0.577
sigma_k	248.45	150.93
gamma_k	1.307	1.282
Tensioni ammissibili		
	sigma_af	tau_af
	190.14	117.74

Sezione 2-2 (ø100 mm)

$$A = 7854 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 5890 \text{ mm}^2$$

$$W = 98175 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N}$$

$$M = T \times (30 + 62) = 105050 \times (30 + 62) = 9.6646 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 9.6646 \times 10^6 / 98175 = 98.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 105050 / 5890 = 17.8 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 119.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_A \text{ (II.3)} = 71 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{\text{rid,spess}} = \sqrt[4]{\frac{25}{d}} = \sqrt[4]{\frac{25}{100}} = 0.707$$

$$c_{\text{rid, sald}} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{\text{adm}} \text{ (II.3)} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.707 \times 1.0 \times 2.22 \times 71 = 111.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{\text{adm}} \text{ (III)} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.707 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 125.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 98.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{adm}} \text{ (II.3)} = 111.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 17.8 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{adm}} = 121.2 < \Delta\tau_{\text{adm}} \text{ (III)} = 125.6 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{\text{adm}})^2 + (\tau / \tau_{\text{adm}})^2 = 0.80 < 1.1$$

Sezione 2-2 (saldatura)

$$a_{\text{min}} = 0.7 \times 20 = 14 \text{ mm}$$

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$D = d + 2 a = 128 \text{ mm}$$

$$A = 5014 \text{ mm}^2$$

$$W = 129188 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{\text{cyl}} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N}$$

$$M = T \times (30 + 62) = 105050 \times (30 + 62) = 9.6646 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 9.6646 \times 10^6 / 129188 = 74.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A = 105050 / 5014 = 21.0 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 74.8 + 21.0 = 95.8 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_A \text{ (II.4)} = 63 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{rid, spess} = 1.0$$

$$c_{rid, sald} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{adm (II.4)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 63 = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{adm (III)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 74.8 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{adm (II.4)} = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 21.0 \text{ N/mm}^2 < \tau_{adm} = 121.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{adm (III)} = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{adm})^2 + (\tau / \tau_{adm})^2 = 0.455 < 1.1$$

Saldatura punto 3

$$a = 0.7 \times 8.5 \cong 6 \text{ mm} \quad d = 100 \text{ mm} \quad D = d + 2 a = 112 \text{ mm}$$

$$A = 1998 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = F_{cyl} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 \times (30 + 62 + 170) / 170 = 161900 \text{ N}$$

$$T = T_2 - T_1 = 161900 - 105050 = 56850 \text{ N}$$

$$\tau = T / A = 56850 / 1998 = 28.5 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 28.5 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{adm} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\tau = 28.5 \text{ N/mm}^2 < \tau_{adm} = 121.2 \text{ N/mm}^2$$

6.1.4. Verifica zona appoggio supporti

Carico: $F = F_{\text{cyl}} / 2 = 210100 / 2 = 105050 \text{ N}$

Verifica piattabanda di appoggio (ala UPN200 + piatto sp. 15 mm)

Carico distribuito: $q = F / (200 \times 150) = 105050 / 30000 = 3.5 \text{ N/mm}^2$

$M = q L^2 / 12 = 3.5 \times 150^2 / 12 = 6562 \text{ Nmm/mm}$

$W = t^2 / 6 = 24^2 / 6 = 96 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Verifica statica:

$\sigma = M / W = 6562 / 96 = 68.4 \text{ N/mm}^2 < 0.85 \sigma_{\text{adm}} = 136 \text{ N/mm}^2$

(saldatura su acciaio S235)

Verifica a fatica:

$\Delta\sigma_{A (II.4)} = 40 \text{ N/mm}^2$

$c_{\text{rid, spess}} = 1.0$

$c_{\text{rid, sald}} = 1.0$

$\Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 40 = 88.8 \text{ N/mm}^2$

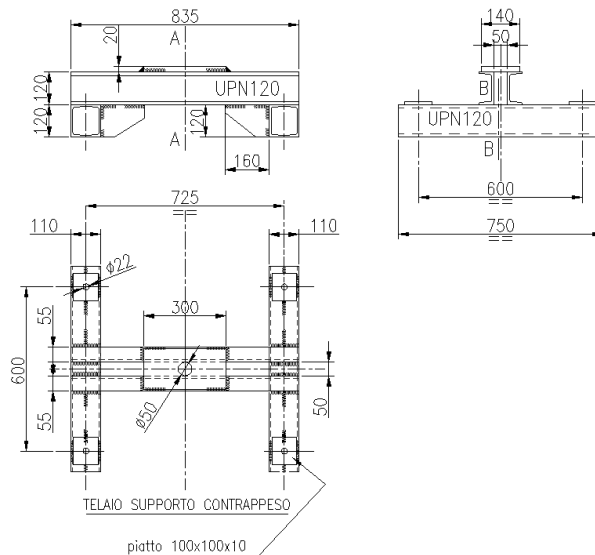
$\sigma = 68.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = 88.8 \text{ N/mm}^2$

Pressione specifica

Area di appoggio sugli UPN200: $A \cong 2 \times 200 \times 8.5 = 3400 \text{ mm}^2$

$p = F / A = 105050 / 3400 = 30.9 \text{ N/mm}^2$ (trascurabile)

