

Università degli studi di Padova

Scuola di Ingegneria

RELAZIONE DI PROVA FINALE

Dipartimento di tecnica e gestione dei sistemi industriali

Corso di Laurea di Ingegneria dell'Innovazione del
Prodotto

A.A. 2020/21

Gruppo di lavoro

Susa Diana

Dal Brun Damiano

Dalla Riva Lorenzo

Tomasi Gabriele

INDICE

DATI DI PROGETTO	3
DISEGNO DI MASSIMA GRU.....	3
SCELTA MATERIALE.....	5
SCELTA CONFIGURAZIONE:	6
POSIZIONAMENTO MARTINETTO	6
CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	7
DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	7
SCELTA DEL MARTINETTO	9
PREDIMENSIONAMENTO STATICO	10
TRAVE VERTICALE.....	11
TRAVE ORIZZONTALE.....	13
SOLUZIONI PROGETTUALI.....	14
SCHEMA STRUTTURALE FINALE.....	15
VERIFICA DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI ADOTTATE:.....	17
PIASTRA FORATA	17
GIUNTO MARTINETTO SULLA TRAVE VERTICALE	22
GIUNTO CERNIERA TRA LE TRAVI	25
GIUNTO MARTINETTO SULLA TRAVE ORIZZONTALE	35
PARTICOLARI DI UNIONE TRA MARTINETTO E GIUNTO SULLA TRAVE.....	39
CATENA E GANCIO DI SOLLEVAMENTO	40
VERIFICA A FATICA COMPLESSIVA.....	48
DIMENSIONAMENTO FINALE.....	50
VERIFICA A DEFORMABILITA'	51
VERIFICA SCHEMA ALZATA MASSIMA BRACCIO ORIZZONTALE (45°):	53
BIBLIOGRAFIA.....	53
DISEGNI PARTICOLARI	54

DATI DI PROGETTO

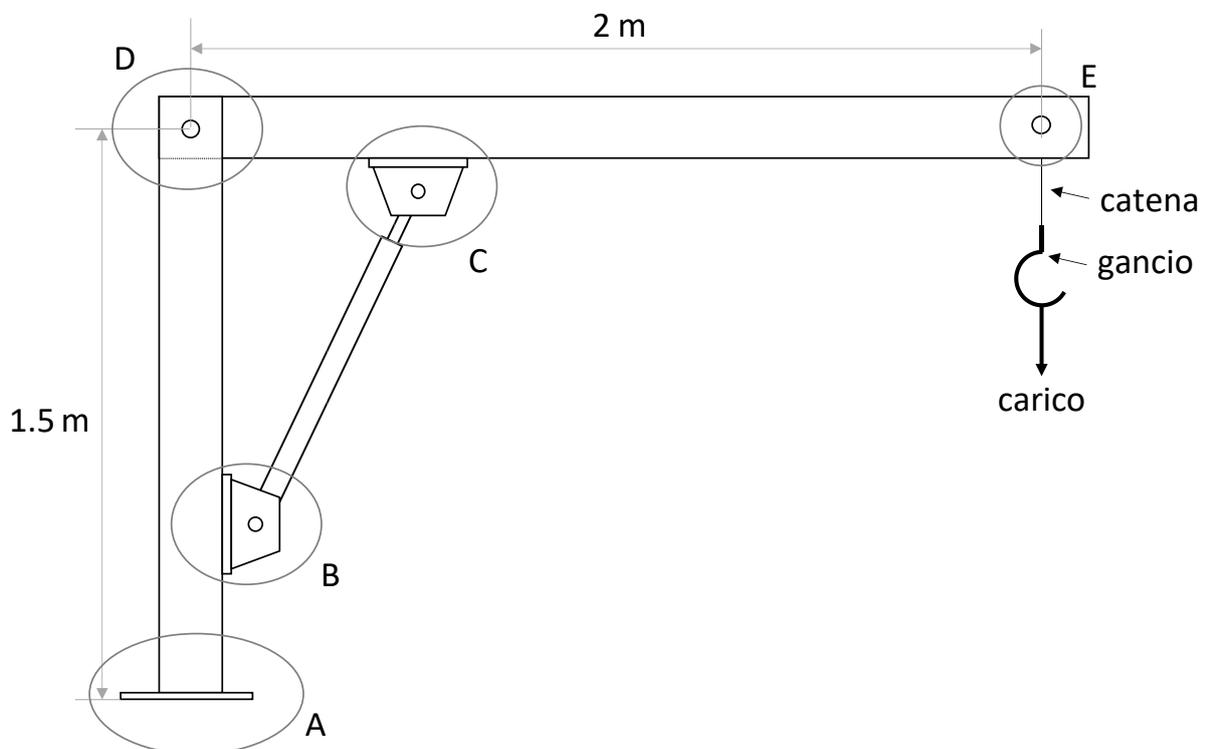
GRU A COLONNA CON MARTINETTO IDRAULICO

L'obiettivo è la progettazione di una gru a colonna con le seguenti caratteristiche tecniche:

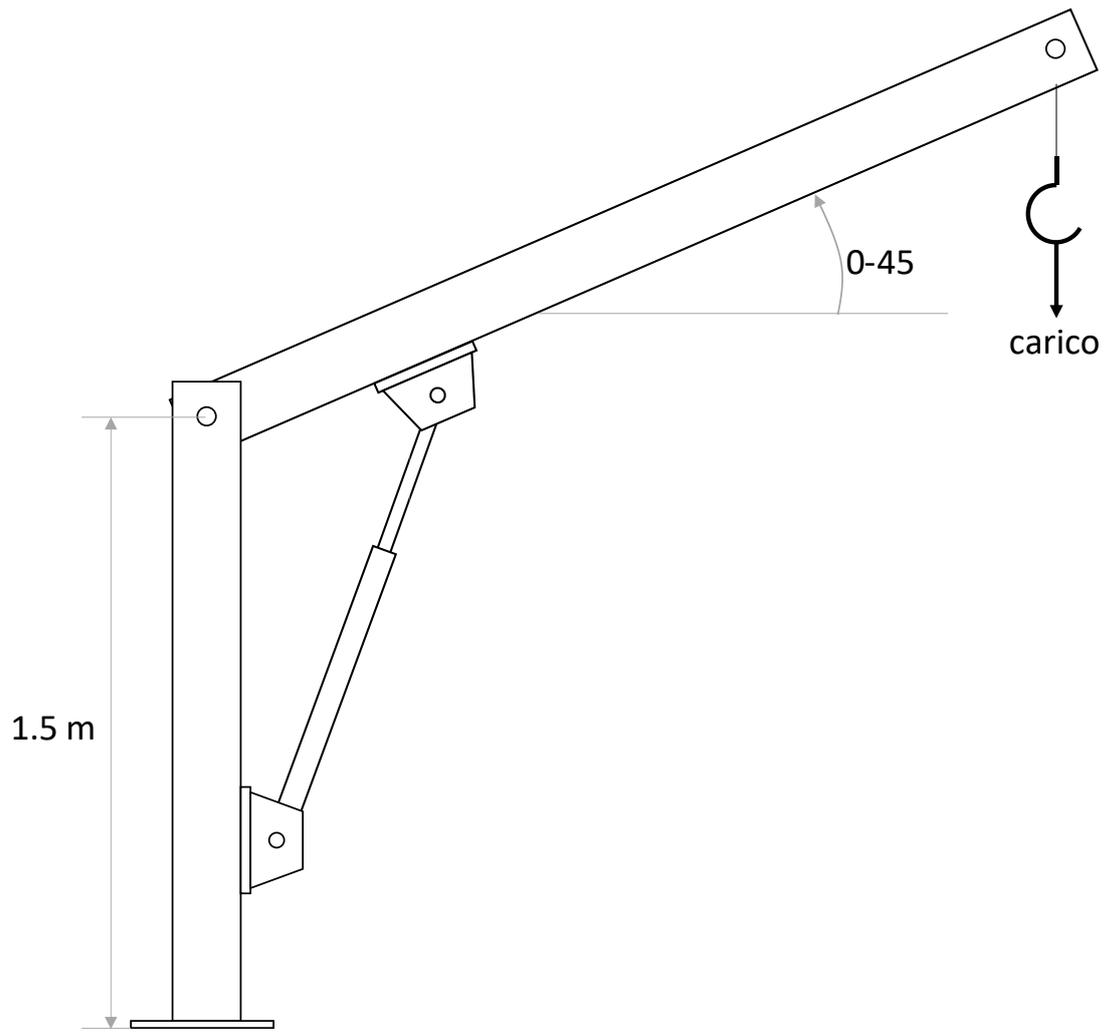
- Braccio orizzontale di lunghezza pari a 2 m;
- Altezza della cerniera D da terra pari a 1.5 m;
- Carico di 1500 kg applicato ad un gancio all'estremità del braccio, con carico supposto applicato in direzione verticale;
- Angolo di rotazione del braccio attorno alla cerniera tra 0° e 45° ;
- Pressione a disposizione nel circuito idraulico pari a 125 bar.
- Martinetto idraulico scelto da catalogo;
- Scegliere la catena ed il gancio di sollevamento;
- Dimensionare le travi, scegliendo i profili da catalogo, in modo da avere un coefficiente di sicurezza statico non inferiore a 2 (tenere in considerazione il peso proprio delle travi);
- Dimensionare i collegamenti saldati, bullonati ed i perni ai punti A, B, C, D, E della struttura;
- Valutare eventuali problematiche di fatica, considerando che la gru effettui 10 sollevamenti al giorno, 300 giorni l'anno, per 10 anni.

DISEGNI DI MASSIMA

Configurazione a 0°



Configurazione a 45°



SCELTA MATERIALE

Il primo materiale preso in considerazione è stato preso in considerazione un acciaio del tipo Weldox 700. Trattasi di un acciaio di tipo altoresistenziale per impieghi strutturali. Il nome deriva dalla tensione di snervamento garantita pari a 700 MPa.

E caratteristiche meccaniche di resistenza

Mechanical properties	Plate thickness	Yield strength ¹⁾	Tensile strength ¹⁾	Elongation ¹⁾
	mm	R _{p0.2} min MPa ²⁾	R _m MPa ²⁾	A ₅ min %
	4,0 - 50,0	700	780-930	14
	50,1 - 100,0	650	780-930	14
	100,1- 130,0	630	710-900	14

Come detto i principali vantaggi del Weldox 700 risiedono nell' alto valore del limite di snervamento e la buona saldabilità, da non trascurare in una struttura che prevede giunti alcuni giunti saldati

Lo svantaggio maggiore, rispetto ad altri acciai strutturali risiede nel prezzo. Infatti al 12 luglio 2020 la quotazione di un profilato in sezioni utili al progetto si attestava a 1230€/to.

Il materiale risulterebbe vantaggioso da un punto di vista economico solamente se si riuscisse a ridurre considerevolmente le sezioni delle 2 travi, abbassando di conseguenza il peso del materiale da acquistare.

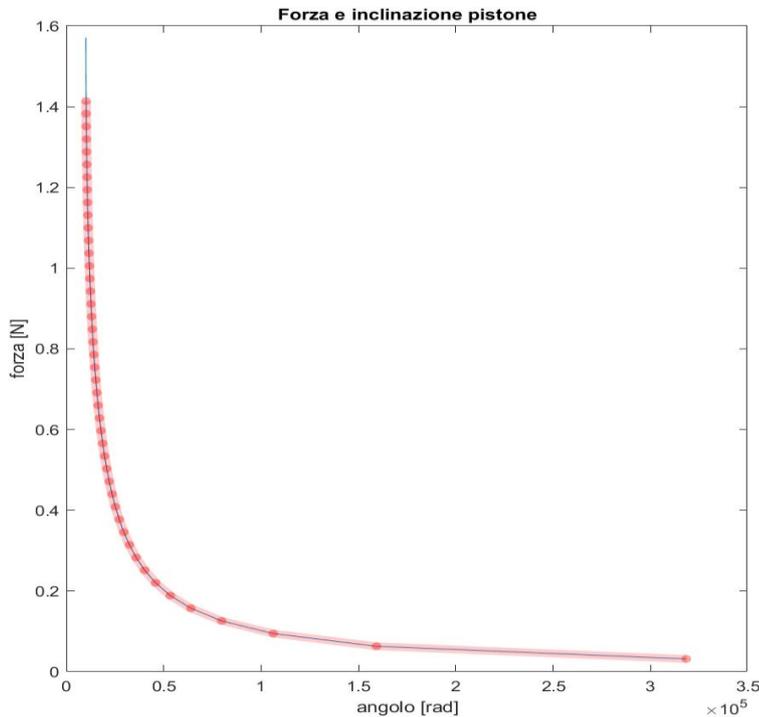
Per raggiungere un risultato di sostanziale equivalenza con un acciaio strutturale (S355J2H) si dovrebbe dimezzare il materiale sulla sezione del materiale (le lunghezze delle travi sono invariati da progetto). Infatti il prezzo dello stesso tubo a sezione rettangolare è di 530€/to
Si riportano per confronto le caratteristiche dell'S355J2H

CARATTERISTICHE MECCANICHE										
stato	LAMINATO A CALDO EN 10025-2:2004 S355J2 1.0577									
Prova di trazione a temperatura ambiente e resilienza a - 20°C in longitudinale										
sezione	mm	R	sezione	mm	ReH min	sezione	mm	A% L	A% T	HB
oltre	fino a	N/mm ²	oltre	fino a	N/mm ²	oltre	fino a	min	min	per informaz
	3	510-680		16	355	3	40	22	20	154-208
3	100	470-630	16	40	345	40	63	21	19	141-192
100	150	450-600	40	63	335	63	100	20	18	135-178
150	250	450-600	63	80	325	100	150	18	18	135-178
250	400	450-600	80	100	315	150	250	17	17	135-178
			100	150	295	250	400	17	17	
modulo elastico		N/mm ²	150	200	285					
E long.		G tang.	200	250	275	oltre	fino a	Kv - 20°C J min **		
220000		84000	250	400	265		150	27		

Considerando le resistenze a rottura dei 2 materiali (rispettivamente ci si rende conto che ciò è difficilmente possibile

SCelta CONFIGURAZIONE:

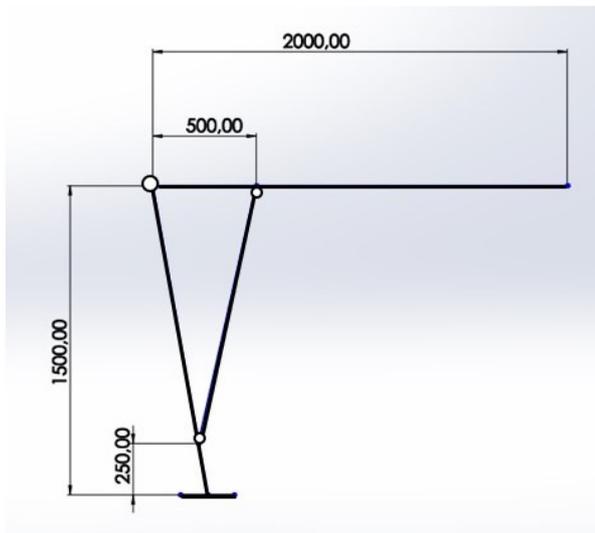
La prima considerazione di progetto è stata osservare le forze che si scaricano sul martinetto in relazione all'inclinazione dello stesso



Posto che la configurazione peggiore per quanto riguarda i carichi è quella a trave superiore orizzontale, si deduce dal grafico che la forza che deve esprimere il martinetto è tanto minore quanto è minore l'inclinazione dello stesso dalla verticale. Per ridurre la forza applicata al pistone, dopo aver valutato varie configurazioni, si è deciso di inclinare la trave orizzontale di 10° dalla verticale.

$$\gamma = 10^\circ;$$

POSIZIONAMENTO MARTINETTO:



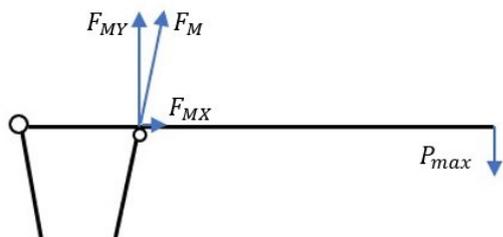
Calcolo angolo di inclinazione martinetto α (rispetto all'asse verticale):

$$BC \cdot \sin \alpha = 500 - 1250 \cdot \sin \gamma = 279,6 \text{ mm};$$

$$BC \cdot \cos \alpha = 1250 \text{ mm};$$

$$\alpha = \text{atan} \left(\frac{279,6}{1250} \right) = 12,61^\circ;$$

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI:



Carico massimo sollevabile:

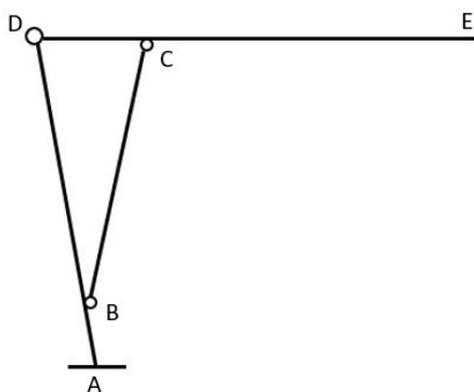
$$P_{max} = 1500 \cdot g = 14715 \text{ N};$$

Forze sul martinetto:

$$F_{MY} = \frac{P_{max} \cdot 2000}{500} = 58860 \text{ N}; \text{ (equilibrio dei momenti)}$$

$$F_M = \frac{F_{MY}}{\cos \alpha} = 60314,40 \text{ N};$$

$$F_{MX} = F_M \cdot \sin \alpha = 13165,39 \text{ N};$$



Forze di vincolo:

$$\sum Y_i = 0$$

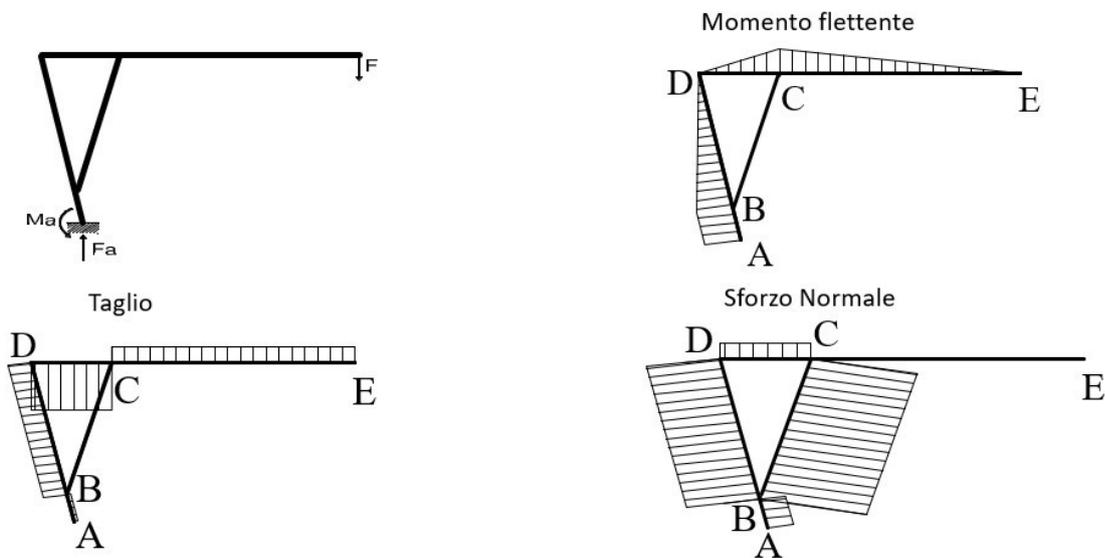
$$Y_A - P_{max} = 0 \Rightarrow Y_A = 14715 \text{ N};$$

$$\sum M_D = 0$$

$$M_A + Y_A \cdot \sin(\gamma) \cdot AB - F_M \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot BD = 0;$$

$$M_A = 25538,02 \text{ Nmm};$$

DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI



Sollecitazioni per ogni punto:

Punto A:

$$M_A = 25538,02 \text{ Nmm};$$

$$F_{YA} = Y_A = 14715 \text{ N};$$

$$F_{XA} = 0;$$

Punto B:

$$M_B = M_A + Y_A \cdot \sin(\gamma) = 26186,69 \text{ Nmm};$$

$$F_{YB} = F_{MY} - Y_A = 44145 \text{ N};$$

$$F_{XB} = F_{MX} = 13165,39 \text{ N};$$

Punto D:

$$M_D = 0;$$

$$F_{YD} = F_{MY} - Y_A = 44145 \text{ N};$$

$$F_{XD} = F_{MX} = 13165,39 \text{ N};$$

Punto C:

$$M_C = P_{max} \cdot CE = 22072,5 \text{ Nmm};$$

$$F_{YC} = F_{MY} - P_{max} = 44145 \text{ N};$$

$$F_{XC} = F_{MX} = 13165,39 \text{ N};$$

Punto E:

$$M_E = 0;$$

$$F_{YE} = P_{max} = 14715 \text{ N};$$

$$F_{XE} = 0;$$

SCELTA PISTONE

Catalogo HY07-1150/IT

Iso MP1

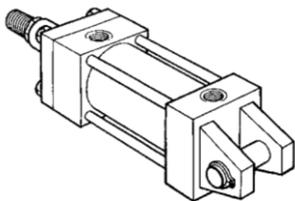
Lunghezza pistone a riposo: 1100mm

Lunghezza pistone esteso: 1488mm

Corsa richiesta: 388mm

La scelta del pistone avviene dal catalogo dell'azienda Parker, seguendo il **Catalogo HY07-1150/IT**

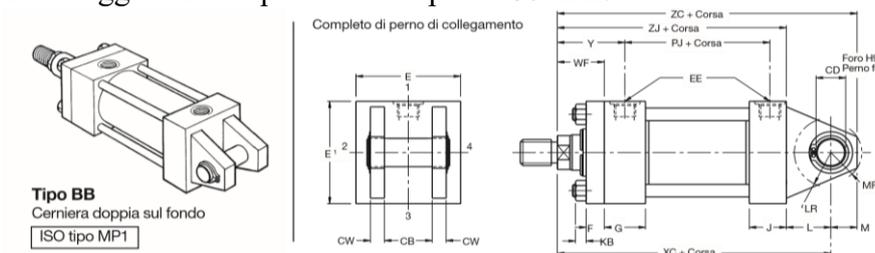
La scelta è ricaduta su un martinetto del tipo **Iso MP1**



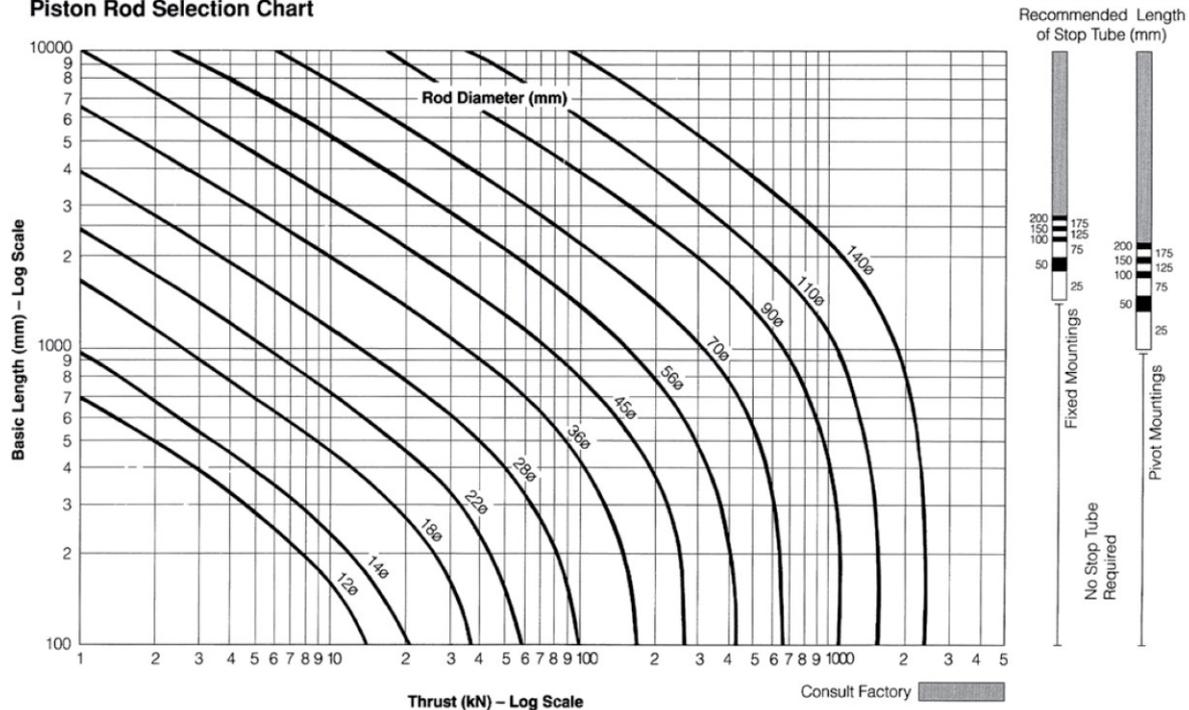
Tra i dati iniziali, era data come vincolo di progetto la massima pressione del circuito idraulico, pari a massimo 125 bar. Incrociando questo dato, con lo sforzo richiesto al martinetto (60314 N in prima approssimazione) si può ricavare dalla sottostante tabella l'alesaggio del pistone.

Ales. Ø mm	Area del pistone mm²	Forza di spinta del cilindro in kN						
		10 bar	40 bar	63 bar	100 bar	125 bar	160 bar	210 bar
25	491	0,5	2,0	3,1	4,9	6,1	7,9	10,3
32	804	0,8	3,2	5,1	8,0	10,1	12,9	17
40	1257	1,3	5,0	7,9	12,6	15,7	20	26
50	1964	2,0	7,9	12,4	20	25	31	41
63	3118	3,1	12,5	20	31	39	50	65
80	5027	5,0	20	32	50	63	80	106
100	7855	7,9	31	50	79	98	126	165
125	12272	12,3	49	77	123	153	196	258
160	20106	20	80	127	201	251	322	422
200	31416	31	126	198	314	393	503	660

L'alesaggio risulta quindi essere pari a **80 mm**.



Dimensionamento diametro stelo Piston Rod Selection Chart



Il fattore di corsa per l'applicazione in esame è pari a 2, per cui la lunghezza base, ottenibile con la formula $L_b = \text{corsa} \times \text{fattore di corsa}$, è pari a 776 mm.

Incrociando tale dato con la forza richiesta al martinetto si ottiene un diametro dello stelo pari a: 36 mm.

PREDIMENSIONAMENTO STATICO:

Per il predimensionamento delle travi viene preso come coefficiente di sicurezza statico un valore superiore a quello progettuale (perché solitamente la verifica a fatica risulterà poi essere più restrigente dal punto di vista dimensionale).

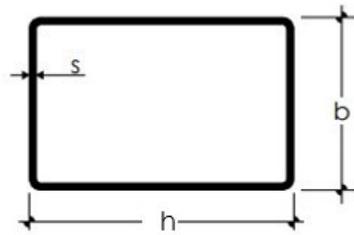
Pertanto viene scelto $\nu_{st} = 2,5$;

Di conseguenza il valore di tensione ammissibile risulta essere:

$$\sigma_{amm} = \frac{\sigma_{sn}}{\nu_{st}} = \frac{355}{3} = 118,33 \text{ MPa};$$

PROFILO TRAVE:

Come profilo della trave viene scelta una trave a cassone a sezione rettangolare.



Tipologia di trave:

Profilati senza saldatura cavi quadrati e rettangolari a caldo EN 10210.

Catalogo di riferimento:

Catalogo azienda *Sicam*.



TRAVE VERTICALE:

Il punto B risulta essere il più sollecitato (momento flettente maggiore).

Per il calcolo delle dimensioni di partenza viene presa soltanto la tensione generata dal momento flettente, in condizioni di incipiente cedimento ($\sigma_{amm} = \sigma_{B,max}^{fl}$).

$$\sigma_{amm} = \sigma_{B,max}^{fl} = \frac{M_B}{J_{zz}} x_{max} = \frac{M_B}{W_f}$$

$$W_f = \frac{M_B}{\sigma_{amm}} = 178 \text{ cm}^4;$$

TABELLA DIMENSIONALE



Dimensione esterna lato b x h mm	Spessore s mm	Massa lineare Kg/m	Area della sezione metallica A cm²	Momento d'inerzia di flessione Ix cm⁴	Momento d'inerzia di flessione Iy cm⁴	Raggio di inerzia ix cm	Raggio di inerzia iy cm	Modulo di resistenza Wx cm³	Modulo di resistenza Wy cm³	Momento d'inerzia di torsione J cm⁴	Modulo di torsione C cm²
150 x 50	4,0	11,90	15,20	394,0	67,40	5,09	2,11	52,50	27,00	192,00	48,40
	5,0	14,70	18,70	476,00	79,70	5,04	2,06	63,40	31,90	230,00	57,20
	6,3	18,20	23,20	572,00	93,30	4,97	2,01	76,30	37,30	273,00	67,10
	7,1	20,30	25,80	627,00	100,00	4,92	1,97	83,60	40,20	2,9700	72,30
	8,0	22,60	28,80	683,00	107,00	4,87	1,93	91,10	43,00	321,00	77,40
	10,0	27,40	34,90	792,00	119,00	4,76	1,85	106,00	47,70	364,00	86,10
150 x 100	5,0	18,60	23,70	739,00	392,00	5,58	4,07	98,50	78,50	807,00	127,00
	6,3	23,10	29,50	898,00	474,00	5,52	4,01	120,00	94,80	986,00	153,00
	7,1	25,90	32,90	990,00	520,00	5,48	3,97	132,00	104,00	1090,00	168,00
	8,0	28,90	36,80	1090,00	569,00	5,44	3,94	145,00	114,00	1200,00	183,00
	8,8	31,50	40,10	1170,00	610,00	5,40	3,90	156,00	122,00	1300,00	196,00
	10,0	35,30	44,90	1280,00	665,00	5,34	3,85	171,00	133,00	1430,00	214,00
	12,5	42,80	54,60	1490,00	763,00	5,22	3,74	198,00	153,00	1680,00	246,00
	14,2	47,70	60,80	1600,00	816,00	5,14	3,66	214,00	163,00	1820,00	263,00
16,0	52,60	67,00	1710,00	862,00	5,05	3,59	228,00	172,00	1950,00	278,00	

Viene quindi scelta da catalogo una trave di dimensioni 150x100x12,5

Grandezze geometriche:

$$J_{zz} = 1,49 \cdot 10^7 \text{ mm}^4;$$

$$\text{Area} = 5460 \text{ mm}^2;$$

Considerando però che la trave sarà poi inclinata di 10°, la sezione della trave (rispetto al sistema di riferimento globale della struttura) avrà le seguenti grandezze geometriche:

$$h = \frac{150}{\cos(\gamma)} = 152,31 \text{ mm}, \quad s(h) = \frac{12,5}{\cos(\gamma)} = 12,69 \text{ mm},$$

$$b = 100 \text{ mm}, \quad s(b) = 12,5 \text{ mm};$$

(N.B. Proprietà calcolate approssimativamente con Solidworks)

Proprietà di sezione della faccia selezionata di Parte1		
Area = 5596.49 millimetri^2		
Centroide relativo all'origine del sistema di coordinate risultati: (millimetri)		
X = 0.00	Y = 0.00	Z = 16.78
Momenti di inerzia dell'area nel centroide: (millimetri ^ 4)		
Lxx = 16041923.15	Lyy = 1.95	Lxz = -0.34
Lyx = 1.95	Lyz = 8454290.10	Lzz = 2743330.43
Lzx = -0.34	Lzy = 2743330.43	Lzz = 23528766.91
Momento polare di inerzia, dell'area nel centroide = 24012490.08 millimetri ^ 4		
Momenti principali d'inerzia dell'area nel centroide: (millimetri ^ 4)		
ix = 7970566.93	iy = 16041923.15	
Momenti di inerzia dell'area, al risultato del sistema di coordinate: (millimetri ^ 4)		
LXX = 17616868.88	LXY = -1.95	LXZ = 0.34
LYX = -1.95	LYY = 10029235.83	LYZ = -2743330.43
LZX = 0.34	LZY = -2743330.43	LZZ = 23528766.91

$$J_{zz} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4;$$

$$\text{Area} = 5596,5 \text{ mm}^2;$$

$$S_{zz} \cong 38766,61 \text{ mm}^3;$$

$$W_f = \frac{J_{zz}}{x_{max}} = 210643 \text{ mm}^3;$$

VERIFICA A RESISTENZA:

Le tensioni agenti su ogni punto vengono calcolate attraverso le seguenti equazioni:

$$\sigma_{fl}^{max} = \frac{M_{fl}}{J_{zz}} x_{max}; \text{ (Navier)}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A};$$

$$\tau_{taglio} = \frac{T S_{zz}}{J_{zz} B}; \text{ (Jourawskj)}$$

Viene poi utilizzato criterio di equivalenza di Von Mises: $\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{tot}^2 + 3\tau^2}$

Verifica: $\sigma_{amm} \geq \sigma_{eq} \vee \sigma_{st}$

Punto A	Punto B	Punto D
TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]
$\sigma_{fless} = \frac{M_A}{W_f} = 121,24$	$\sigma_{fless} = \frac{M_B}{W_f} = 124,32$	$\sigma_{fless} = \frac{M_D}{W_f} = 0$
$\sigma_N = \frac{F_{AY}}{A} = 2,63$	$\sigma_N = \frac{F_{BY}}{A} = 7,89$	$\sigma_N = \frac{F_{DY}}{A} = 7,89$
$\tau_{taglio} = \frac{F_{AX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 0$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{BX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 2,51$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{DX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 2,51$
$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} - \sigma_N = \mathbf{118,61}$	$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 132,28$	$\sigma_{tot} = \sigma_N = 7,89$
$\sigma_{eqA} = \mathbf{118,61}$	$\sigma_{eqB} = 116,5$	$\sigma_{eqD} = 9,00$
$v_{st,A} = 2,99$	$v_{st,B} = 2,68$	$v_{st,D} = 39,43$

TRAVE ORIZZONTALE:

Il punto più sollecitato è il punto C dove si trovano sollecitazioni di taglio e flessione. Si esegue la verifica a resistenza sullo stesso profilo scelto per la trave verticale.

VERIFICA A RESISTENZA:

Trave rettangolare di dimensioni 150x100x12,5

Grandezze geometriche:

$$J_{zz} = 1,49 \cdot 10^7 \text{ mm}^4;$$

$$\text{Area} = 5460 \text{ mm}^2;$$

Le tensioni agenti su ogni punto della trave orizzontale:

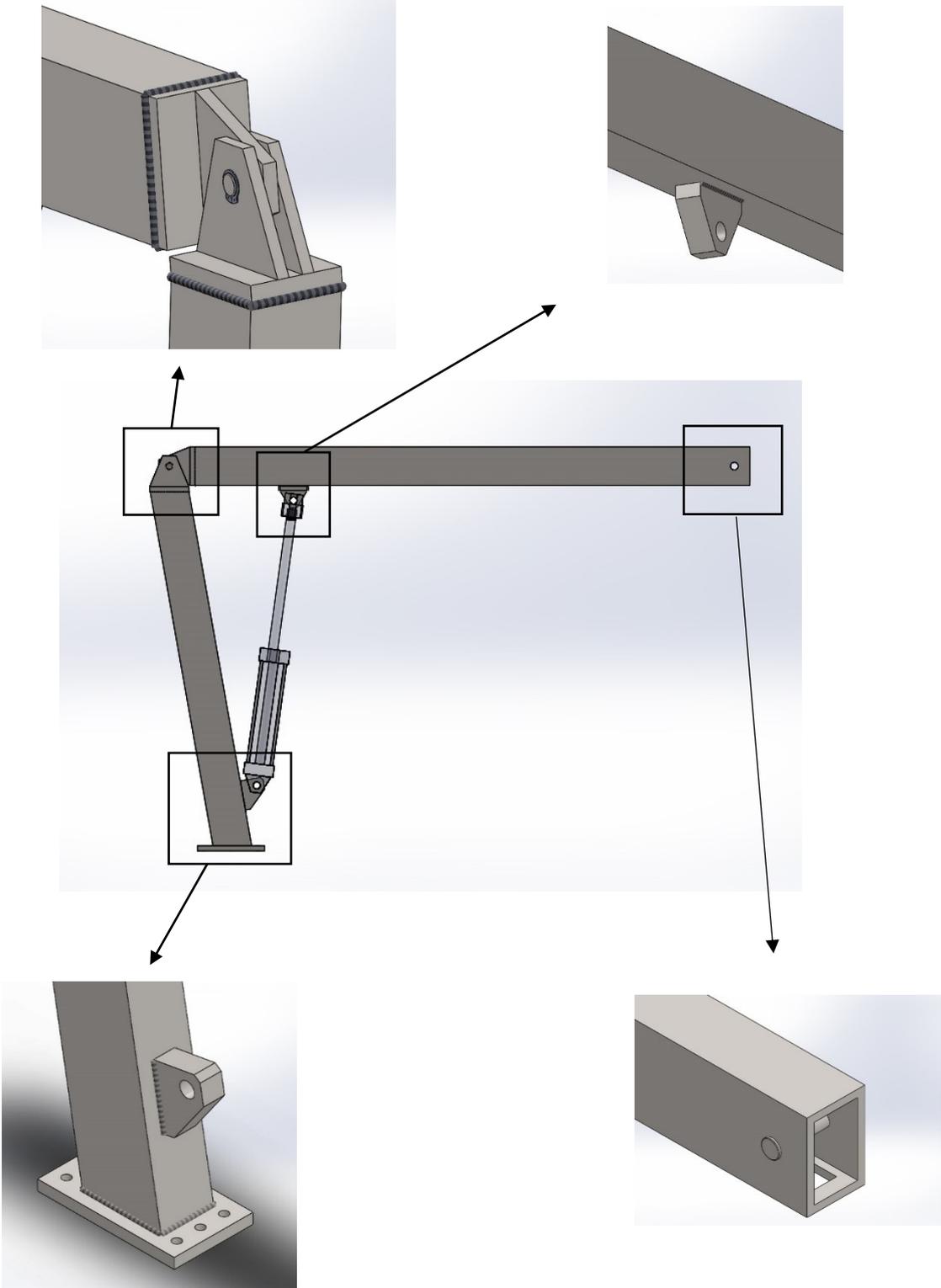
$$\sigma_{fl}^{max} = \frac{M_{fl}}{J_{zz}} x_{max} \quad \sigma_N = \frac{N}{A} \quad \tau_{taglio} = \frac{T S_{zz}}{J_{zz} B}$$