6.1.5. Verifica dei telai dei contrappesi



Peso contrappeso: $P_c = 5000 \text{ kg} \cong 50000 \text{ N}$

Verifica sezione A-A (doppia UPN120)

$$A = 3400 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 1680 \text{ mm}^2$$

$$W = 121400 \text{ mm}^3$$

$$M = P_c \times 725 / 4 = 50000 \times 725 / 4 =$$

$$= 9.0625 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = P_c / 2 = 25000 \text{ N}$$

$$\sigma = M / W = 9.0625 \times 10^6 / 121400 = 74.6 \text{ Nmm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 25000 / 1680 = 14.9 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 78.9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235})$$

Verifica sezione B-B (doppia UPN120)

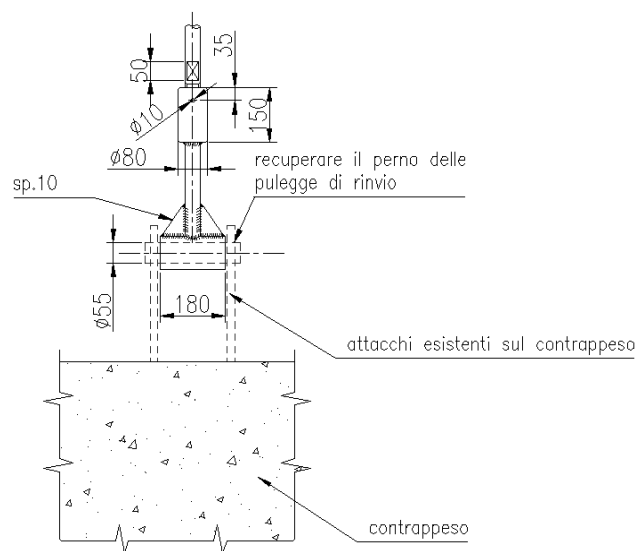
$$F = P_c / 2 = 50000 / 2 = 25000 \text{ N}$$

$$M = F \times 600 / 4 = 25000 \times 600 / 4 = 3.750 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = F / 2 = 12500 \text{ N}$$

Non si riportano le verifiche, in quanto, a parità di sezione, i carichi sono più che dimezzati rispetto alle verifiche di cui alla sezione A-A.

6.1.6. Verifica dei tiranti dei contrappesi



Verifica barra $\phi 40$ con spianatura

Si considerano cautelativamente le caratteristiche di una sezione $\phi 30$ mm:

$$A = 706.9 \text{ mm}^2$$

$$P_c = 5000 \text{ kg} \cong 50000 \text{ N}$$

$$\sigma = P_c / A = 50000 / 706.9 = 70.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = f_t / 5 = 510 / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

(acciaio S355, criterio Direttiva Macchine)

Verifica filettatura M40

$$A_{\text{res}} \cong 950 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P_c / A = 50000 / 950 = 52.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = f_t / 5 = 510 / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

Verifica saldatura attacco inferiore

$$A \cong 10 \times 180 = 1800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P_c / A = 50000 / 1800 = 27.8 \text{ N/mm}^2 < \\ < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 0.7 \times 102 = 71.4 \text{ N/mm}^2$$

Verifica perno attacco inferiore ($\phi 55 \text{ mm}$)

$$A = 2375.8 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 1781.9 \text{ mm}^2$$

$$W = 16333.8 \text{ mm}^3$$

$$T = P_c / 2 = 50000 / 2 = 25000 \text{ N}$$

$$M \cong P_c L / 8 = 50000 \times 210 / 8 = \\ = 1.3125 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 1.3125 \times 10^6 / 16333.8 = \\ = 80.4 \text{ N/mm}^2$$

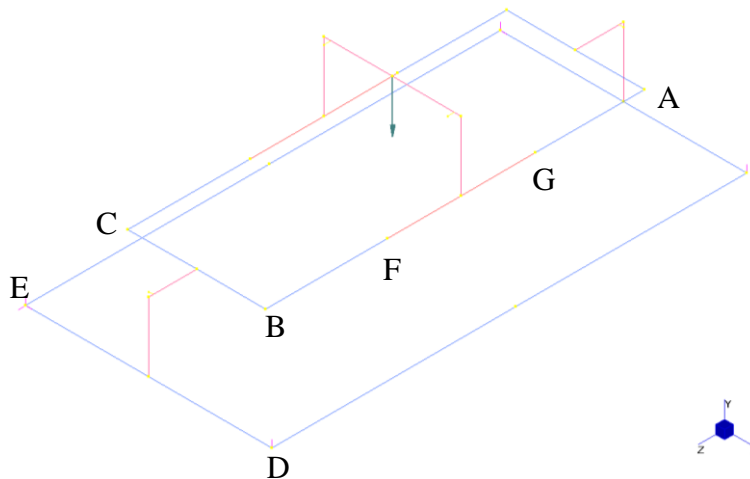
$$\tau = T / A_t = 25000 / 1781.9 = 14.0 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{\text{id}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 84.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 102 \text{ N/mm}^2$$

(perni delle pulegge di rinvio esistenti)

6.2. PARATOIA DI VALLE - ELEMENTO INFERIORE



$$F_{cyl} = 564650 \text{ N}$$

(massimo carico sui cilindri)

6.2.1. Verifica dei telai dei cilindri

Con riferimento alla figura i parametri di sollecitazione sui telai vengono ottenuti mediante un semplice modello ad elementi beam.