Viene poi utilizzato criterio di equivalenza di Von Mises: $\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{tot}^2 + 3\tau^2}$

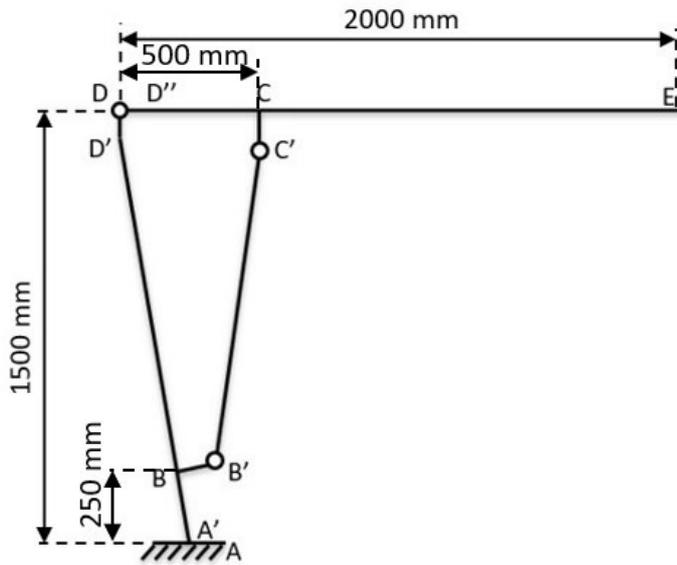
Verifica: $\sigma_{amm} \geq \sigma_{eq} \vee \sigma_{st}$

Punto C	Punto E
TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]
$\sigma_{fless} = \frac{M_C}{W_f} = 111.1$	$\sigma_{fless} = \frac{M_E}{W_f} = 0$
$\sigma_N = \frac{F_{CY}}{A} = 2.41$	$\sigma_N = \frac{F_{EY}}{A} = 0$
$\tau_{taglio} = \frac{F_{CY} S_{zz}}{J_{zz} B} = 8.9$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{EX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 2.97$
$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 114.6$	$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 0$
$\sigma_{eqC} = 113.51$	$\sigma_{eqE} = 5.15$
$v_{st,C} = 3.1$	$v_{st,E} = 69$

SOLUZIONI PROGETTUALI:



SCHEMA STRUTTURALE FINALE:



DIMENSIONI:

$$AA' = 15 \text{ mm};$$

$$DD' = 100 \text{ mm};$$

$$DD'' = 100 \text{ mm};$$

$$BB' = 135 \text{ mm};$$

$$CC' = 134 \text{ mm};$$

Nello studio dello schema finale viene preso in considerazione anche il peso delle due travi che compongono la gru:

$$\text{Peso travi } 150 \times 100 \times 12,5 = 42,8 \text{ [kg/m]}$$

$$P_{vert} = 42,8 \cdot 1,38 \cdot g = 590,49 \text{ [N]}$$

$$P_{oriz} = 42,8 \cdot 2,0 \cdot g = 797,75 \text{ [N]}$$

Da queste nuove considerazioni si ricava una nuova configurazione del martinetto in termini di inclinazione e carico massimo:

$$\alpha_{martinetto} = 8,55^\circ$$

$$F_m = 5884,53 \text{ N};$$

Di seguito vengono riportati le nuove sollecitazioni agenti nei punti più significativi dello schema:

Punto A':

$$M'_A = 26407 \text{ [Nm]}$$

$$F'_{YA} = 16103,2 \text{ [N]}$$

$$F'_{XA} = 0;$$

Punto B:

$$M_B = 19915 \text{ [Nm]}$$

$$F_{BY} = 42087,2 \text{ [N]}$$

$$F_{BX} = 8749,4 \text{ [N]}$$

Punto D':

$$M'_D = 874,9 \text{ [Nm]}$$

$$F'_{YD} = 42677,7 \text{ [N]}$$

$$F'_{XD} = 8749,4 \text{ [N]}$$

Punto D'':

$$M_D'' = 4267,8 \text{ [Nm]}$$

$$F_{XD}'' = 8749,4 \text{ [N]}$$

$$F_{YD}'' = 42677,7 \text{ [N]}$$

Punto C:

$$M_C = 21338,8 \text{ [Nm]}$$

$$F_{CX} = 8749,4 \text{ [N]}$$

$$F_{CY} = 42677,7 \text{ [N]}$$

Punto E:

$$M_E = 0 \text{ [Nm]}$$

$$F_{EX} = 0 \text{ [N]}$$

$$F_{EY} = 14715 \text{ [N]}$$

Nuova verifica a resistenza:

Punto A'	Punto B	Punto D'
TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]
$\sigma_{fless} = \frac{M_{A'}}{W_f} = 125,36$	$\sigma_{fless} = \frac{M_B}{W_f} = 94,54$	$\sigma_{fless} = \frac{M_{D'}}{W_f} = 4,15$
$\sigma_N = \frac{F_{YA'}}{A} = 2,88$	$\sigma_N = \frac{F_{BY}}{A} = 7,52$	$\sigma_N = \frac{F_{YD'}}{A} = 7,63$
$\tau_{taglio} = \frac{F_{XA'} S_{zz}}{J_{zz} B} = 0$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{BX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 1,67$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{XD'} S_{zz}}{J_{zz} B} = 1,67$
$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} - \sigma_N = 122,49$	$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 102,06$	$\sigma_{tot} = \sigma_N = 11,82$
$\sigma_{eqA'} = 122,49$	$\sigma_{eqB} = 102,1$	$\sigma_{eqD'} = 12,13$
$v_{st,A'} = 2,90$	$v_{st,B} = 3,48$	$v_{st,D'} = 29,27$

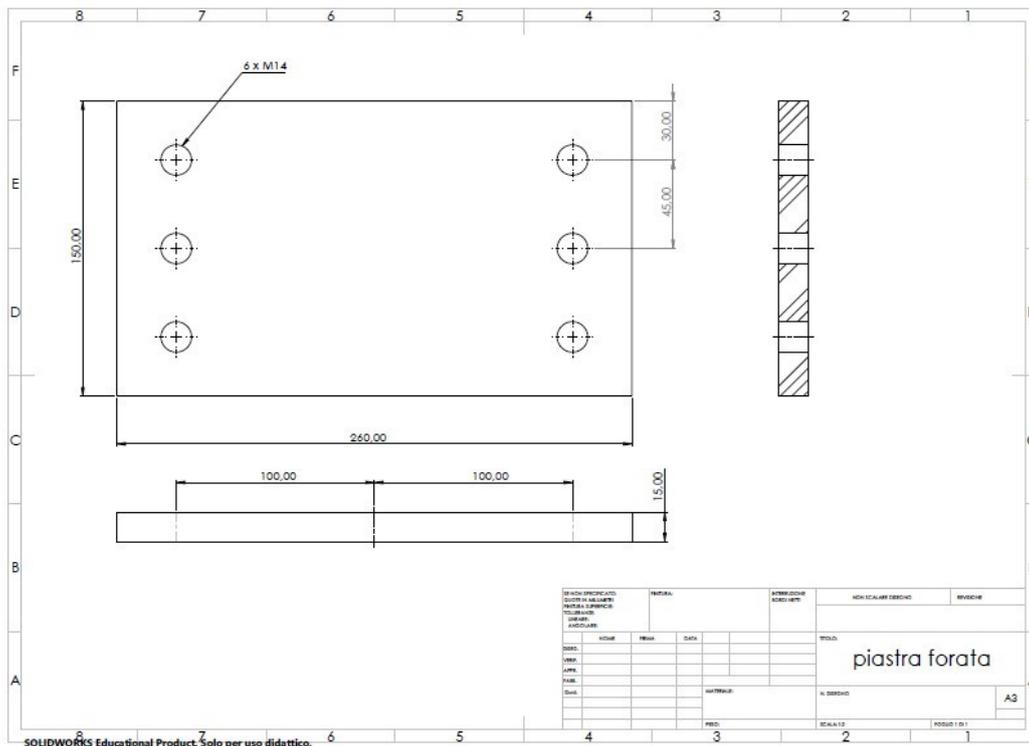
Punto C	Punto E
TENSIONI [MPa]	TENSIONI [MPa]
$\sigma_{fless} = \frac{M_C}{W_f} = 107,41$	$\sigma_{fless} = \frac{M_E}{W_f} = 0$
$\sigma_N = \frac{F_{CY}}{A} = 1,6$	$\sigma_N = \frac{F_{EY}}{A} = 0$
$\tau_{taglio} = \frac{F_{CX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 8,61$	$\tau_{taglio} = \frac{F_{EX} S_{zz}}{J_{zz} B} = 2,97$
$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 109,01$	$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 0$
$\sigma_{eqC} = 108,44$	$\sigma_{eqE} = 5,14$
$v_{st,C} = 3,3$	$v_{st,E} = 69$

VERIFICA DEI GIUNTI:

PIASTRA FORATA:

Viene progettata una piastra alla base della gru come sistema di fissaggio al suolo attraverso una bullonatura.

La piastra viene fissata alla trave verticale attraverso una saldatura ad angolo perimetrale.



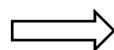
Riferimento per dimensionamento e verifica: UNI 10011

Dimensioni:

Per la scelta delle dimensioni è necessario scegliere prima la dimensione dei bulloni per il sistema di fissaggio al suolo. Come scelta di primo tentativo viene presa una vite M14 – 8.8 .

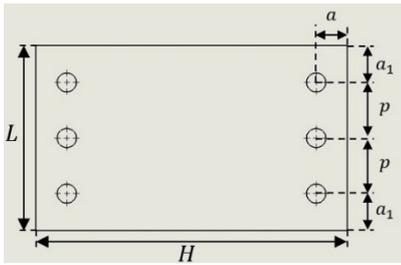
Da questa scelta si possono quindi ricavare le dimensioni minime che deve avere la piastra (in riferimento alla normativa):

- $p \geq 3 d_{foro} \Rightarrow p \geq 42mm;$
- $a_1 \geq 1,5 d_{foro} \Rightarrow a_1 \geq 21mm;$
- $a \geq 2 d_{foro} \Rightarrow a \geq 28mm;$



Dimensioni minime piastra:

- $H \geq 98mm;$
- $L \geq 126mm$



Dimensioni scelte:

- $H = 260 \text{ mm};$
- $L = 150 \text{ mm};$
- $p = 45 \text{ mm};$
- $a_1 = 30 \text{ mm};$
- $a = 30 \text{ mm};$

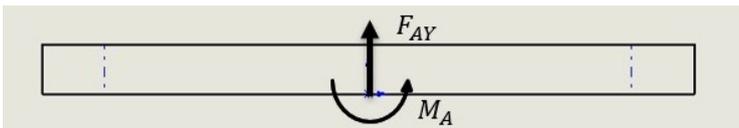
VERIFICA BULLONATURA:

Viti: M14 – 8.8

Dimensioni: $d = 14 \text{ mm}; A_{res} = 115 \text{ mm}^2;$

Proprietà meccaniche: $f_t = 800 \text{ MPa}; f_y = 640 \text{ MPa}; f_{k,n} = \max\{f_y; 0,7f_t\} = 560 \text{ MPa};$

Verifica RESISTENZA bullonatura:



I carichi agenti sui bulloni producono solo trazione in questo caso.

Per la verifica a trazione, viene calcolato come i carichi presenti si distribuiscono su ogni singolo bullone, e in seguito viene fatta la verifica prendendo come riferimento il bullone più sollecitato.

Contributo del carico flessionale: $N_{fl} = \frac{M_a}{n_f \sum x_i} x_{i,max}^2 = 28635,73 \text{ N};$

Contributo del carico normale: $N_N = \frac{F_{ay}}{n_b} = 2683,87 \text{ N};$

Sforzo normale totale: $N_{tot} = 31319,60 \text{ N};$

Per la verifica a trazione viene preso come riferimento la Normativa UNI 10011

Forza di serraggio: $N_s = 0,8 f_{k,n} A_{res} = 51520 \text{ N};$

$N_{tot} \leq \frac{N_s}{1,25} \Rightarrow 31319,60 \text{ N} \leq 41216 \text{ N};$ **Verifica soddisfatta**

Verifica a FATICA bullonatura:

Carichi: Considerando il bullone più sollecitato si ha $N_{max} = 31319,60 \text{ N};$

Ripartizione carico bullone/piastra: La ripartizione del carico tra bullone e piastra viene sintetizzata attraverso il parametro $C = \text{costante di rigidità del giunto} = \frac{k_b}{k_b + k_p} \cong \frac{1}{9};$

si ottiene quindi la seguente ripartizione dei carichi:

$F_{bullone} = C N_{max} = 3479,96 \text{ N};$

$$F_{piastra} = (1 - C) N_{max} = 27839,65 \text{ N};$$

Infine, viene considerata anche la presenza di un precarico dovuto al serraggio della bullonatura:

$$F_i = 0,8 \cdot A_{res} \cdot f_{k,n} = 51520 \text{ N};$$

Lo studio a fatica viene fatto prendendo come valore del rapporto di ciclo $R = 0$;

Con questo rapporto di ciclo viene quindi calcolato il range di variabilità del carico agente sul bullone più sollecitato:

$$F_{min} = F_{min,b} + F_i = F_i;$$

$$F_{max} = F_{max,b} + F_i = C N_{max} + F_i;$$

Semplificando l'andamento del carico variabile con un andamento di tipo sinusoidale si ottengono i seguenti valori di tensione di riferimento:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{F_{max} - F_{min}}{2 A_{res}} = \frac{C N_{max}}{2 A_{res}} = 15,13 \text{ MPa}; \text{ (ampiezza di tensione)}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{F_{max} + F_{min}}{2 A_{res}} = \frac{C N_{max}}{2 A_{res}} + \frac{F_i}{A_{res}} = 463,13 \text{ MPa}; \text{ (tensione media)}$$

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_{res}} = 448 \text{ MPa}; \text{ (tensione di precarico)}$$

Costruzione curva di fatica (Goodman – Smith):

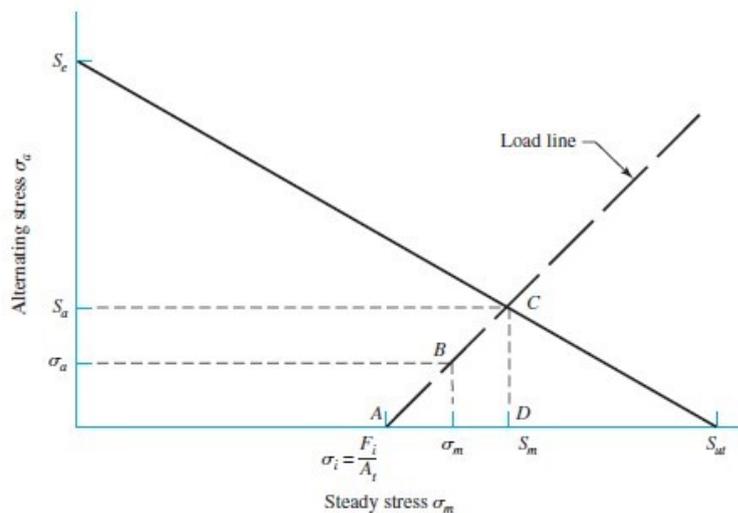
$$S_{ut} = f_t = 800 \text{ MPa};$$

$$S_y = f_y = 640 \text{ MPa};$$

$S_e = 129 \text{ MPa}$; (Valore tabellato per viti serie metrica, classe 8.8, rolled threads, tiene già in considerazione tutti i fattori di riduzione)

Grade or Class	Size Range	Endurance Strength
SAE 5	$\frac{1}{4}$ –1 in	18.6 kpsi
	$1\frac{1}{8}$ – $1\frac{1}{2}$ in	16.3 kpsi
SAE 7	$\frac{1}{4}$ – $1\frac{1}{2}$ in	20.6 kpsi
SAE 8	$\frac{1}{4}$ – $1\frac{1}{2}$ in	23.2 kpsi
ISO 8.8	M16–M36	129 MPa
ISO 9.8	M1.6–M16	140 MPa
ISO 10.9	M5–M36	162 MPa
ISO 12.9	M1.6–M36	190 MPa

*Repeatedly applied, axial loading, fully corrected, including K_f as a strength reducer.



Valori di riferimento per il limite di fatica (S_a e S_m) ricavati dall'intersezione delle due linee (Load line e Goodman line):

$$S_a = \frac{S_e \sigma_a (S_{ut} - \sigma_i)}{S_{ut} \sigma_a + S_e (\sigma_m - \sigma_i)} = 48,88 \text{ MPa};$$

$$S_m = S_a + \sigma_i = 496,88 \text{ MPa};$$

La verifica a fatica viene fatta calcolando il coefficiente di sicurezza in tensione, prendendo come valore di riferimento 1,5.

$$v_f = \frac{S_a}{\sigma_a} = 3,23; \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Verifica SALDATURA:

Saldatura:

Cordone ad angolo perimetrale;

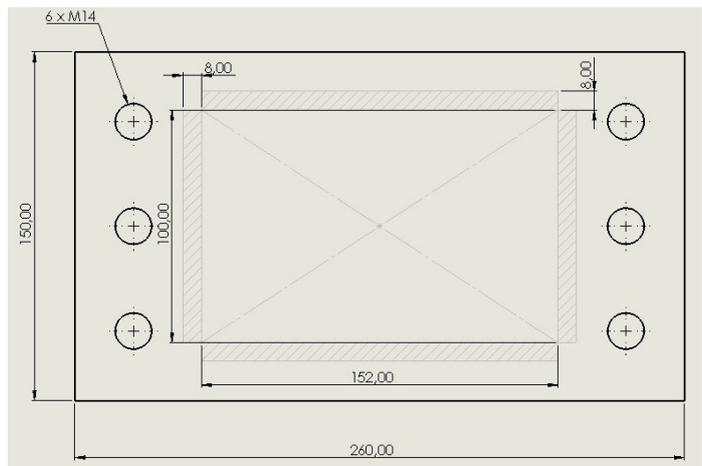
Materiale: S355 ($\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$);

Dimensioni:

$a = 8 \text{ mm}$; $H \cong 152 \text{ mm}$; $B = 100 \text{ mm}$;

Proprietà geometriche:

$$J_f \cong \frac{1}{6} a H^3 + \frac{1}{2} a B h^2 = 1,45 \cdot 10^7 \text{ mm}^4;$$



Per comodità viene studiato il cordone diviso in 4 cordoni (2 laterali e 2 frontali).

Verifica RESISTENZA:

Viene studiato il punto più sollecitato sia del cordone frontale che del cordone laterale.

Cordone FRONTALE:

$$\text{Sforzo di trazione: } \sigma_{tr} = \frac{F_{ay}}{A} = \frac{F_{ay}}{2aH+2aB} = 3,99 \text{ MPa};$$

$$\text{Sforzo di flessione: } \sigma_{fl} = \frac{M_a}{J_f} x_{max} = 148,23 \text{ MPa};$$

$$\text{Complessivamente si ottiene: } \sigma_{\perp} = \sigma_{fl} + \sigma_{tr} = 152,22 \text{ MPa};$$

Cordone LATERALE:

$$\text{Sforzo di trazione: } \sigma_{tr} = \frac{F_{ay}}{A} = \frac{F_{ay}}{2aH+2aB} = 3,99 \text{ MPa};$$

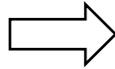
$$\text{Sforzo di flessione: } \sigma_{fl} = \frac{M_a}{J_f} x_{max} = 134,15 \text{ MPa};$$

Complessivamente si ottiene: $\sigma_{\perp} = \sigma_{fl} + \sigma_{tr} = 138,14 \text{ MPa}$;

Verifica:

Normativa: UNI 10011

$$\sigma_{\perp} \leq 0,7 \sigma_{amm}$$



Cordone FRONTALE:

$$152,22 \text{ MPa} \leq 168 \text{ MPa} \quad \textbf{(Verifica soddisfatta)}$$

Cordone LATERALE:

$$138,14 \text{ MPa} \leq 168 \text{ MPa} \quad \textbf{(Verifica soddisfatta)}$$

Verifica a FATICA:

100		<p>Saldatura a penetrazione parziale fatta da una parte sola. È richiesta un'ottima aderenza del lembo saldato ed una spalla adeguata ad evitare eccessi o irregolarità.</p>
-----	--	---

Il valore della $\Delta\sigma_A$ non dev'essere corretto, in quanto le 2 parti che compongono il giunto saldato non hanno spessore maggiore di 25 mm

Viene anche corretto invece con il coefficiente $\gamma_{MF} = 1,25$, per componenti critici non fail safe con buona accessibilità.

$$\Delta\sigma_{A,2x10^6} = \Delta\sigma_A / 1.25 = 80 \text{ MPa}.$$

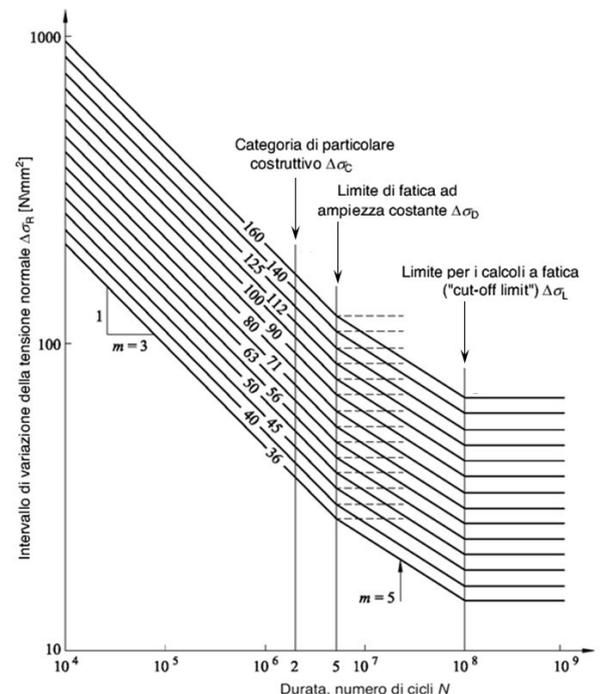
Il numero di cicli richiesto da progetto è pari a 30000 nell'arco di 10 anni, si rientra quindi nell'area del grafico riportato con m pari a 3.

Avendo appena calcolato il $\Delta\sigma_{A,2x10^6}$ si può calcolare il $\Delta\sigma_{A,3x10^4}$

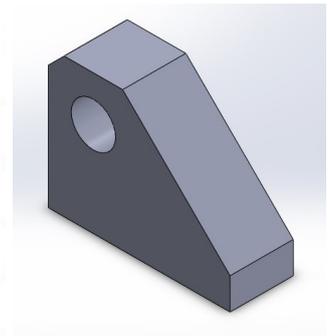
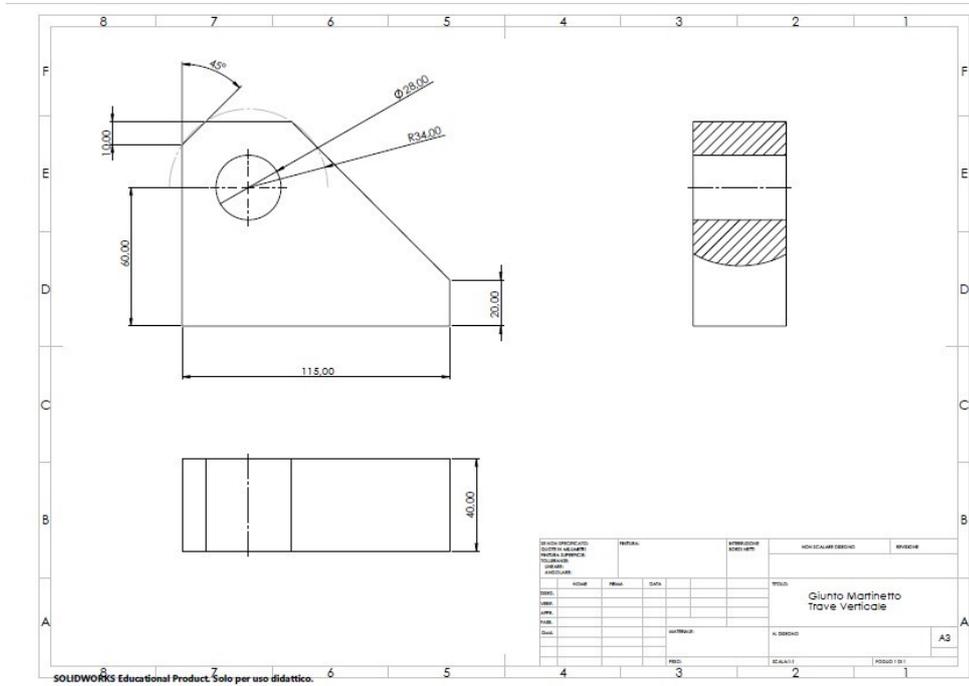
$$\Delta\sigma_{A,3x10^4} = \Delta\sigma_{A,2x10^6} * \left(\frac{2*10^6}{3*10^4} \right)^{\frac{1}{3}} = 324.38 \text{ MPa}$$

Considerando che il punto più sollecitato della saldatura in esame ha un valore massimo di σ_{eq} pari a 150,0 Mpa, nel cordone più sollecitato si evince che il particolare è verificato a fatica con un coefficiente

$$v_{\sigma} = 2,13$$



GIUNTO MARTINETTO SULLA TRAVE VERTICALE:



Materiale: S355 J2H

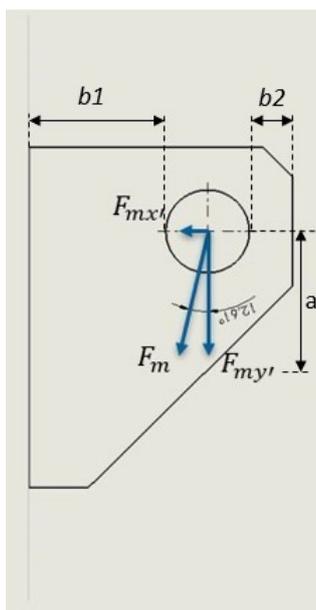
$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$;

Verifica resistenza giunto:

La verifica a resistenza del giunto viene eseguita prendendo come riferimento la normativa UNI 10011.

Verifica a TRAZIONE:

(Non si considera $F_{mx'}$ perché è una forza di compressione)



$$b_1 = 26 \text{ mm}; b_2 = 14,52 \text{ mm};$$

$$a = 46,8 \text{ mm}; t = 40 \text{ mm};$$

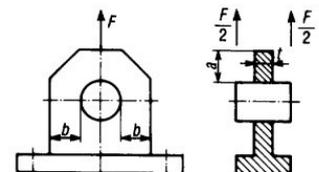
$$F = F_{my'} = F_m \cos(\alpha + \gamma) = 55787,07 \text{ N};$$

$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 1620,8 \text{ mm}^2 \geq 325,42 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq F / \sigma_{amm} \Rightarrow 1872 \text{ mm}^2 \geq 232,45 \text{ mm}^2 ;$$

$$2 b t \geq 1,4 F / \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

$$t a \geq F / \sigma_{adm}$$



Verifica soddisfatta

Verifica a RIFOLLAMENTO:

$$F_m = 58844,53 \text{ N} ;$$

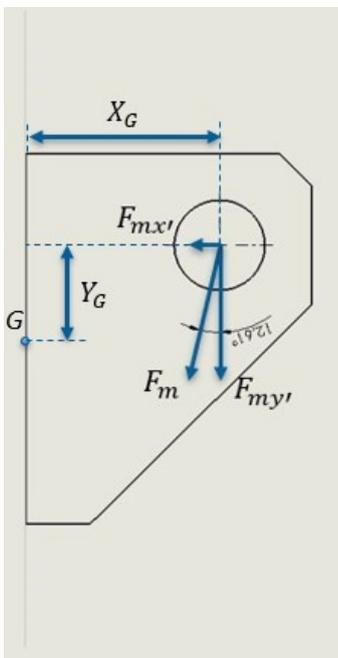
$$\sigma_{rif} = \frac{F_m}{d_{foro} * t} = 52,54 \text{ MPa} ;$$

$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{amm} \Rightarrow 52,54 \text{ MPa} \leq 324 \text{ MPa} ;$$

$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

Verifica soddisfatta

Verifica Saldatura:



Viene fatta una saldatura ad angolo con solo i due cordoni laterali;

Come valore iniziale di calcolo viene presa la sezione di gola della saldatura pari ad $a = 7 \text{ mm}$.

Materiale con cui viene fatta la saldatura: S355.

Verifica a RESISTENZA:

$$X_G = 60 \text{ mm}; Y_G = 28,98 \text{ mm};$$

$$h = 115 \text{ mm};$$

$$J_{zz} = 2 * \frac{1}{12} ah^3 = 1,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^4;$$

Condizioni di sollecitazione	Giunzioni saldate		
	Limitazioni \leq	S235 (Fe360)	S275 (Fe 430) S 355 (Fe 510)
	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$ $ \tau_{\perp} + \tau_{\parallel} $	$0,85 \sigma_{amm}$ σ_{amm}	$0,7 \sigma_{amm}$ $0,85 \sigma_{amm}$
	$ \sigma_{\perp} + \tau_{\parallel} $ $ \tau_{\perp} , \sigma_{\parallel} $	σ_{amm} $0,85 \sigma_{amm}$	$0,85 \sigma_{amm}$ $0,7 \sigma_{amm}$
	$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$ \tau_{\perp} $	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$ \sigma_{\perp} $	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$ \tau_{\parallel} $	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$

$$M_f = F_{my'} X_G - F_{mx'} Y_G = 2804,69 * 10^3 \text{ Nmm} ;$$

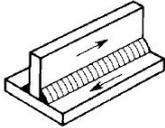
$$\sigma_{\perp} = \frac{M_f}{J_{zz}} y_{max} - \frac{F_{mx'}}{2ah} = 79,26 \text{ MPa} ;$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{my'}}{2ah} = 34,65 \text{ MPa} ;$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = 86,50 \text{ MPa} \leq 168 \text{ MPa}$$

Verifica soddisfatta

Verifica a FATICA:

80		<p>Giunzioni a T saldate. Sezione di rottura: sezione longitudinale di gola dei cordoni di saldatura oppure sezione longitudinale dell'anima.</p>
----	---	---

Viene presa a riferimento una saldatura manuale e corretta per lo spessore del giunto saldato, pari a 40 mm

$$\Delta\sigma_{A,t} = \Delta\sigma_A \sqrt[4]{\frac{25}{t}} = 71,13 \text{ MPa};$$

Viene anche corretta con il coefficiente YMF pari a 1,25, per componenti critici non fail safe, con una buona accessibilità

$$\Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} = \frac{\Delta\sigma_A}{1,25} = 56,90 \text{ MPa};$$

Il numero di cicli richiesto da progetto è pari a 30000 nell'arco di 10 anni, si rientra quindi nell'area del grafico riportato con m pari a 3.

Avendo appena calcolato il $\Delta\sigma_{A,2 \times 10^6}$ si può calcolare il $\Delta\sigma_{A,3 \times 10^4}$

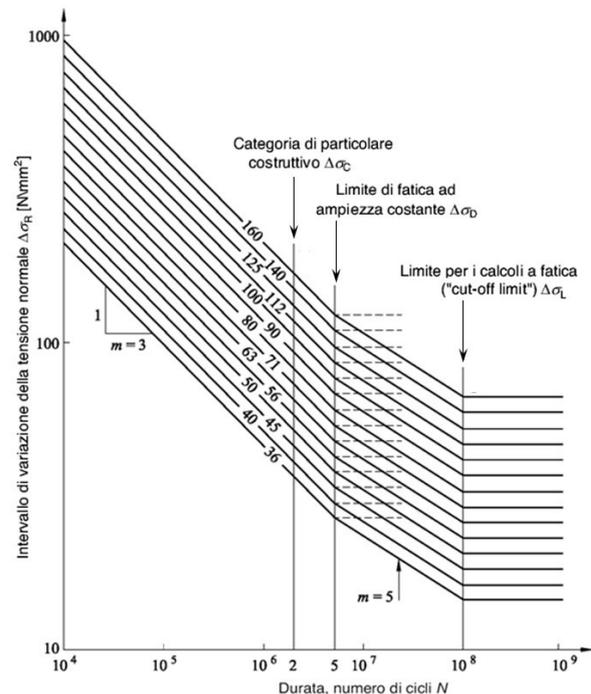
$$\Delta\sigma_{A,3 \times 10^4} = \Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} * \left(\frac{2 * 10^6}{3 * 10^4}\right)^{\frac{1}{3}} = 230,71 \text{ MPa}$$

Considerando che il punto più sollecitato della saldatura in esame ha un valore massimo di σ_{eq} pari a 79,95 MPa si evince che il particolare è verificato a fatica con un coefficiente

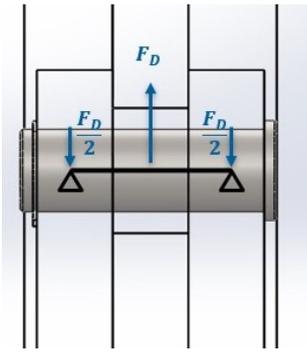
$$v_\sigma = 2,67$$

Verificata la saldatura sia a resistenza che a fatica, dal momento che risulta più che verificata, si decide quindi di diminuire le dimensioni della saldatura.

Dopo vari tentativi si decide di usare come dimensione della sezione di gola $a = 5 \text{ mm}$.



Il perno viene semplificato, come schema strutturale, a una trave a due appoggi.



$$L = 27,5 \text{ mm};$$

$$F_D = 43565,32 \text{ N};$$

$$M_f = \frac{F_D L}{4} = 299511,55 \text{ Nmm};$$

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{M_f}{\pi \sigma_{amm}}} = 21,26 \text{ mm} \Rightarrow d = 23 \text{ mm};$$

Dal dimensionamento si ottiene il diametro del perno $d = 23 \text{ mm}$;

Verifica RESISTENZA:

Con le dimensioni ottenute viene fatta poi la corretta verifica a resistenza del perno.

$$\text{Contributo flessionale: } \sigma_{fl} = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}} = 250,74 \text{ MPa};$$

$$\text{Contributo forze di taglio: } \tau_{taglio} = 2 \frac{\frac{F_D}{2}}{A} = 104,86 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{fl}^2 + 3 \tau_{taglio}^2} = 309,61 \text{ MPa};$$

$$\text{Verifica: } \sigma_{eq}^{V.M.} \leq \sigma_{amm} \Rightarrow 309,61 \text{ MPa} \leq 317,5 \text{ MPa};$$

Verifica soddisfatta

Verifica a FATICA:

Oltre alla verifica a resistenza viene fatta anche la verifica a fatica del perno, dal momento che complessivamente si avrà una storia di carico variabile nel tempo, con rapporto di ciclo $R = 0$.

I fattori di riduzione vengono calcolati graficamente prendendo come riferimento il diametro d del perno.

$$K_l = 1,1; \quad K_d = 1,15; \quad K_t = 1;$$

$$R = 0;$$

$$N \text{ cicli} = 3 \cdot 10^4 \text{ cicli};$$

Costruzione curva di fatica :



$$\sigma_{AR, R=-1} = \sigma_R = 880 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6} = 0,5 \cdot \sigma_R = 440 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}}{K_l K_d K_t} = 347,83 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* \cdot \sigma_R}{\left(\frac{1-R}{1+R}\right) \cdot \sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* + \sigma_R} = 213,08 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{AR, R=0} = \frac{1-R}{2} \sigma_R = 440 \text{ MPa};$$

$$k = \frac{\log(2 \cdot 10^6) - \log(10^3)}{\log(\sigma_{AR, R=0}) - \log(\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^*)} = 10,48;$$

Wöhler: $N \cdot \sigma^k = \text{cost};$

$$\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4} = \sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4}\right)^{1/k} = 318,08 \text{ MPa};$$

Tensione di progetto: $\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 154,80 \text{ MPa};$

Verifica: $v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 2,05;$

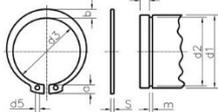
Verifica soddisfatta

Anello di bloccaggio:

Nella progettazione del perno è necessario scegliere un metodo di fissaggio adeguato. In questo caso viene scelto di utilizzare un anello elastico, nello specifico: Anello Seeger DIN 471.

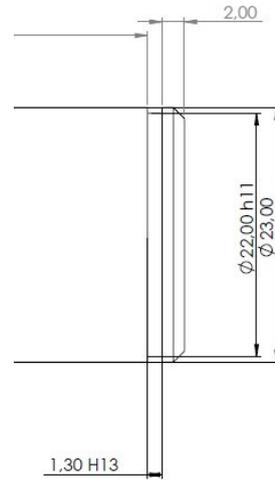
Anelli elastici per alberi (Seeger E)
 Acciaio per molle C60 o C75.
 Durezza HRC: fini alla misura 49 (47-54) dalla misura 50 a 200 (44-51) oltre 200 (40-47).