Quindi si calcolano le tensioni sui profili che costituiscono i telai.

Si riportano in tabella dati e risultati del calcolo.

	tratto	FG (1)	AG (2)	BC (2)	DE (2)
Geometria	L [mm]	700	380	649	950
	b [mm]	0	-	185	0
	F_{cyl} [N]	564650	564650	564650	564650
	F [N]	282325	282325	282325	282325
	T [N]	141162.5	141162.5	141162.5	141162.5
	M [Nmm]	1.29E+08	8.13E+07	3.53E+07	6.58E+07
	M_t [Nmm]	1.48E+06	1.25E+06	2.55E+07	0
Sezione	A [mm ²]	12960	8460	8460	8460
	A_t [mm ²]	4560	4560	4560	4560

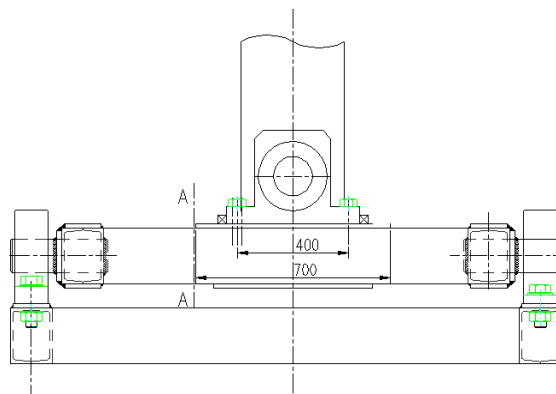
	W [mm ³]	1.15E+06	600000	600000	600000
	W _t [mm ³]	730000	690000	690000	690000
Tensioni	σ _{fless} [N/mm ²]	112.4	135.6	58.8	109.7
	τ _{tors} [N/mm ²]	2.0	1.8	37.0	0.0
	τ _{taglio} [N/mm ²]	31.0	31.0	31.0	31.0
	σ _{VM} [N/mm ²]	126.1	147.0	131.6	122.1

(1) per il tratto FG è stata considerata la sezione composta da 2 UPN240 rinforzata con piatti inferiore e superiore 150×15 mm

(2) per i tratti AG, BC, DE sono stati considerati n. 2 UPN240

Verifica statica:

$$\sigma_{\max} = 147.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235JR})$$



Verifica a fatica: si considera la sezione A-A mostrata in figura.

$$M = 81.349 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$W = 600000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma &= M / W = 81.349 \times 10^6 / 600000 = \\ &= 135.6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{A(II.3)} = 71 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{rid, spess} = 1.0$$

$$c_{rid, sald} = 1.0$$

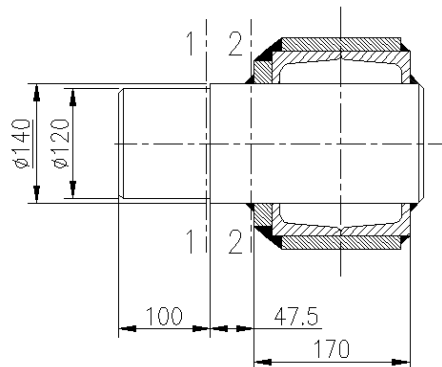
$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{adm(II.3)} &= c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = \\ &= 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 71 = 157.6 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

6.2.2. Verifica dei supporti

Snodi sferici TX esenti da manutenzione mod. GE 120 TXG3A-2LS, carico statico $C_0 = 4500 \text{ kN}$, carico dinamico $C = 2700 \text{ kN}$

$$F = F_{cyl} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N} = 282.3 \text{ kN} < C = 2700 \text{ kN}$$

6.2.3. Verifica perni $\phi 120/140$



Materiale: acciaio S355JR $f_t = 510 \text{ N/mm}^2$ (sp. > 40 mm)
 $f_y = 315 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$

Sezione 1-1 ($\phi 120 \text{ mm}$)

$$A = 11310 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 8482 \text{ mm}^2$$

$$W = 169646 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N}$$

$$M = T \times 30 = 282325 \times 50 = 14.116 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 14.116 \times 10^6 / 169646 = 83.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 282325 / 8482 = 33.3 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 101.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Considerando i criteri della Direttiva Macchine:

$$\sigma_{id} = 101.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = f_t / 5 = 510 / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$\begin{aligned} r &\cong 0 \text{ mm} & r / d &\cong 0 \\ D &= 140 \text{ mm} & D / d &= 140 / 120 = 1.167 \\ d &= 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_\sigma &= 0.40 & f_{s, \sigma} &= 1.64 \\ \gamma_\tau &= 0.72 & f_{s, \tau} &= 0.5 \quad f_{s, \sigma} = 0.82 \\ k_{f, \sigma} &= 1 + \gamma_\sigma \times f_{s, \sigma} = 1.656 \\ k_{f, \tau} &= 1 + \gamma_\tau \times f_{s, \tau} = 1.590 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 83.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{af} = 203.1 \text{ N/mm}^2 \\ \tau &= 33.3 \text{ N/mm}^2 < \tau_{af} = 120.96 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

R	510	510
sigma_D-1	255	255
k_f	1.6560	1.5900
k_d	1.36	1.36
k_l	1.10	1.10
k_c	1.10	1.10
sigma_f	93.57	97.46
chi	0	0
k_chi	1.667	1.667
sigma_d	155.96	162.43
c	4.660	4.826
c'	9.426	9.754
n	182500	182500
k_n	1.672	1.642
K_t	1	0.577
sigma_k	260.69	153.92
gamma_k	1.284	1.273
Tensioni ammissibili		
	sigma_af	tau_af
	203.11	120.96

La verifica a fatica è ricondotta alla verifica statica.

Sezione 2-2 (ø140 mm)

$$A = 15394 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 11545 \text{ mm}^2$$

$$W = 269392 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N}$$

$$M = T \times (50 + 47.5) = 282325 \times (50 + 47.5) = 27.527 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 27.527 \times 10^6 / 269392 = 102.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 282325 / 11545 = 24.5 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 110.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_A \text{ (II.3)} = 71 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{rid, spess} = \sqrt[4]{\frac{25}{d}} = \sqrt[4]{\frac{25}{140}} = 0.650$$

$$c_{rid, sald} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{adm} \text{ (II.3)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.650 \times 1.0 \times 2.22 \times 71 = 102.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{adm} \text{ (III)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.650 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 115.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 102.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{adm} \text{ (II.3)} = 102.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 24.5 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{adm} \text{ (III)} = 115.4 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{adm})^2 + (\tau / \tau_{adm})^2 = 1.04 < 1.1$$

Sezione 2-2 (saldatura)

$$z_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 0.7 \times 25 = 17.5 \text{ mm}$$

$$d = 140 \text{ mm}$$

$$D = d + 2 a = 175 \text{ mm}$$

$$A = 8659 \text{ mm}^2$$

$$W = 310642 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N}$$

$$M = T \times (50 + 47.5) = 282325 \times (50 + 47.5) = 27.527 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 27.527 \times 10^6 / 310642 = 88.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A = 282325 / 8659 = 32.6 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 88.6 + 32.6 = 121.2 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_{\text{A (II.4)}} = 63 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{\text{rid, spess}} = 1.0$$

$$c_{\text{rid, sald}} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_{\text{A}} = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 63 = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{\text{adm (III)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_{\text{A}} = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 88.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 32.6 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{adm}} = 121.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{\text{adm (III)}} = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{\text{adm}})^2 + (\tau / \tau_{\text{adm}})^2 = 0.473 < 1.1$$

Saldatura punto 3

$$a = 0.7 \times 8.5 \cong 6 \text{ mm} \quad d = 130 \text{ mm} \quad D = d + 2 a = 142 \text{ mm}$$

$$A = 2564 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = F_{\text{cyl}} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 \times (50 + 47.5 + 170) / 170 = 444247 \text{ N}$$

$$T = T_2 - T_1 = 444247 - 282325 = 161922 \text{ N}$$

$$\tau = T / A = 161922 / 2564 = 63.2 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 63.2 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\tau = 63.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{adm}} = 121.2 \text{ N/mm}^2$$

6.2.4. Verifica zona appoggio supporti

Carico: $F = F_{\text{cyl}} / 2 = 564650 / 2 = 282325 \text{ N}$

Verifica piattabanda di appoggio (ala UPN240 + piatto sp. 15 mm)

Carico distribuito: $q = F / (275 \times 150) = 282325 / 41250 = 6.8 \text{ N/mm}^2$

$$M = q L^2 / 12 = 6.8 \times 170^2 / 12 = 16377 \text{ Nmm/mm}$$

$$W = t^3 / 6 = 28^3 / 6 = 130.7 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

Verifica statica:

$$\sigma = M / W = 16377 / 130.7 = 125.3 \text{ N/mm}^2 < 0.85 \sigma_{\text{adm}} = 136 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S235)

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_{A \text{ (II.4)}} = 63 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{\text{rid, spess}} = 1.0$$

$$c_{\text{rid, sald}} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 63 = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

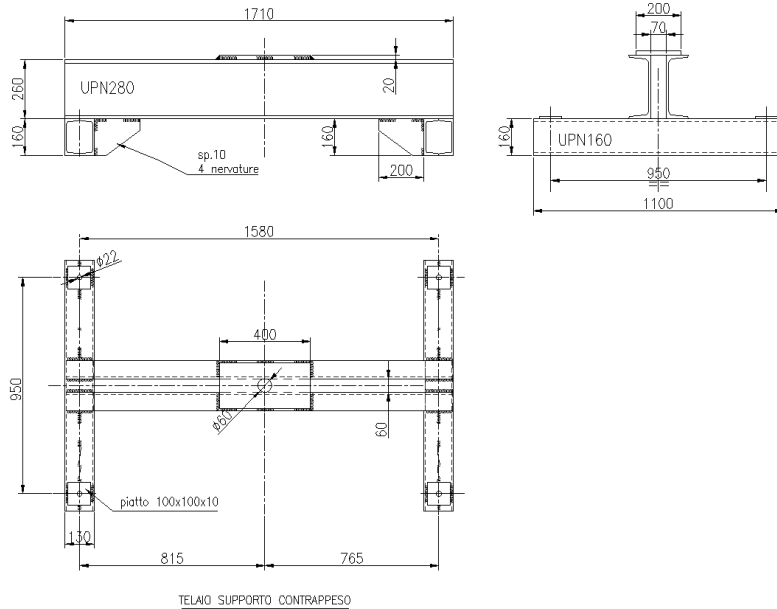
$$\sigma = 125.3 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = 139.9 \text{ N/mm}^2$$