Classe: UNI 7435
 Passo: DIN 471
 Famiglia: 70000 ISO



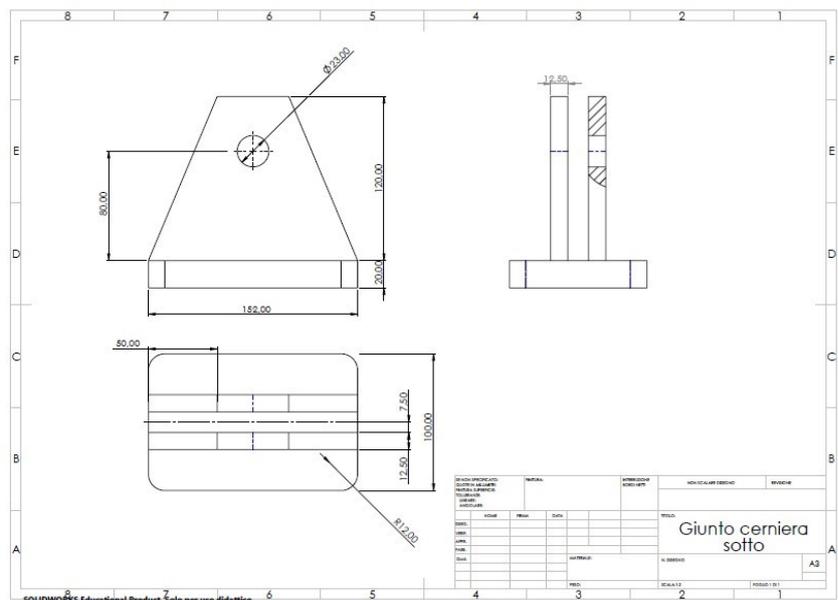
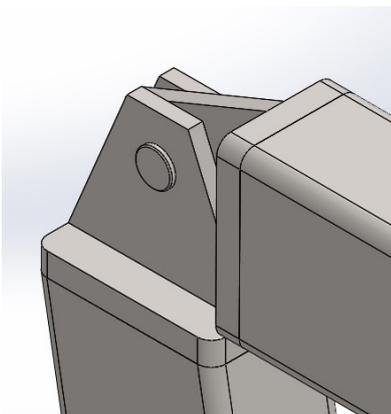
• Disponiamo di misure oltre il 300.

d1	s	d3	a max.	b - - d5 min.	d2	m H13	n min.
4	0,4	3,7	2,2	0,9-1	3,8	0,5	0,3
5	0,6	4,7	2,5	1,1-1	4,8	0,7	0,3
6	0,7	5,6	2,7	1,3-1,2	5,7	0,8	0,5
7	0,8	6,5	3,1	1,4-1,2	6,7	0,9	0,5
8	0,8	7,4	3,2	1,5-1,2	7,6	0,9	0,6
9	1	8,4	3,3	1,7-1,2	8,6	1,1	0,6
10	1	9,3	3,3	1,8-1,5	9,6	1,1	0,6
11	1	10,2	3,3	1,8-1,5	10,5	1,1	0,8
12	1	11	3,3	1,8-1,7	11,5	1,1	0,8
13	1	11,9	3,4	2,0-1,7	12,4	1,1	0,9
14	1	12,8	3,5	2,1-1,7	13,4	1,1	0,9
15	1	13,8	3,6	2,2-1,7	14,3	1,1	1,1
16	1	14,7	3,7	2,2-1,7	15,2	1,1	1,2
17	1	15,7	3,8	2,3-1,7	16,2	1,1	1,2
18	1,2	16,5	3,9	2,4-2	17	1,3	1,5
19	1,2	17,5	3,9	2,5-2	18	1,3	1,5
20	1,2	18,5	4	2,6-2	19	1,3	1,5
21	1,2	19,5	4,1	2,7-2	20	1,3	1,5
22	1,2	20,5	4,2	2,8-2	21	1,3	1,5
23	1,2	21,5	4,3	2,9-2	22	1,3	1,7
24	1,2	22,5	4,4	3,0-2	22,9	1,3	1,7
25	1,2	23,2	4,4	3,0-2	23,9	1,3	1,7
26	1,2	24,2	4,5	3,1-2	24,9	1,3	1,7
27	1,2	24,9	4,6	3,1-2	25,6	1,3	1,7



Le dimensioni dell'anello vengono prese da catalogo, con riferimento al diametro del perno. La scelta dell'anello determina poi alcune dimensioni sul perno, necessarie per il corretto funzionamento dell'anello stesso.

GIUNTO SULLA TRAVE VERTICALE:



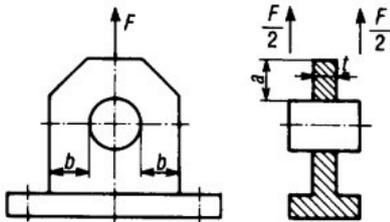
MATERIALE: S355 J2H

Verifica resistenza giunto:

Riferimento per la verifica della resistenza del giunto: UNI 10011

$$2 b t \geq 1,4 F / \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

$$t a \geq F / \sigma_{adm}$$



$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

Verifica a TRAZIONE:

In questo caso sia F_{DX} che F_{DY} sono forze di trazione. Pertanto viene eseguita una doppia verifica

$$F_{DX} = 8749,41 \text{ N};$$

$$b_1 = 65 \text{ mm}; b_2 = 25 \text{ mm}; a = 27,67 \text{ mm}; t = 12,5 \text{ mm};$$

$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 1125 \text{ mm}^2 \geq 25,52 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq \frac{F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 345,88 \text{ mm}^2 \geq 18,23 \text{ mm}^2 ;$$

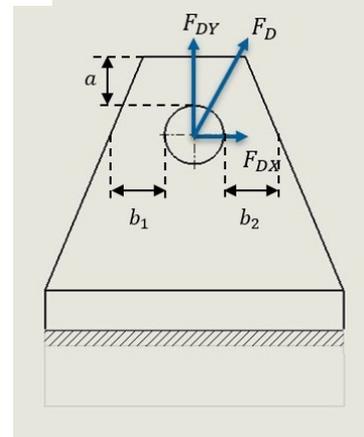
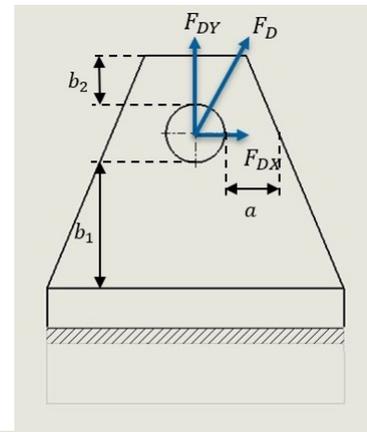
$$F_{DY} = 42677,7 \text{ N};$$

$$b_1 = b_2 = 27,67 \text{ mm}; a = 25 \text{ mm}; t = 12,5 \text{ mm};$$

$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 691,75 \text{ mm}^2 \geq 124,48 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq \frac{F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 312,5 \text{ mm}^2 \geq 88,91 \text{ mm}^2 ;$$

Verifica soddisfatta



Verifica a RIFOLLAMENTO:

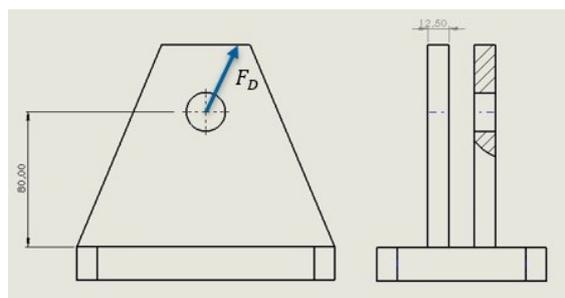
$$F_D = 43565,31 \text{ N};$$

$$\sigma_{rif} = \frac{F_D}{d_{foro} * t} = 75,77 \text{ MPa};$$

Normativa: UNI10011

$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{amm} \Rightarrow 75,77 \text{ MPa} \leq 324 \text{ MPa}$$

Verifica soddisfatta



VERIFICA SALDATURA:

Per questioni dimensionali e di estetica (per avere un continuo tra trave e giunto), si decide di eseguire una saldatura con cordone a completa penetrazione.

Materiale della saldatura: S355;

Verifica RESISTENZA:

Poiché viene scelto un cordone a completa penetrazione, si crea un continuo tra trave e saldatura. La verifica a resistenza viene pertanto eseguita con riferimento alla sezione della trave verticale.

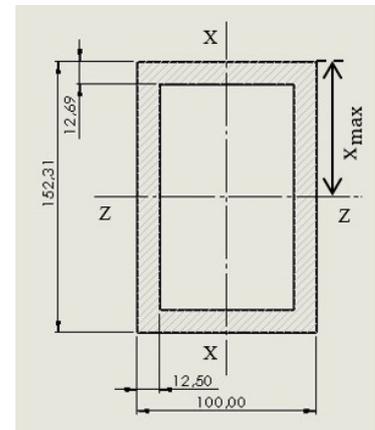
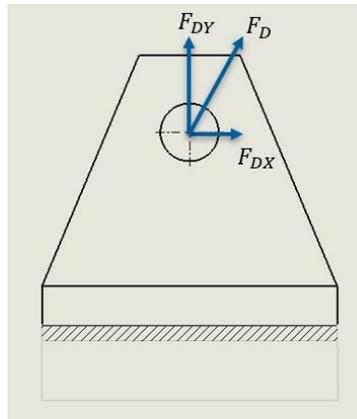
$$\sigma_{fl} = \frac{F_{DY} 100}{J_{zz}} x_{max} = 4,15 \text{ MPa};$$

$$\sigma_N = \frac{F_{DX}}{A} = 7,63 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 11,78 \text{ MPa};$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{DY} S}{J_{zz} B} = 1,67 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = 12,13 \text{ MPa};$$



Verifica: segue la normativa UNI 10011, con riferimento alle saldature a completa penetrazione di classe II (si sceglie di lavorare in favore di sicurezza).

$$\sigma_{eq} \leq 0,85 \sigma_{amm}; \text{ (Classe II)} \Rightarrow 12,13 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa};$$

Verifica soddisfatta

Verifica a Fatica:

Riferimento normativa UNI 10011

71 (80)		Sezione tubo circolare	Saldatura testa a testa trasversale di tubi. Penetrazione al vertice accertata con 100% NDT.
56 (63)		Sezione tubo rettangolare	Per $t > 8 \text{ mm}$ valgono i valori in parentesi di $\Delta\sigma_A$.

Viene scelto il valore per tubo a sezione rettangolare: 63 MPa

Il valore della $\Delta\sigma_A$ non dev'essere corretto, in quanto le 2 parti che compongono il giunto saldato non hanno spessore maggiore di 25 mm.

Viene corretto invece con il coefficiente YMF pari a 1,25, per componenti critici non fail safe con buona accessibilità

$$\Delta\sigma_{A,2x10^6} = \frac{\Delta\sigma_A}{1,25} = 50,4 \text{ MPa};$$

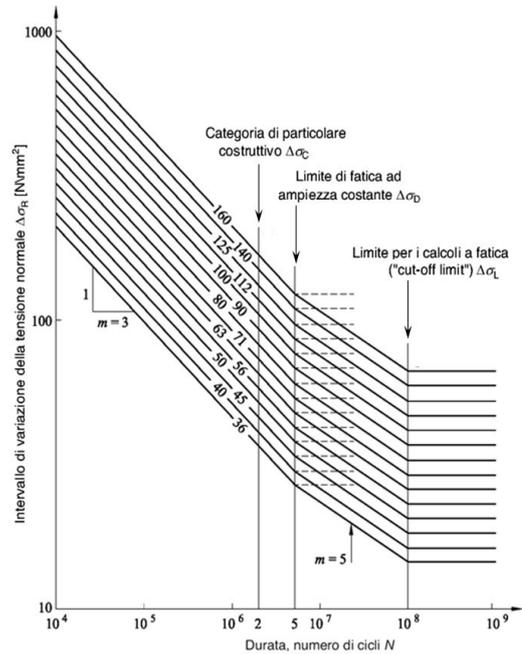
Il numero di cicli richiesto da progetto è pari a 30000 nell'arco di 10 anni, si rientra quindi nell'area del grafico riportato con m pari a 3.

Avendo appena calcolato il $\Delta\sigma_{A,2x10^6}$ si può calcolare il $\Delta\sigma_{A,3x10^4}$

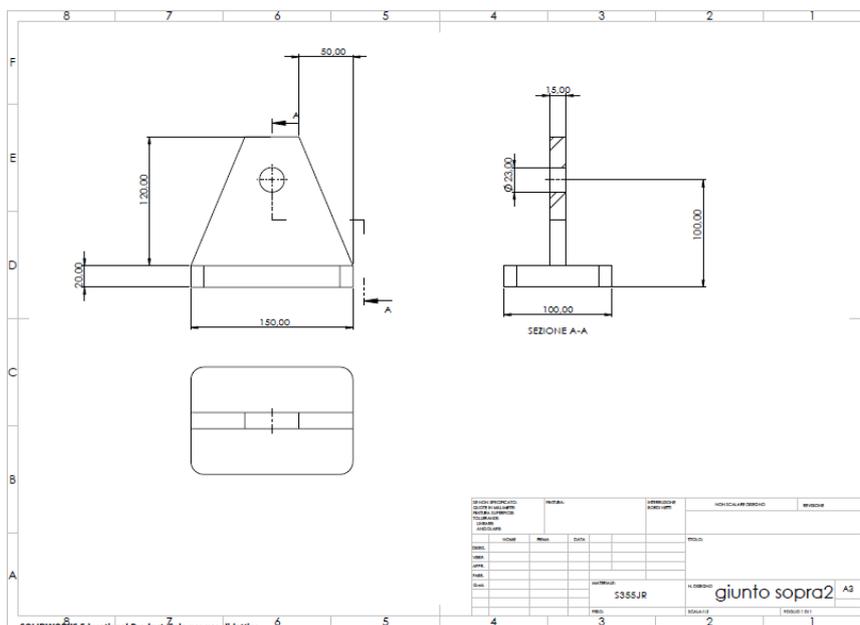
$$\Delta\sigma_{A,3x10^4} = \Delta\sigma_{A,2x10^6} * \left(\frac{2*10^6}{3*10^4}\right)^{\frac{1}{3}} = 204.36 \text{ MPa}$$

Considerando che il punto più sollecitato della saldatura in esame ha un valore massimo di σ_{eq} pari a 15,71 MPa si evince che il particolare è verificato a fatica con un coefficiente

$$v_\sigma = 16,85;$$



GIUNTO SULLA TRAVE ORIZZONTALE:



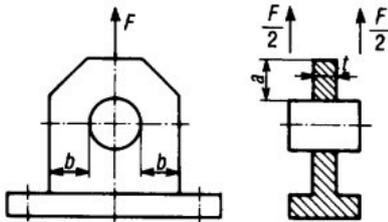
Materiale: S355 J2H

Saldatura: Cordone a completa penetrazione

Verifica resistenza:

Riferimento per la verifica della resistenza del giunto: UNI 10011

$$\begin{aligned} 2 b t &\geq 1,4 F / \sigma_{adm} \\ t a &\geq F / \sigma_{adm} \end{aligned} \quad \text{tensioni ammissibili}$$



$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

Verifica a TRAZIONE:

Forze agenti

$$F_{DY} = 42677,7$$

$$b_1 = 25 \text{ mm}; b_2 = 65 \text{ mm}; a = 25 \text{ mm}; t = 12,5 \text{ mm};$$

$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 1125 \text{ mm}^2 \geq 124,5 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq \frac{F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 312,5 \text{ mm}^2 \geq 88,9 \text{ mm}^2;$$

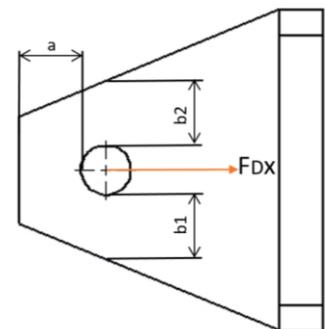
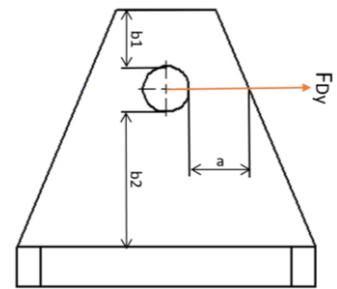
$$F_{DX} = 8749,41 \text{ N};$$

$$b_1 = b_2 = 27,67 \text{ mm}; a = 27,67 \text{ mm}; t = 12,5 \text{ mm};$$

$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 691,75 \text{ mm}^2 \geq 25,5 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq \frac{F/2}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 345,88 \text{ mm}^2 \geq 18,23 \text{ mm}^2;$$

Verifica soddisfatta



Verifica a RIFOLLAMENTO:

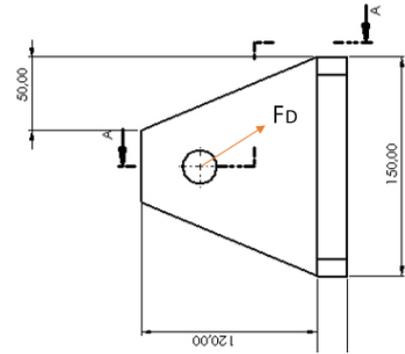
$$F_D = 43565,31 \text{ N} ;$$

$$\sigma_{rif} = \frac{F_D}{d_{foro} * t} = 151,53 \text{ MPa} ;$$

Normativa: UNI10011

$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{amm} \Rightarrow 151,53 \text{ MPa} \leq 324 \text{ MPa} ;$$

Verifica soddisfatta



VERIFICA SALDATURA:

VERIFICA RESISTENZA:

Poiché viene scelto un cordone a completa penetrazione, si crea un continuo tra trave e saldatura. I calcoli per la verifica statica si eseguono assumendo come sezione resistente la sezione longitudinale della saldatura stessa che ha come lunghezza quella intera della saldatura e come larghezza il minore dei due spessori collegati.

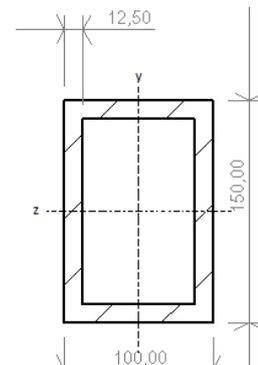
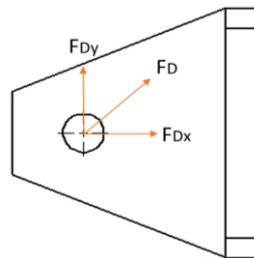
$$\sigma_{fl} = \frac{F_{DY} 100}{J_{zz}} x_{max} = 21,48 \text{ MPa};$$

$$\sigma_N = \frac{F_{DX}}{A} = 1,60 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{fl} + \sigma_N = 23,085 \text{ MPa};$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{DYS}}{J_{zzB}} = 8,62 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = 26,16 \text{ MPa};$$



Verifica: segue la normativa UNI 10011, con riferimento alle saldature a completa penetrazione di classe II.

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{amm} \Rightarrow 26,16 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa};$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA A FATICA:

Riferimento normativa UNI 10011

71 (80)		Sezione tubo circolare	Saldatura testa a testa trasversale di tubi. Penetrazione al vertice accertata con 100% NDT. Per $t > 8$ mm valgono i valori in parentesi di $\Delta\sigma_A$.
56 (63)		Sezione tubo rettangolare	

Saldatura a testa a completa penetrazione. Si sceglie come categoria $\Delta\sigma_A = 63 \text{ Mpa}$

Il valore della $\Delta\sigma_A$ non dev'essere corretto, in quanto le 2 parti che compongono il giunto saldato hanno spessore minore di 25 mm.

Viene corretto invece con il coefficiente $Y_M f = 1.25$ per componenti critici non fail safe con buona accessibilità

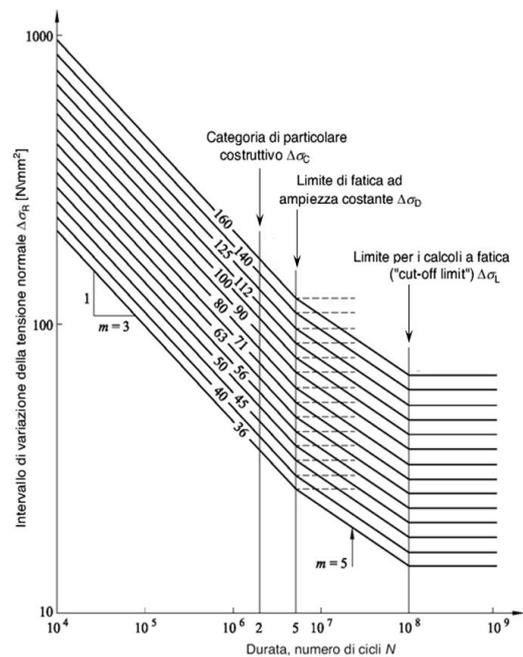
$$\Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} = \frac{\Delta\sigma_A}{1,25} = 50,4 \text{ Mpa};$$

Il numero di cicli richiesto da progetto è pari a 30000 nell'arco di 10 anni, si rientra quindi nell'area del grafico riportato con m pari a 3.