Pressione specifica

Area di appoggio sugli UPN240: $A \cong 2 \times 275 \times 9.5 = 5225 \text{ mm}^2$

$$p = F / A = 282325 / 5225 = 54.0 \text{ N/mm}^2 < 1.35 \sigma_{\text{adm}} = 216 \text{ N/mm}^2$$

6.2.5. Verifica dei telai dei contrappesi



Peso contrappeso:

$$P_c = 17000 \text{ kg} \cong 170000 \text{ N}$$

Verifica sezione A-A (doppia UPN280)

$$A = 10680 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 5600 \text{ mm}^2$$

$$W = 896000 \text{ mm}^3$$

$$M \cong P_c \times 1580 / 4 =$$

$$= 170000 \times 1580 / 4 =$$

$$= 67.150 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = P_c / 2 = 170000 / 2 = 85000 \text{ N}$$

$$\sigma = M / W = 67.150 \times 10^6 / 896000 = 74.9 \text{ Nmm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 85000 / 5600 = 15.2 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 79.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235})$$

Verifica sezione B-B (doppia UPN160)

$$A = 4800 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 2400 \text{ mm}^2$$

$$W = 232000 \text{ mm}^3$$

$$F = P_c / 2 = 170000 / 2 = 85000 \text{ N}$$

$$M = F \times 950 / 4 = 85000 \times 950 / 4 = 20.1875 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = F / 2 = 85000 / 2 = 42500 \text{ N}$$

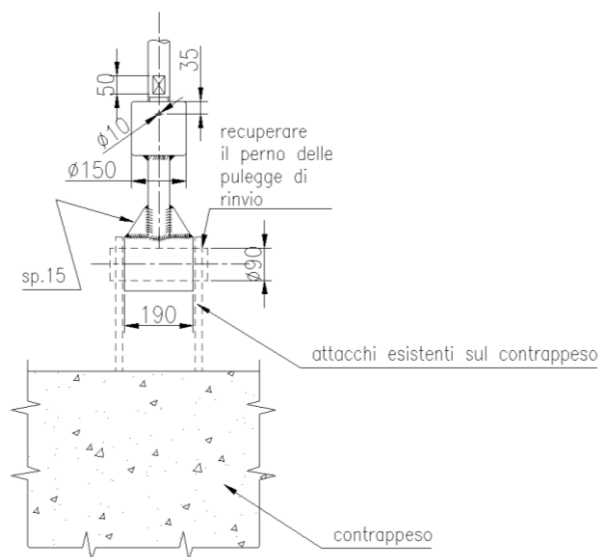
$$\sigma = M / W = 20.1875 \times 10^6 / 232000 = 87.0 \text{ Nmm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 42500 / 2400 = 17.7 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 92.3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235})$$

6.2.6. Verifica dei tiranti dei contrappesi



Verifica barra $\varnothing 60$ con spianatura

Si considerano cautelativamente le caratteristiche di una sezione $\varnothing 50$ mm:

$$A = 1963 \text{ mm}^2$$

$$P_c = 17000 \text{ kg} \cong 170000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= P_c / A = 170000 / 1963 = \\ &= 86.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = f_t / 5 = 102 \text{ N/mm}^2 \\ &\text{(acciaio S355, Direttiva Macchine)}\end{aligned}$$

Verifica filettatura M60

$$A_{\text{res}} \cong 2000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma &= P_c / A = 170000 / 2000 = \\ &= 85.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = f_t / 5 = 102 \text{ N/mm}^2 \\ &\text{(acciaio S355, criteri della Direttiva Macchine)}\end{aligned}$$

Verifica saldatura attacco inferiore

$$A \cong 15 \times 190 = 2850 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P_c / A = 170000 / 2850 = 59.6 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 71.4 \text{ N/mm}^2$$

Verifica perno attacco inferiore ($\varnothing 90$ mm)

$$A = 6361.7 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 4771.3 \text{ mm}^2$$

$$W = 71569 \text{ mm}^3$$

$$T = P_c / 2 = 170000 / 2 = 85000 \text{ N}$$

$$M \cong P_c L / 8 = 170000 \times 220 / 8 = 4.675 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 4.675 \times 10^6 / 71569 = 65.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 85000 / 4771.3 = 17.8 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 72.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 102 \text{ N/mm}^2$$

(perni delle pulegge di rinvio esistenti)

6.3. PARATOIA DI VALLE – ELEMENTO SUPERIORE

$$F_{cyl} = 326080 \text{ N}$$

(massimo carico sui cilindri)

6.3.1. Verifica dei telai dei cilindri

Con riferimento alla figura di cui al paragrafo precedente, riportata per la paratoia di monte, i parametri di sollecitazione sui telai vengono ottenuti mediante un semplice modello ad elementi beam.

Quindi si calcolano le tensioni sui profili (coppia di UPN 200) che costituiscono i telai.

Si riportano in tabella dati e risultati del calcolo.

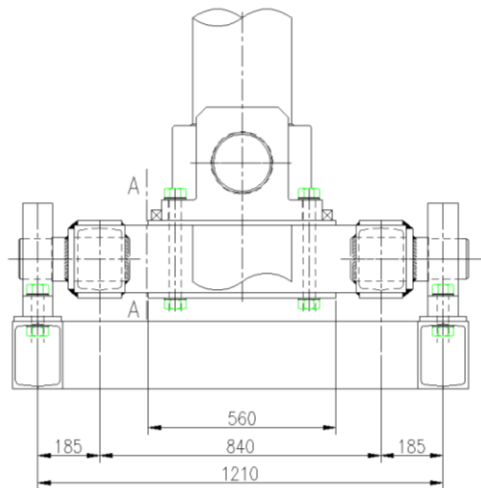
	tratto	AB (*)	BC	DE
Geometria	L [mm]	840	530	700
	b [mm]	0	185	0
	F_{cyl} [N]	326080	326080	326080
	F [N]	163040	163040	163040
	T [N]	81520	81520	81520
	M [Nmm]	4.95E+07	1.98E+07	2.85E+07
	M_t [Nmm]	1.81E+06	1.50E+07	0
Sezione	A [mm ²]	10640	6440	6440
	A_t [mm ²]	3400	3400	3400
	W [mm ³]	647900	382000	382000
	W_t [mm ³]	489500	450000	450000

Tensioni	$\sigma_{fless} [N/mm^2]$	76.3	51.7	74.6
	$\tau_{tors} [N/mm^2]$	3.7	33.4	0.0
	$\tau_{taglio} [N/mm^2]$	24.0	24.0	24.0
	$\sigma_{VM} [N/mm^2]$	90.1	112.1	85.4

(*) per il tratto AB è stata considerata la sezione composta da 2 UPN200 rinforzata con piatti inferiore e superiore 140×15 mm

Verifica statica:

$$\sigma_{max} = 112.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235JR})$$



Verifica a fatica: si considera la sezione A-A mostrata in figura.

$$M = 26.796 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$W = 6440 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M / W = 26.796 \times 10^6 / 382000 = 70.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{A (II.3)} = 71 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{rid, spess} = 1.0$$

$$c_{rid, sald} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{adm (II.3)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A =$$

$$= 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 71 = 157.6 \text{ N/mm}^2$$

6.3.2. Verifica dei supporti

Snodi sferici TX esenti da manutenzione mod. GE 120 TXG3A-2LS, carico statico $C_0 = 4500 \text{ kN}$, carico dinamico $C = 2700 \text{ kN}$

$$F = F_{\text{cyl}} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N} = 163.0 \text{ kN} < C = 2700 \text{ kN}$$

6.3.3. Verifica perni $\phi 120/130$

Materiale: acciaio S355JR $f_t = 510 \text{ N/mm}^2$ (sp. > 40 mm)

$$f_y = 315 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Sezione 1-1 ($\phi 120 \text{ mm}$)

$$A = 11310 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 8482 \text{ mm}^2$$

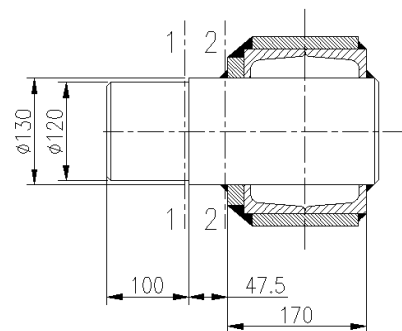
$$W = 169646 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{\text{cyl}} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N}$$

$$M = T \times 30 = 163040 \times 50 = 8.152 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 8.152 \times 10^6 / 169646 = 48.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 163040 / 8482 = 19.2 \text{ N/mm}^2$$



Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 58.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Considerando i criteri della Direttiva Macchine:

$$\sigma_{id} = 58.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = f_t / 5 = 510 / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$r \cong 0 \text{ mm}$$

$$r / d \cong 0$$

$$D = 130 \text{ mm}$$

$$D / d = 130 / 120 = 1.0833$$

$$d = 120 \text{ mm}$$

$$\gamma_\sigma = 0.23$$

$$f_{s, \sigma} = 1.64$$

$$\gamma_\tau = 0.44$$

$$f_{s, \tau} = 0.5 \quad f_{s, \sigma} = 0.82$$

$$k_{f, \sigma} = 1 + \gamma_\sigma \times f_{s, \sigma} = 1.377$$

$$k_{f, \tau} = 1 + \gamma_\tau \times f_{s, \tau} = 1.361$$

$$\sigma_{af} = 234.4 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{af} = 136.5 \text{ N/mm}^2 > \tau_{adm} = 121.2 \text{ N/mm}^2$$

La verifica a fatica è ricondotta alla verifica statica.