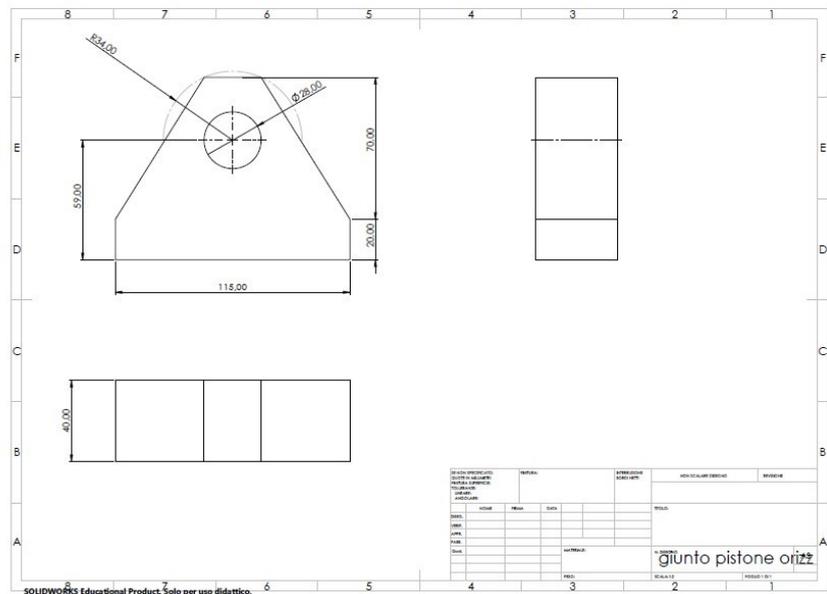
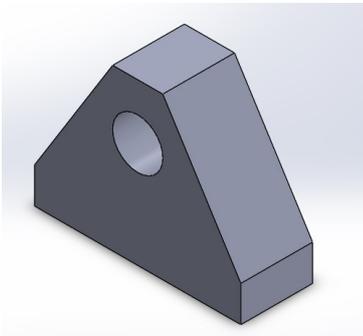
$$\Delta\sigma_{A,3 \times 10^4} = \Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} * \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4} \right)^{\frac{1}{3}} = 204.36 \text{ Mpa}$$

Considerando la $\sigma_{eq} = 26.16 \text{ Mpa}$ come valore di tensione massima si può calcolare il coefficiente di Fatica

$$v_f = \frac{\sigma_A, R=0, 3 \cdot 10^4}{26,16} = 7,81$$



GIUNTO MARTINETTO SULLA TRAVE ORIZZONTALE:



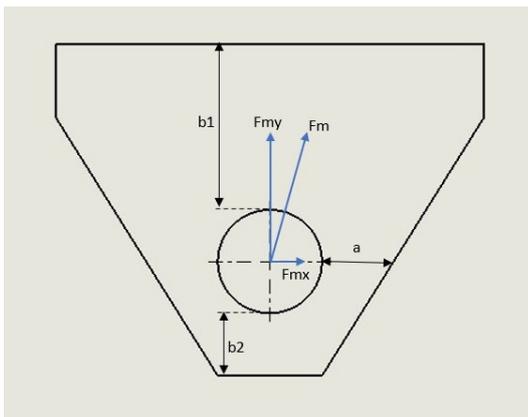
Materiale: S355J2H

$\sigma_{amm} = 240 \text{ MPa}$

Saldatura a cordone laterale

Verifica resistenza giunto:

La verifica a resistenza del giunto viene eseguita prendendo come riferimento la normativa UNI 10011.



Verifica a TRAZIONE:

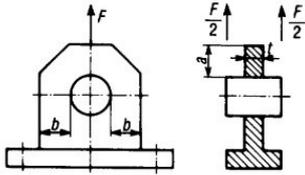
(Non si considera F_{my} perché è una forza di compressione)

$b_1 = 45 \text{ mm}; b_2 = 17 \text{ mm};$

$a = 19,24 \text{ mm}; t = 40 \text{ mm};$

$F = F_{mx} = 8749,4 \text{ N};$

$2 b t \geq 1,4 F / \sigma_{adm}$ tensioni ammissibili
 $t a \geq F / \sigma_{adm}$



$$(b_1 + b_2)t \geq \frac{1,4 F}{\sigma_{amm}} \Rightarrow 2480 \text{ mm}^2 \geq 51 \text{ mm}^2;$$

$$t a \geq F / \sigma_{amm} \Rightarrow 769,6 \text{ mm}^2 \geq 36,5 \text{ mm}^2 ;$$

Verifica soddisfatta

Verifica a RIFOLLAMENTO:

$$F_m = 58844,53 \text{ N} ;$$

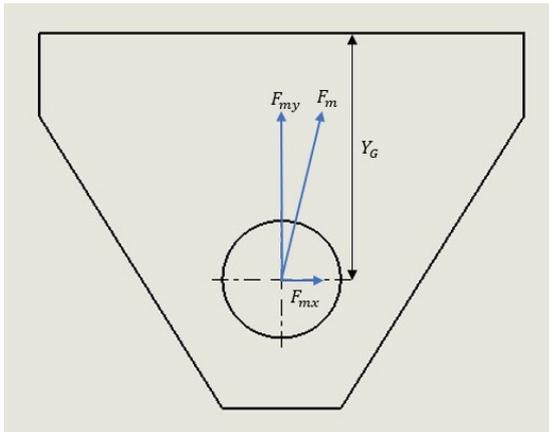
$$\sigma_{rif} = \frac{F_m}{d_{foro} \cdot t} = 52,54 \text{ MPa} ;$$

$$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{amm} \Rightarrow 52,54 \text{ MPa} \leq 324 \text{ MPa} ;$$

$\sigma_{rif} \leq 1,35 \sigma_{adm}$ tensioni ammissibili

Verifica soddisfatta

Verifica Saldatura:



Viene fatta una saldatura ad angolo con solo i due cordoni laterali;

Come valore iniziale di calcolo viene presa la sezione di gola della saldatura pari ad $a = 7 \text{ mm}$.

Materiale con cui viene fatta la saldatura: S355.

Verifica a RESISTENZA:

$$Y_G = 59 \text{ mm} ;$$

$$h = 115 \text{ mm} ;$$

$$J_{zz} = 2 * \frac{1}{12} a h^3 = 1,77 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 ;$$

$$M_f = F_{mx} Y_G = 516,21 * 10^3 \text{ Nmm} ;$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_f}{J_{zz}} y_{max} - \frac{F_{mx}}{2ah} = 11,29 \text{ MPa} ;$$

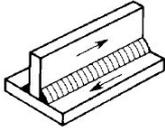
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{mx}}{2ah} = 36,14 \text{ MPa} ;$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = 37,86 \text{ MPa} \leq 168 \text{ MPa}$$

Verifica soddisfatta

Condizioni di sollecitazione	Limitazioni \leq	Giunzioni saldate	
		S235 (Fe360)	S275 (Fe 430) S 355 (Fe 510)
	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$ $ \tau_{\parallel} + \sigma_{\perp} $	$0,85 \sigma_{amm}$ σ_{amm}	$0,7 \sigma_{amm}$ $0,85 \sigma_{amm}$
	$ \tau_{\parallel} + \sigma_{\perp} $ $ \tau_{\parallel} \sigma_{\perp} $	σ_{amm} $0,85 \sigma_{amm}$	$0,85 \sigma_{amm}$ $0,7 \sigma_{amm}$
	$\sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2}$	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$
	$ \tau_{\parallel} $	$0,85 \sigma_{amm}$	$0,7 \sigma_{amm}$

Verifica a FATICA:

80		<p>Giunzioni a T saldate. Sezione di rottura: sezione longitudinale di gola dei cordoni di saldatura oppure sezione longitudinale dell'anima.</p>
----	---	---

Viene presa a riferimento una saldatura manuale e corretta per lo spessore del giunto saldato, pari a 40 mm

$$\Delta\sigma_{A,t} = \Delta\sigma_A \sqrt[4]{\frac{25}{t}} = 71,13 \text{ MPa};$$

Viene anche corretta con il coefficiente YMF pari a 1,25, per componenti critici non fail safe, con una buona accessibilità

$$\Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} = \frac{\Delta\sigma_A}{1,25} = 56,90 \text{ MPa};$$

Il numero di cicli richiesto da progetto è pari a 30000 nell'arco di 10 anni, si rientra quindi nell'area del grafico riportato con m pari a 3.

Avendo appena calcolato il $\Delta\sigma_{A,2 \times 10^6}$ si può calcolare il $\Delta\sigma_{A,3 \times 10^4}$

$$\Delta\sigma_{A,3 \times 10^4} = \Delta\sigma_{A,2 \times 10^6} * \left(\frac{2 * 10^6}{3 * 10^4}\right)^{\frac{1}{3}} = 230,71 \text{ MPa}$$

Considerando che il punto più sollecitato della saldatura in esame ha un valore massimo di σ_{eq} pari a 37,86 MPa si evince che il particolare è verificato a fatica con un coefficiente

$$v_\sigma = 6,1$$

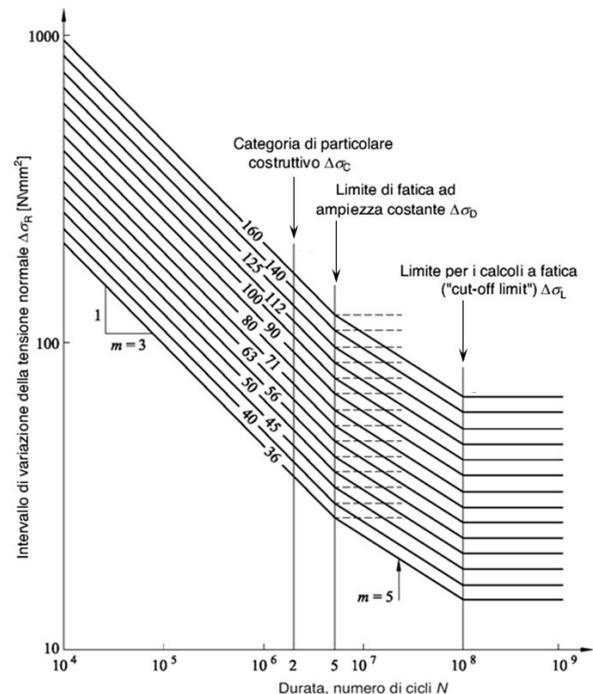
Verificata la saldatura sia a resistenza che a fatica, dal momento che risulta più che verificata, si decide quindi di diminuire le dimensioni della saldatura.

Dopo vari tentativi si decide di usare come dimensione della sezione di gola $a = 5 \text{ mm}$.

Verifica con $a = 5 \text{ mm}$:

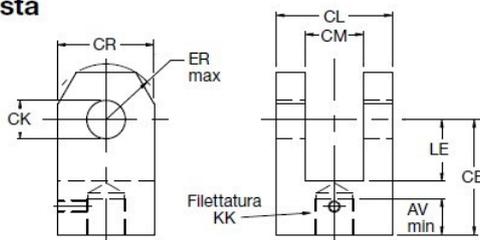
Resistenza: $\sigma_{eq} = 53,01 \text{ MPa} < 168 \text{ MPa}$ **OK**

Fatica: $v_\sigma = 4,35$ **OK**

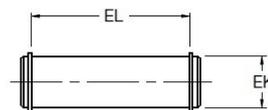


PARTICOLARI DI UNIONE TRA MARTINETTO E GIUNTO SULLA TRAVE:

Dimensioni testa a cerniera (1)



Perno di collegamento per testa a cerniera e snodo (3)



Codice n°	AV	CE	CK H9	CL	CM A16	CR	ER	KK	LE min	Peso in kg
143447	14	32	10	25	12	20	12	M10x1,25	13	0,08
143448	16	36	12	32	16	32	17	M12x1,25	19	0,25
143449	18	38	14	40	20	30	17	M14x1,5	19	0,32
143450	22	54	20	60	30	50	29	M16x1,5	32	1,0
143451	28	60	20	60	30	50	29	M20x1,5	32	1,1
143452	36	75	28	83	40	60	34	M27x2	39	2,3
143453	45	99	36	103	50	80	50	M33x2	54	2,6
143454	56	113	45	123	60	102	53	M42x2	57	5,7
143455	63	126	56	143	70	112	59	M48x2	63	7,8
143456	85	168	70	163	80	146	78	M64x3	83	13

Codice n°	EK f8	EL min	Peso in kg
143477	10	29	0,02
143478	12	37	0,05
143479	14	45	0,08
143480	20	66	0,2
143481	28	87	0,4
143482	36	107	1,0
143483	45	129	1,8
143484	56	149	4,2
143485	70	169	6,0

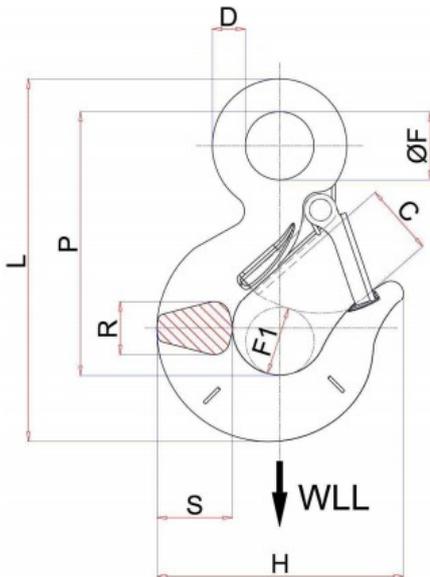
La cerniera che va collegata allo stelo del martinetto viene scelta tra le proposte offerte dal catalogo di scelta del martinetto (il particolare scelto è evidenziato in giallo).

Lo stesso viene fatto con il perno di collegamento che servirà ad unire il martinetto con la trave orizzontale.

CATENA E GANCIO DI SOLLEVAMENTO:

GANCIO

Il gancio è stato scelto dal catalogo della azienda Robur con caratteristiche e specificazioni tecniche riportate in seguito:



WLL kg	C	D	ØF	F1	H	L	P	R	S	g
800	18.2	8.0	16	16	54.6	85.0	61.6	13.4	17.5	151
1120	22.5	9.0	18	18	64.0	96.0	69.0	15.5	19.6	203
2000	30.0	12.5	26	25	90.5	137.0	99.0	20.0	28.0	562
3150	36.0	15.0	30	30	106.0	161.5	116.0	26.0	33.0	915
4000	39.5	16.5	33	33	116.0	176.5	127.0	27.5	36.0	1268

Le quote indicate sono espresse in mm.

Catalogo di riferimento: GANCI PER SOLLEVAMENTO TIPO AD OCCHIO, ACCIAIO LEGATO AD ALTA RESISTENZA GRADO 8 / UNI EN 1677 - 2 ARTICOLO 8052

Si sono effettuate delle verifiche di resistenza tramite la teoria delle travi curve rilevando gli stati di sollecitazione di flessione e trazione, inoltre si è effettuato una verifica a fatica.

Dati materiale:

$$\sigma_R = 980 \text{ Mpa} \quad \sigma_{sn} = 780 \text{ Mpa}$$

Dati gancio:

re	ri	d	rg	rn	A	δ	yi
45,25	15	28	30,125	28,08891547	615,75216	2,03608453	13,0889155

Le forze e momenti agenti sulla sezione resistente sono:

$$N = 14700 \text{ N}$$

$$M_f = 14700 * r_g = 442837,5 \text{ Nmm}$$

La σ_{id} e il coefficiente di sicurezza ν_{st} sono ricavati dalle relazioni:

$$\sigma_{id} = \sigma_{\perp} = \frac{M_f}{A r_i \delta} y + \frac{N}{A} = 332,089146 \text{ Mpa}$$

$$\nu_{st} = \frac{\sigma_{sn}}{\sigma_{id}} = 2,36$$

Verifica statica soddisfatta.

Verifica a Fatica:

Riferimento normativa UNI 10011

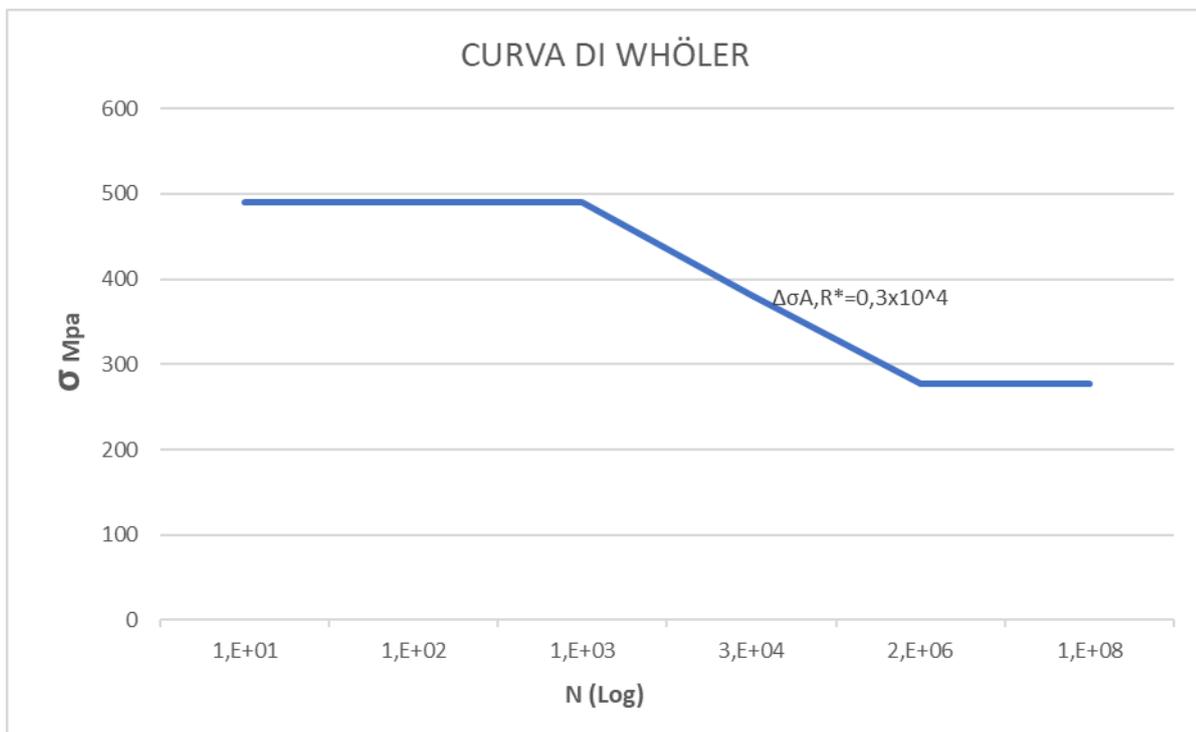
Si ha una sollecitazione di momento flettente alternato con $\sigma_{min} = 0$ e $\sigma_{max} = 332,089 \text{ Mpa}$ per cui il rapporto di sollecitazione è $R = 0$

I fattori di riduzione che influenzano la resistenza a fatica sono:

$$K_l = 1,1; K_d = 1,15; K_t = 1;$$

$$N \text{ cicli} = 3 \cdot 10^4 \text{ cicli};$$

Costruzione curva di fatica



$$\sigma_R = 980 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6} = 0,5 \cdot \sigma_R = 490 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}}{K_l K_d K_t} = 387,35 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* \cdot \sigma_R}{\left(\frac{1-R}{1+R}\right) \cdot \sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* + \sigma_R} = 277,62 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{AR, R=0} = \frac{1-R}{2} \sigma_R = 490 \text{ MPa};$$

$$k = \frac{\log(2 \cdot 10^6) - \log(10^3)}{\log(\sigma_{AR, R=0}) - \log(\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^*)} = 13,37$$

$$\text{Wöhler: } N \cdot \sigma^k = \text{cost};$$

$$\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4} = \sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4}\right)^{1/k} = 380 \text{ MPa};$$

$$\text{Tensione di progetto: } \sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 166 \text{ MPa};$$

$$\text{Verifica: } \nu_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} = 2,36$$

Verifica soddisfatta

CATENA

La catena si è scelta dal catalogo della azienda Tecnofuni.