Sezione 2-2 ($\phi 130 \text{ mm}$)

$$A = 13273 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 9955 \text{ mm}^2$$

$$W = 215690 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N}$$

$$M = T \times (50 + 47.5) = 163040 \times (50 + 47.5) = 15.896 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

R	510	510
sigma_D-1	255	255

k_f	1.3770	1.3610
k_d	1.36	1.36
k_l	1.10	1.10
k_c	1.10	1.10

sigma_f	112.53	113.86
---------	--------	--------

chi	0	0
k_chi	1.667	1.667

sigma_d	187.56	189.76
---------	--------	--------

c	5.520	5.585
c'	11.129	11.259

n	182500	182500
k_n	1.543	1.535

K_t	1	0.577
-----	---	-------

sigma_k	289.41	168.10
---------	--------	--------

gamma_k	1.235	1.232
---------	-------	-------

Tensioni ammissibili

sigma_af	tau_af
234.42	136.49

$$\sigma = M / W = 15.896 \times 10^6 / 215690 = 73.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 163040 / 9955 = 16.4 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 79.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_A \text{ (II.3)} = 71 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{rid, spess} = \sqrt[4]{\frac{25}{d}} = \sqrt[4]{\frac{25}{130}} = 0.662$$

$$c_{rid, sald} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{adm} \text{ (II.3)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.662 \times 1.0 \times 2.22 \times 71 = 104.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{adm} \text{ (III)} = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 0.662 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 117.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 73.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{adm} \text{ (II.3)} = 104.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 16.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{adm} \text{ (III)} = 117.6 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{adm})^2 + (\tau / \tau_{adm})^2 = 0.519 < 1.1$$

Sezione 2-2 (saldatura)

$$a_{min} = 0.7 \times 20 = 14 \text{ mm}$$

$$d = 130 \text{ mm}$$

$$D = d + 2 a = 158 \text{ mm}$$

$$A = 6333.5 \text{ mm}^2$$

$$W = 209765 \text{ mm}^3$$

$$T = F_{cyl} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N}$$

$$M = T \times (50 + 47.5) = 163040 \times (50 + 47.5) = 15.896 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 15.896 \times 10^6 / 209765 = 75.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A = 163040 / 6333.5 = 25.7 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 75.8 + 25.7 = 101.5 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\Delta\sigma_A \text{ (II.4)} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$c_{\text{rid, spess}} = 1.0$$

$$c_{\text{rid, sald}} = 1.0$$

$$\Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 40 = 88.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{\text{adm (III)}} = c_{\text{rid, spess}} \times c_{\text{rid, sald}} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 80 = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 75.8 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{adm (II.4)}} = 88.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 25.7 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{adm}} = 121.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{\text{adm (III)}} = 177.6 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma / \Delta\sigma_{\text{adm}})^2 + (\tau / \tau_{\text{adm}})^2 = 0.774 < 1.1$$

Saldatura punto 3

$$a = 0.7 \times 8.5 \cong 6 \text{ mm} \quad d = 130 \text{ mm} \quad D = d + 2 a = 142 \text{ mm}$$

$$A = 2564 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = F_{\text{cyl}} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N}$$

$$T_2 = T_1 \times (50 + 47.5 + 170) / 170 = 256548 \text{ N}$$

$$T = T_2 - T_1 = 256548 - 163040 = 93508 \text{ N}$$

$$\tau = T / A = 93508 / 2564 = 36.5 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$|\sigma| + |\tau| = 36.5 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{\text{adm}} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(saldatura su acciaio S355)

Verifica a fatica:

$$\tau = 36.5 \text{ N/mm}^2 < \tau_{\text{adm}} = 121.2 \text{ N/mm}^2$$

6.3.4. Verifica zona appoggio supporti

Carico: $F = F_{cyl} / 2 = 326080 / 2 = 163040 \text{ N}$

Verifica piattabanda di appoggio (ala UPN200 + piatto sp. 15 mm)

Carico distribuito: $q = F / (275 \times 150) = 163040 / 41250 = 4.0 \text{ N/mm}^2$

$M = q L^2 / 12 = 4.0 \times 150^2 / 12 = 7500 \text{ Nmm/mm}$

$W = t^2 / 6 = 24^2 / 6 = 96 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Verifica statica:

$\sigma = M / W = 7500 / 96 = 78.1 \text{ N/mm}^2 < 0.85 \sigma_{adm} = 136 \text{ N/mm}^2$

(saldatura su acciaio S235)

Verifica a fatica:

$\Delta\sigma_A (II.4) = 40 \text{ N/mm}^2$

$c_{rid, spess} = 1.0$

$c_{rid, sald} = 1.0$

$\Delta\sigma_{adm} (II.4) = c_{rid, spess} \times c_{rid, sald} \times R_c \times \Delta\sigma_A = 1.0 \times 1.0 \times 2.22 \times 40 = 88.8 \text{ N/mm}^2$

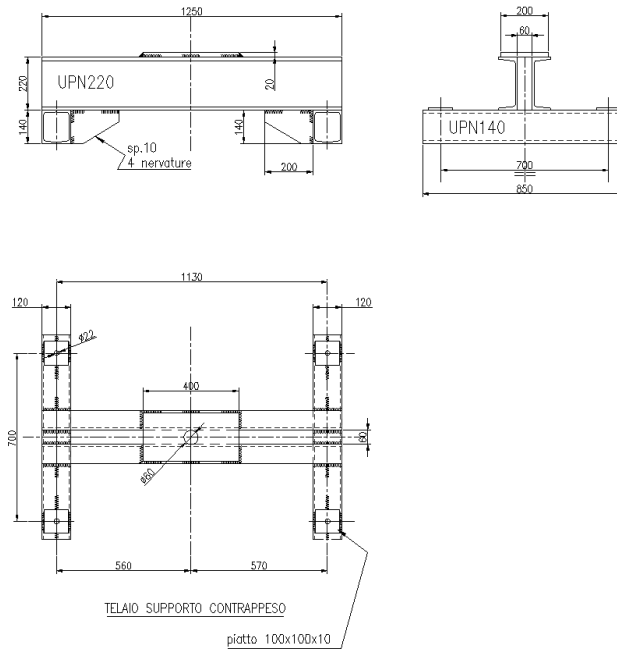
$\sigma = 78.1 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{adm} (II.4) = 88.8 \text{ N/mm}^2$