Catena in acciaio legato grado 80

Articolo: 250



Catalogo di riferimento: CATENE DI ACCIAIO PER SOLLEVAMENTO AZIENDA TECNOFUNI.

CATENA IN ACCIAIO LEGATO GRADO 80

D Diametro catena	P	LI (min)	LE (max)	Carico di Lavoro	Carico di Prova	Carico di Rottura	Peso
mm	mm	mm	mm	kg	kN	kN	kg/mt
8	24	10,4	29,6	2.000	50,3	80,4	1,4
10	30	13,0	37,0	3.150	78,5	126	2,2
13	39	16,9	48,1	5.300	133	212	3,8
16	48	20,8	59,2	8.000	201	322	5,7

Si sono effettuate delle verifiche di resistenza tramite la teoria delle travi curve inoltre si è effettuato una verifica a fatica.

Dati materiale:

$$\sigma_R = 980 \text{ Mpa} \quad \sigma_{sn} = 780 \text{ Mpa}$$

Dati gancio:

re	ri	d	rg	rn	A	δ	yi
14,8	5,2	8	10	9,38634244	50,2654825	0,61365756	4,18634244

Le forze e momenti agenti sulla sezione resistente sono:

$$N = 14715 \text{ N}$$

La σ_{id} e il coefficiente di sicurezza ν_{st} sono ricavati dalle relazioni:

$$\sigma_{id} = \sigma_{\perp} = \frac{N}{A} = 146.373 \text{ Mpa}$$

$$\nu_{st} = \frac{\sigma_{sn}}{\sigma_{id}} = 5,36$$

Verifica statica soddisfatta.

Verifica a Fatica:

Riferimento normativa UNI 10011

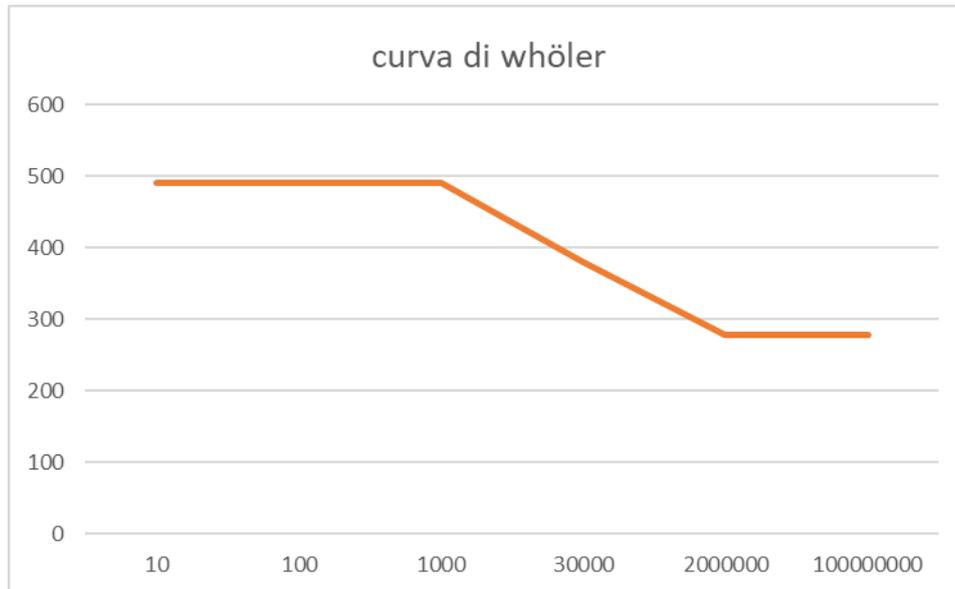
Si ha una sollecitazione di tensione normale alla sezione con $\sigma_{min} = 0$ e $\sigma_{max} = 146.373 \text{ Mpa}$ per cui il rapporto di sollecitazione è $R = 0$

I fattori di riduzione che influenzano la resistenza a fatica sono:

$$K_l = 1,1; K_d = 1,15; K_t = 1;$$

$$N \text{ cicli} = 3 \cdot 10^4 \text{ cicli};$$

Costruzione curva di fatica



$$\sigma_R = 980 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6} = 0,5 \cdot \sigma_R = 490 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}}{K_l K_d K_t} = 387,35 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* \cdot \sigma_R}{\left(\frac{1-R}{1+R}\right) \cdot \sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* + \sigma_R} = 277,62 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{AR, R=0} = \frac{1-R}{2} \sigma_R = 490 \text{ MPa};$$

$$k = \frac{\log(2 \cdot 10^6) - \log(10^3)}{\log(\sigma_{AR, R=0}) - \log(\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^*)} = 13,37$$

$$\text{Wöhler: } N \cdot \sigma^k = \text{cost};$$

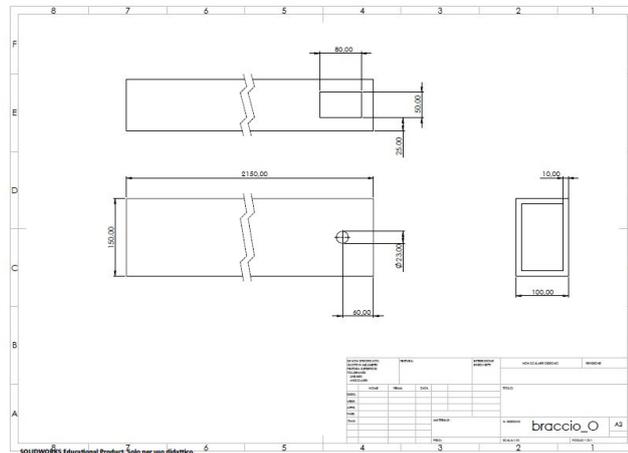
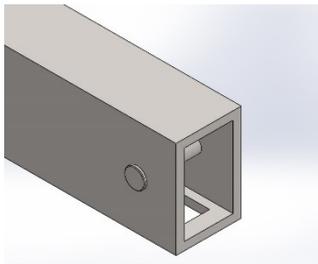
$$\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4} = \sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4}\right)^{1/k} = 380 \text{ MPa};$$

$$\text{Tensione di progetto: } \sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 73.186 \text{ MPa};$$

Verifica: $v_f = \frac{\sigma_a, R=0, 3 \cdot 10^4}{\sigma_{a,p}} = 5.2$

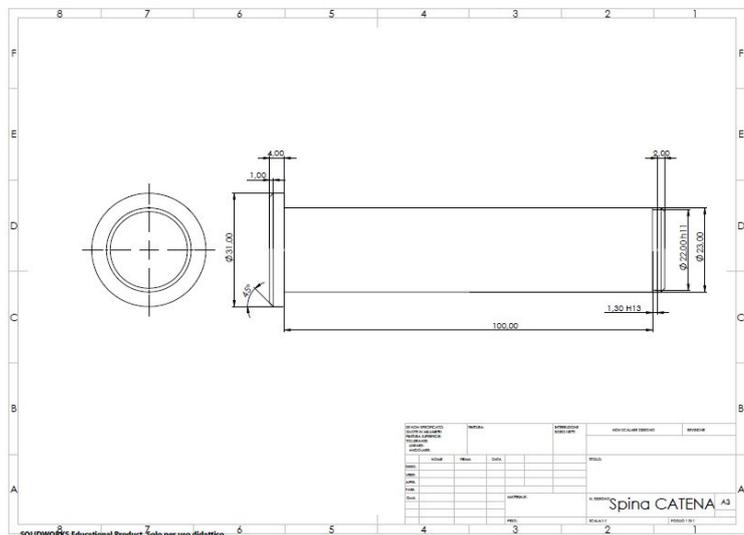
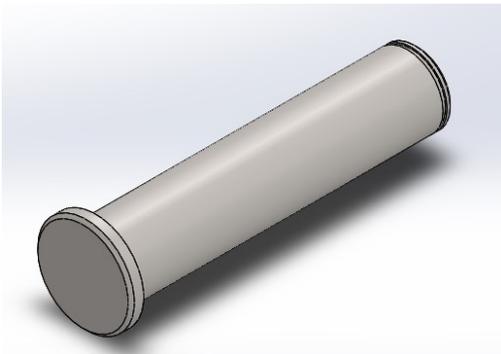
Verifica soddisfatta

SISTEMA DI COLLEGAMENTO ALLA TRAVE:



La catena viene collegata alla gru tramite un perno. Viene poi fatto un foro per il passaggio della catena, opportunamente dimensionato in modo tale da evitare interferenze tra catena e braccio nella condizione di massima alzata.

PERNO DI COLLEGAMENTO:



Materiale: 42CrMo4

$\sigma_{sn} = 635 \text{ MPa}; \sigma_R = 880 \text{ MPa};$

Dimensionamento:

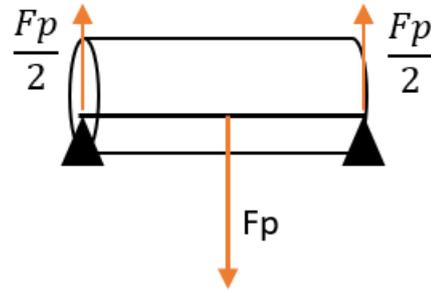
$$v_{st} = 2; \sigma_{amm} = 317,5 \text{ MPa};$$

$$L = 87,5 \text{ mm};$$

$$F_p = 14715 \text{ N};$$

$$M_f = \frac{F_p L}{4} = 321890,6 \text{ Nmm};$$

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{M_f}{\pi \sigma_{amm}}} = 21,77 \text{ mm} \Rightarrow d = 23 \text{ mm};$$



Verifica RESISTENZA:

$$\sigma_{fl} = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}} = 269,48 \text{ MPa};$$

$$\tau_{taglio} = 2 \frac{\frac{F_p}{2}}{A} = \frac{F_p}{A} = 35,42 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{eq}^{V.M.} = \sqrt{\sigma_{fl}^2 + 3 \tau_{taglio}^2} = 276,37 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{eq}^{V.M.} \leq \sigma_{amm} \rightarrow 276,37 \text{ MPa} \leq 317,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{La verifica statica è } \underline{\text{soddisfatta}}$$

Verifica a FATICA:

Oltre alla verifica a resistenza viene fatta anche la verifica a fatica del perno, dal momento che complessivamente si avrà una storia di carico variabile nel tempo, con rapporto di ciclo $R = 0$.

I fattori di riduzione vengono calcolati graficamente prendendo come riferimento il diametro d del perno.

$$K_l = 1,1; K_d = 1,15; K_t = 1;$$

$$R = 0;$$

$$N \text{ cicli} = 3 \cdot 10^4 \text{ cicli};$$

Costruzione curva di fatica:

$$\sigma_{AR, R=-1} = 880 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6} = \phi \cdot \sigma_R = 0,5 \cdot \sigma_R = 440 \text{ MPa}; \quad (\phi=0,5 \text{ in generale per gli acciai al carbonio})$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}}{K_l K_d K_t} = 347,83 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* \cdot \sigma_R}{\left(\frac{1-R}{1+R}\right) \cdot \sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* + \sigma_R} = 213,08 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{AR, R=0} = \frac{1-R}{2} \sigma_R = 440 \text{ MPa};$$

$$k = \frac{\log(2 \cdot 10^6) - \log(10^3)}{\log(\sigma_{AR, R=0}) - \log(\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^*)} = 10,48;$$

Invertendo la formula di Wöhler possiamo ottenere la σ per $3 \cdot 10^4$ cicli:

$$\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4} = \sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4}\right)^{1/k} = 318,07 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq}^{V.M.} \frac{1-R}{2} = 122,7 \text{ MPa}$$

Verifica:

$$\nu = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5$$

→ $\nu = 2,80$, quindi la verifica è soddisfatta



Anello di bloccaggio:

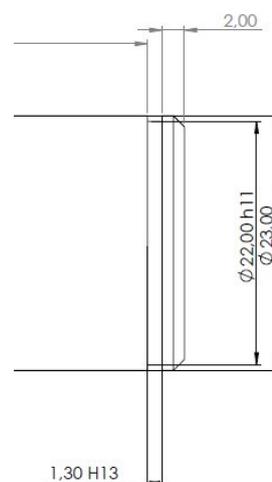
Nella progettazione del perno è necessario scegliere un metodo di fissaggio adeguato. In questo caso viene scelto di utilizzare un anello elastico, nello specifico: Anello Seeger DIN 471.

Anelli elastici per alberi (Seeger E)
 Acciaio per molle C60 o C75.
 Durezza HRC: fini alla misura 49 (47-54) dalla misura 50 a 200 (44-51) oltre 200 (40-47).

Classe	UNI 7435
Passo	DIN 471
Famiglia	70000 ISO

• Disponiamo di misure oltre il 300.

d1	s	d3	a max.	b -- d5 min.	d2	m H13	n min.
4	0,4	3,7	2,2	0,5-1	3,9	0,5	0,3
5	0,6	4,7	2,5	1,1-1	4,8	0,7	0,3
6	0,7	5,6	2,7	1,3-1,2	5,7	0,8	0,5
7	0,8	6,5	3,1	1,4-1,2	6,7	0,9	0,5
8	0,8	7,4	3,2	1,5-1,2	7,6	0,9	0,6
9	1	8,4	3,3	1,7-1,2	8,6	1,1	0,6
10	1	9,3	3,3	1,8-1,5	9,6	1,1	0,6
11	1	10,2	3,3	1,8-1,5	10,5	1,1	0,8
12	1	11	3,3	1,9-1,7	11,5	1,1	0,8
13	1	11,9	3,4	2,0-1,7	12,4	1,1	0,9
14	1	12,9	3,5	2,1-1,7	13,4	1,1	0,9
15	1	13,8	3,6	2,2-1,7	14,3	1,1	1,1
16	1	14,7	3,7	2,3-1,7	15,2	1,1	1,2
17	1	15,7	3,8	2,3-1,7	16,2	1,1	1,2
18	1,2	16,5	3,9	2,4-2	17	1,3	1,5
19	1,2	17,5	3,9	2,5-2	18	1,3	1,5
20	1,2	18,5	4	2,6-2	19	1,3	1,5
21	1,2	19,5	4,1	2,7-2	20	1,3	1,5
22	1,2	20,5	4,2	2,8-2	21	1,3	1,5
23	1,2	21,5	4,3	2,9-2	22	1,3	1,7
24	1,2	22,2	4,4	3,0-2	22,9	1,3	1,7
25	1,2	23,2	4,4	3,0-2	23,9	1,3	1,7
26	1,2	24,2	4,5	3,1-2	24,9	1,3	1,7
27	1,2	24,9	4,6	3,1-2	25,6	1,3	1,7



Le dimensioni dell'anello vengono prese da catalogo, con riferimento al diametro del perno. La scelta dell'anello determina poi alcune dimensioni sul perno, necessarie per il corretto funzionamento dell'anello stesso.

Poiché il perno per il collegamento della catena ha un diametro più grande rispetto alla larghezza degli anelli della catena, non è possibile infilare la catena direttamente. Per fare fronte a questo si decide di utilizzare un grillo in modo tale da unire la catena al sistema di collegamento per il sollevamento.

Grilli ad omega ad alta resistenza

Carico di Lavoro	B	C	D	2R	S	Peso
kg	mm	mm	mm	mm	mm	kg
330	22	10	6	16	5	0,02
500	29	12	8	20	6	0,06
750	32	13	10	21	8	0,11
1.000	36	16	11	26	9	0,15
1.500	43	18	13	29	11	0,21
2.000	47	21	16	33	13	0,37
3.250	60	27	19	42	16	0,65
4.750	71	31	22	51	19	1,1
6.500	84	37	25	58	22	1,5
8.500	95	43	28	68	25	2,2
9.500	108	46	32	74	28	3,1
12.000	119	52	35	83	32	4,2
13.500	132	57	38	89	35	6,0
17.000	146	60	42	98	38	8,0
25.000	178	74	50	127	45	13,5
35.000	197	83	57	138	50	19
55.000	255	105	70	185	65	38

Grillo ad omega zincato ad alta resistenza con perno a vite
 Articolo 001G: Conforme EN 13889 - US Fed. Spec. RR-C-271
 Articolo 001: Simile allo standard EN13889 con tolleranze varie

001G: Tolleranze di forgiatura secondo EN 13889 Tav. 2
 001: Tolleranze di forgiatura variabili

VERIFICA A FATICA COMPLESSIVA:

La verifica a fatica viene eseguita tenendo come riferimento un rapporto di ciclo $R=0$ (scarico/carico massimo).

Sapendo che la gru effettua 10 sollevamenti al giorno, 300 giorni l'anno, per 10 anni, si ottiene un numero di cicli a fatica di $N = 30000$ cicli.