Pressione specifica

Area di appoggio sugli UPN200: $A \cong 2 \times 275 \times 8.5 = 4675 \text{ mm}^2$

$p = F / A = 163040 / 4675 = 34.9 \text{ N/mm}^2 < 1.35 \sigma_{adm} = 216 \text{ N/mm}^2$

6.3.5. Verifica dei telai dei contrappesi



Peso contrappeso:

$$P_c = 12000 \text{ kg} \cong 120000 \text{ N}$$

Verifica sezione A-A (doppia UPN220)

$$A = 7480 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 3960 \text{ mm}^2$$

$$W = 490000 \text{ mm}^3$$

$$M \cong P_c \times 1130 / 4 = 120000 \times 1130 / 4 = \\ = 33.9 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = P_c / 2 = 120000 / 2 = 60000 \text{ N}$$

$$\sigma = M / W = 33.9 \times 10^6 / 490000 = \\ = 69.2 \text{ Nmm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 60000 / 3960 = 15.2 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 74.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235})$$

Verifica sezione B-B (doppia UPN140)

$$A = 2040 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 1960 \text{ mm}^2$$

$$W = 172800 \text{ mm}^3$$

$$F = P_c / 2 = 120000 / 2 = 60000 \text{ N}$$

$$M = F \times 700 / 4 = 60000 \times 700 / 4 = 10.5 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$T = F / 2 = 60000 / 2 = 30000 \text{ N}$$

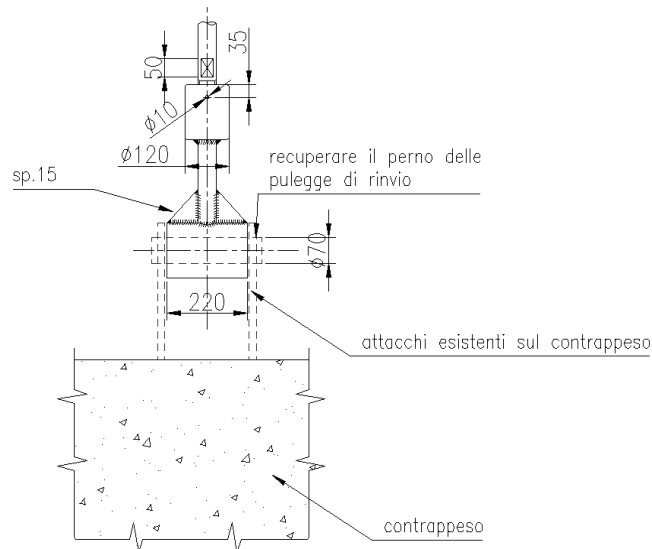
$$\sigma = M / W = 10.5 \times 10^6 / 172800 = 60.8 \text{ Nmm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 30000 / 1960 = 15.3 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 66.3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S235})$$

6.3.6. Verifica dei tiranti dei contrappesi



Verifica barra ø50 con spianatura

Si considerano cautelativamente le caratteristiche di una sezione ø40 mm:

$$A = 1256.6 \text{ mm}^2$$

$$P_c = 12000 \text{ kg} \cong 120000 \text{ N}$$

$$\sigma = P_c / A = 120000 / 1256.6 =$$

$$= 96.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 210 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{acciaio S355})$$

Verifica filettatura M50

$$A_{res} \cong 1470 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P_c / A = 120000 / 1470 =$$

$$= 81.6 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = f_t / 5 = 102 \text{ N/mm}^2$$

(acciaio S355, criteri della Direttiva Macchine)

Verifica saldatura attacco inferiore

$$A \cong 15 \times 220 = 3300 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P_c / A = 120000 / 3300 = 36.4 \text{ N/mm}^2 < 0.7 \sigma_{adm} = 0.7 \times 102 = 71.4 \text{ N/mm}^2$$

Verifica perno attacco inferiore ($\varnothing 70$ mm)

$$A = 3848.5 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 2886.3 \text{ mm}^2$$

$$W = 33674 \text{ mm}^3$$

$$T = P_c / 2 = 120000 / 2 = 60000 \text{ N}$$

$$M \cong P_c L / 8 = 120000 \times 250 / 8 = 3.75 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = M / W = 3.75 \times 10^6 / 33674 = 111.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = T / A_t = 60000 / 2886.3 = 20.8 \text{ N/mm}^2$$

Verifica statica:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 117.0 \text{ N/mm}^2 \cong \sigma_{adm} = 102 \text{ N/mm}^2$$

(perni delle pulegge di rinvio esistenti)

7. CONCLUSIONI

Le verifiche degli elementi di supporto dei contrappesi sono state svolte con i criteri della Direttiva Macchine, considerando un coefficiente a rottura pari a 5.

Il materiale con cui sono realizzati i perni delle pulegge, da recuperare per la connessione dei tiranti ai contrappesi, deve avere almeno le caratteristiche di un acciaio S355JR.