Fattori che influenzano la resistenza a fatica:

$$K_l = 1,1; K_d = 1,4; K_t = 1;$$

$$(K_d \text{ viene calcolato tenendo conto del diametro idraulico della sezione: } D_{eq} = \frac{4A_{res}}{P} = 25 \text{ mm})$$

$$R = 0;$$

$$N \text{ cicli} = 3 \cdot 10^4 \text{ cicli};$$

Costruzione curva di fatica:

$$\sigma_{AR, R=-1} = \sigma_R = 550 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6} = 0,5 \cdot \sigma_R = 275 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}}{K_l K_d K_t} = 178,57 \text{ MPa};$$

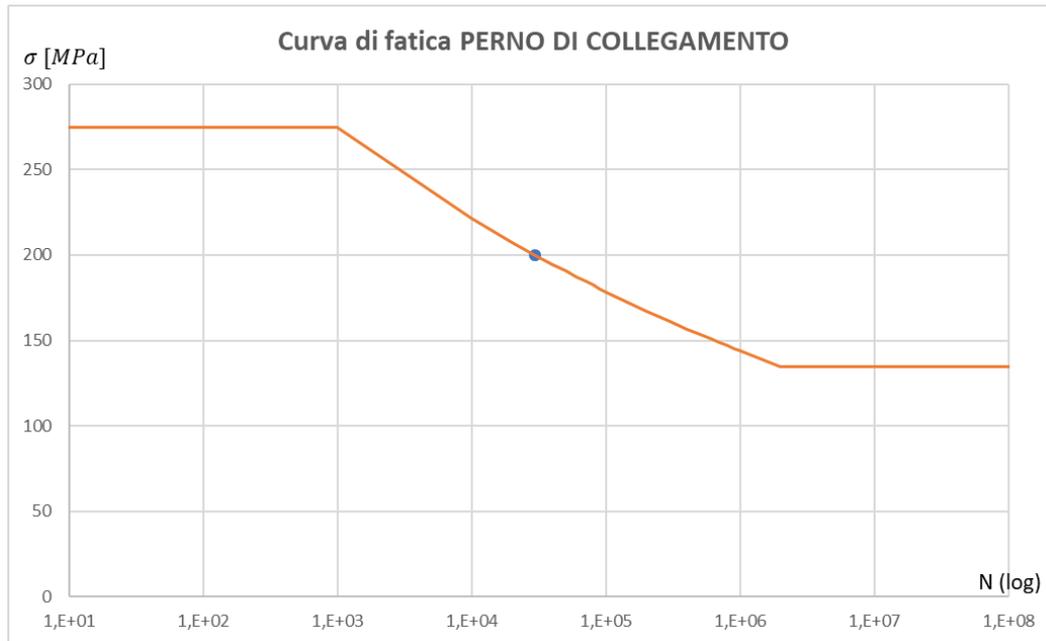
$$\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* = \frac{\sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* \cdot \sigma_R}{\left(\frac{1-R}{1+R}\right) \cdot \sigma_{A, R=-1, 2 \cdot 10^6}^* + \sigma_R} = 134,80 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{AR, R=0} = \frac{1-R}{2} \sigma_R = 275 \text{ MPa};$$

$$k = \frac{\log(2 \cdot 10^6) - \log(10^3)}{\log(\sigma_{AR, R=0}) - \log(\sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^*)} = 10,661;$$

Wöhler: $N \cdot \sigma^k = cost$;

$$\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4} = \sigma_{A, R=0, 2 \cdot 10^6}^* \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^4} \right)^{1/k} = 199,89 \text{ MPa};$$



TRAVE VERTICALE:

PUNTO A':

Tensione di progetto:

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 61,24 \text{ MPa};$$

PUNTO B:

Tensione di progetto:

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 51,05 \text{ MPa};$$

Punto D':

Tensione di progetto:

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 6,06 \text{ MPa};$$

Verifica:

$$v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 3,26;$$

$$v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 3,92;$$

$$v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 32,96;$$

Verifica soddisfatta

TRAVE ORIZZONTALE:

PUNTO D'':

Tensione di progetto:

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 13,74 \text{ MPa};$$

Verifica:

$$v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 14,54;$$

PUNTO C:

Tensione di progetto:

$$\sigma_{a,p} = \sigma_{eq} \frac{1-R}{2} = 55,01 \text{ MPa};$$

$$v_f = \frac{\sigma_{a, R=0, 3 \cdot 10^4}}{\sigma_{a,p}} \geq 1,5 \Rightarrow v_f = 3,63;$$

Verifica soddisfatta

DIMENSIONAMENTO FINALE:

Dopo aver verificato a fatica la gru, è possibile diminuire ulteriormente le dimensioni della sezione delle travi, cercando di stare il più vicino possibile al valore progettuale di $v_{st} = 2$.

Considerando semplicemente la verifica a resistenza e la verifica a fatica, si riuscirebbero ad ottenere spessori nettamente più ridotti, in particolare:

Trave verticale:

Dimensioni: 150x100x8 mm

Verifica punto A' (più sollecitato)

Resistenza: $v_{st} = 2,05$

Fatica: $v_{\sigma} = 2,31$

Trave orizzontale:

Dimensioni: 150x100x7,1 mm

Verifica punto C (più sollecitato):

Resistenza: $v_{st} = 2,15$

Fatica: $v_{\sigma} =$

Facendo però una verifica a deformabilità della struttura, si vede come questi valori dimensionali non possano essere considerati. Le frecce risultanti risulterebbero infatti troppo grandi.

Di conseguenza il valore dimensionale delle travi viene limitato a 150x100x10 mm per entrambe le travi.

TABELLA DIMENSIONALE



Dimensione esterna lati b x h mm	Spessore s mm	Massa lineare Kg/m	Area della sezione metallica A _c cm ²	Momento d'inerzia di flessione I _x cm ⁴	Momento d'inerzia di flessione I _y cm ⁴	Raggio di inerzia i _x cm	Raggio di inerzia i _y cm	Modulo di resistenza W _x cm ³	Modulo di resistenza W _y cm ³	Momento d'inerzia di torsione J cm ⁴	Modulo di torsione C cm ³
150 x 50	4,0	11,90	15,20	394,0	67,40	5,09	2,11	52,50	27,00	192,00	48,40
	5,0	14,70	18,70	476,00	79,70	5,04	2,06	63,40	31,90	230,00	57,20
	6,3	18,20	23,20	572,00	93,30	4,97	2,01	76,30	37,30	273,00	67,10
	7,1	20,30	25,80	627,00	100,00	4,92	1,97	83,60	40,20	2,9700	72,30
	8,0	22,60	28,80	683,00	107,00	4,87	1,93	91,10	43,00	321,00	77,40
	10,0	27,40	34,90	792,00	119,00	4,76	1,85	106,00	47,70	364,00	86,10
150 x 100	5,0	18,60	23,70	739,00	392,00	5,58	4,07	98,50	78,50	807,00	127,00
	6,3	23,10	29,50	898,00	474,00	5,52	4,01	120,00	94,80	986,00	153,00
	7,1	25,90	32,90	990,00	520,00	5,48	3,97	132,00	104,00	1090,00	168,00
	8,0	28,90	36,80	1090,00	569,00	5,44	3,94	145,00	114,00	1200,00	183,00
	8,8	31,50	40,10	1170,00	610,00	5,40	3,90	156,00	122,00	1300,00	196,00
	10,0	35,30	44,90	1280,00	665,00	5,34	3,85	171,00	133,00	1430,00	214,00
	12,5	42,80	54,60	1490,00	763,00	5,22	3,74	198,00	153,00	1680,00	246,00
	14,2	47,70	60,80	1600,00	816,00	5,14	3,66	214,00	163,00	1820,00	263,00
	16,0	52,60	67,00	1710,00	862,00	5,05	3,59	228,00	172,00	1950,00	278,00

Con questi valori dimensionali si ottiene:

Trave verticale:

Dimensioni: 150x100x10 mm

Verifica punto A' (più sollecitato)

Resistenza: $v_{st} = 2,46$

Fatica: $v_{\sigma} = 2,77$

Trave orizzontale:

Dimensioni: 150x100x10 mm

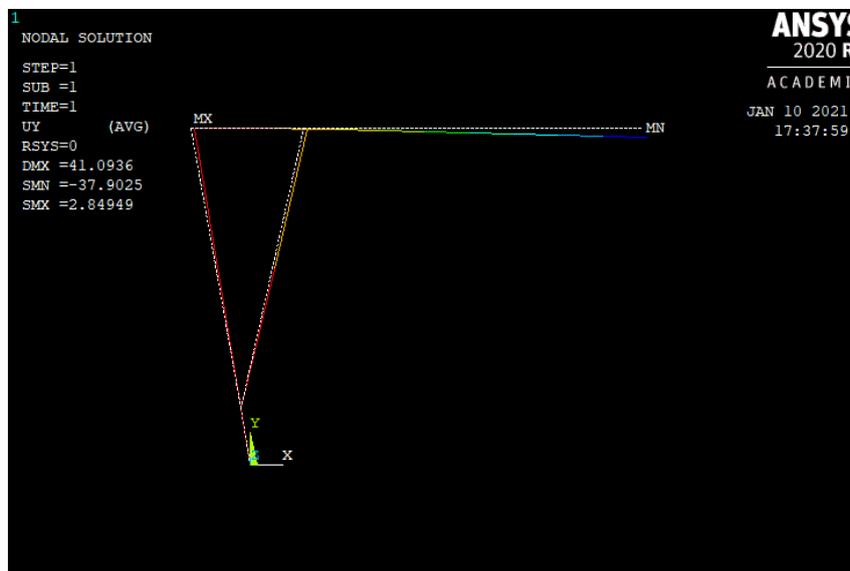
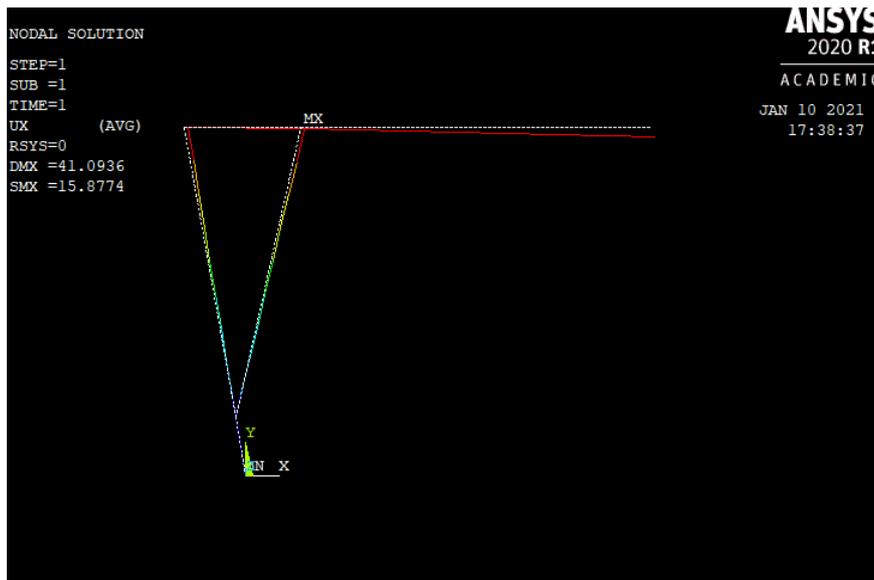
Verifica punto C (più sollecitato):

Resistenza: $v_{st} = 2,79$

Fatica: $v_{\sigma} = 3,12$

VERIFICA A DEFORMABILITA' ;

Si riportano le principali deformazioni della struttura ottenute con una simulazione agli elementi finiti della stessa, utilizzando dimensioni di 150x100x10 mm per entrambe le sezioni delle travi.

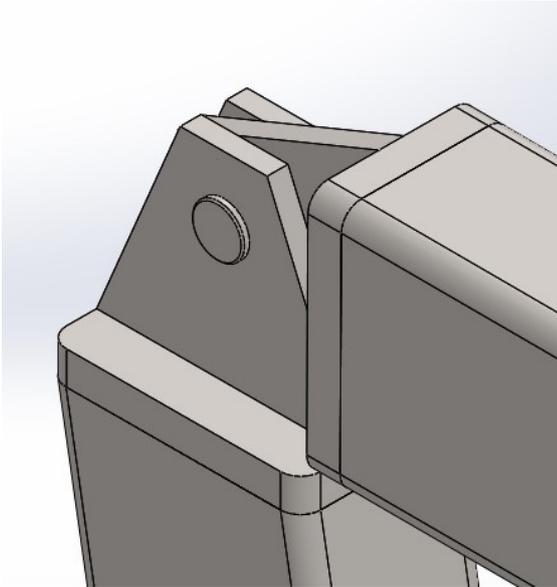


Nella tabella vengono riportati gli spostamenti sugli assi x e y del punto in cui è posto il perno di giunzione della catena (punto E):

Asse	Spostamento [mm]
Verticale	-37,9025
Orizzontale	15.8774

Visti i valori di deformazione della trave verticale, si sceglie di non diminuire ulteriormente le dimensioni della sezione delle due travi.

Dal momento che le dimensioni delle due sezioni sono state diminuite, è necessario fare una nuova verifica sulle due saldature fatte sui giunti della cerniera di unione delle due travi, poiché erano due saldature a completa penetrazione.



Giunto trave verticale:

Verifica RESISTENZA:

$$\sigma_{eq} \leq 0,85 \sigma_{amm}; \text{ (Classe II)} \Rightarrow 14,69 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa};$$

Verifica FATICA:

$$v_{\sigma} = 13,91$$

Giunto trave orizzontale:

Verifica RESISTENZA:

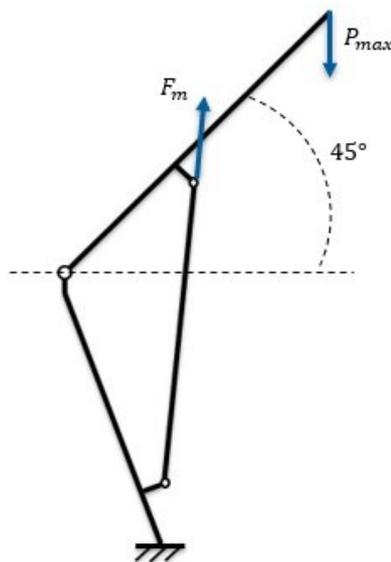
$$\sigma_{eq} \leq 0,85 \sigma_{amm}; \text{ (Classe II)} \Rightarrow 30,82 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa};$$

Verifica FATICA:

$$v_{\sigma} = 7,8$$

VERIFICA SCHEMA ALZATA MASSIMA BRACCIO ORIZZONTALE (45°):

Come ultima considerazione viene studiata la configurazione della gru nella posizione di alzata massima del braccio orizzontale, ossia a 45°.



Complessivamente vengono studiate le parti più rilevanti:

Martinetto: $F_m = 50082,45 \text{ N}$;

$$\alpha_{martinetto} = 4,76^\circ;$$

Verifica punti più sollecitati:

Punto A': Resistenza: $v_{st} = 3,61$;

$$\text{Fatica: } v_f = 4,07;$$

Punto C: Resistenza: $v_{st} = 3,65$;

$$\text{Fatica: } v_f = 4,11;$$

Complessivamente la gru risulta essere meno sollecitata (saranno quindi verificati anche tutti gli altri componenti)

BIBLIOGRAFIA

Normativa UNI-EN 10011;

Shigley's Mechanical Engineering Design: Richard G. Budynas, Keith Nisbett;

Costruzione di Macchine: Quaresemin Marino, Zappalorto Michele;

Catalogo HY07-1150/IT: Parker Hannifin idraulica industriale;

Catalogo profili quadri e rettangolari: Sicam srl;

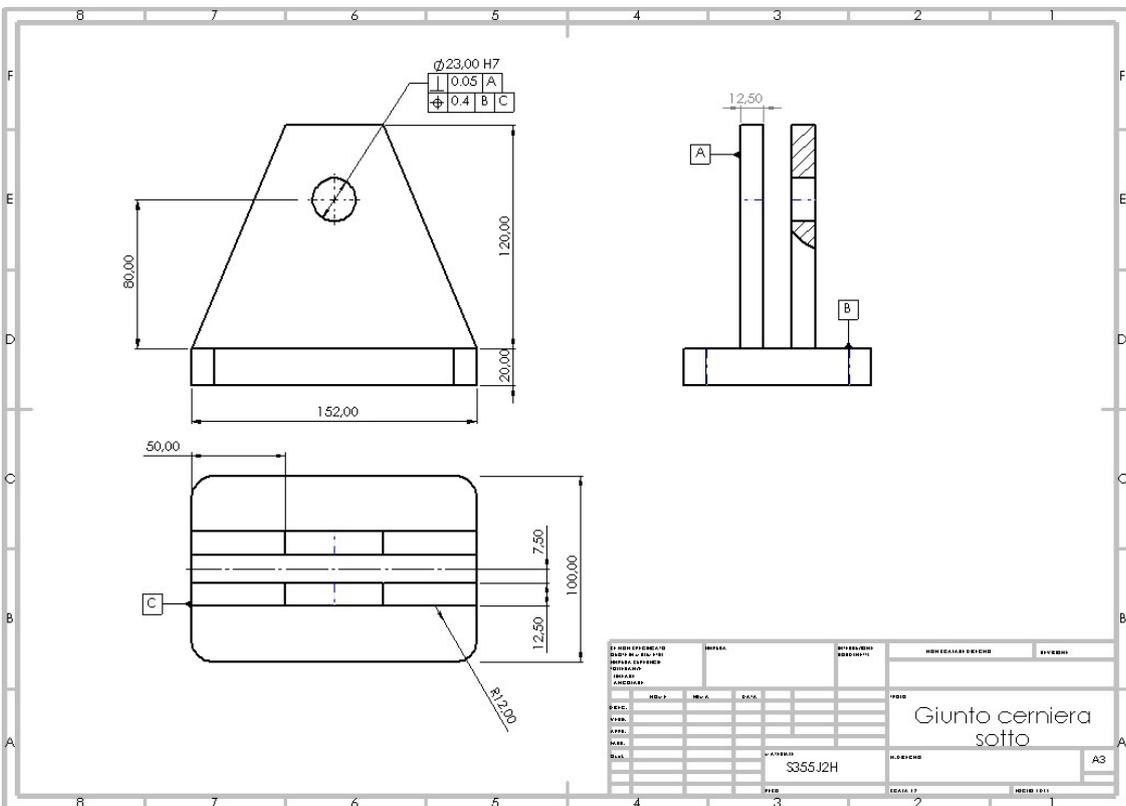
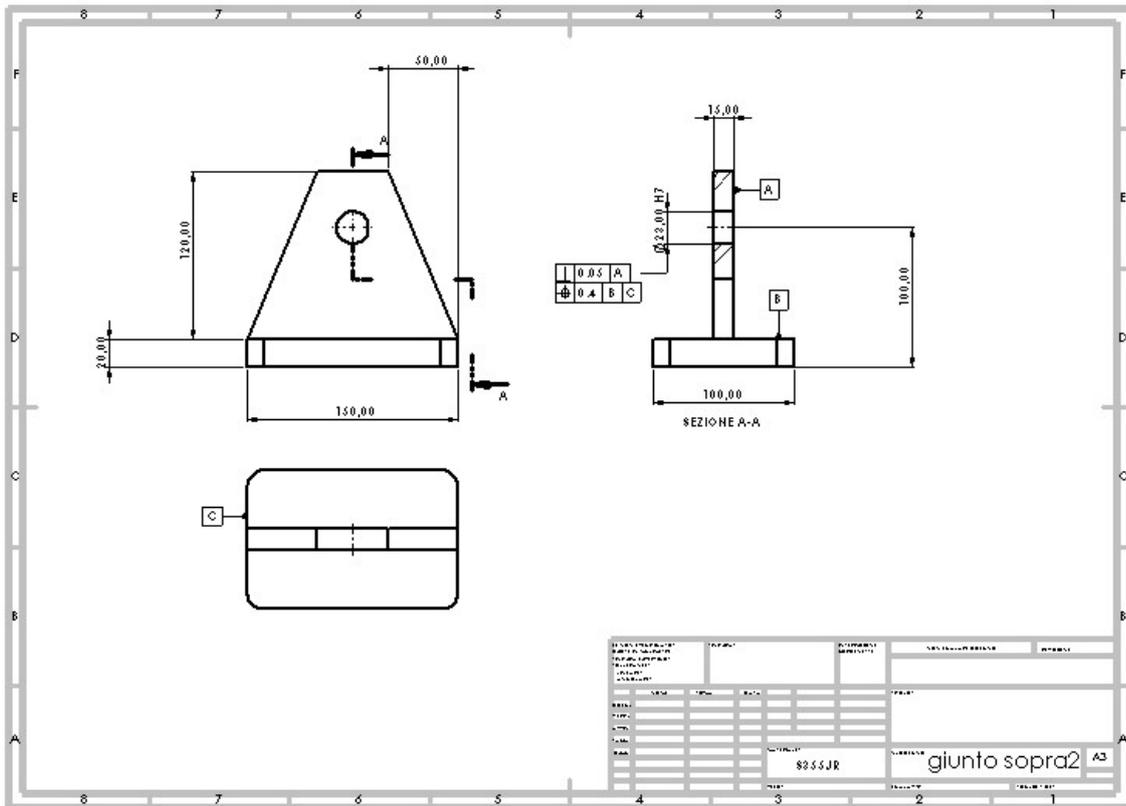
Catalogo funi e ganci: Tecnofuni Snc;

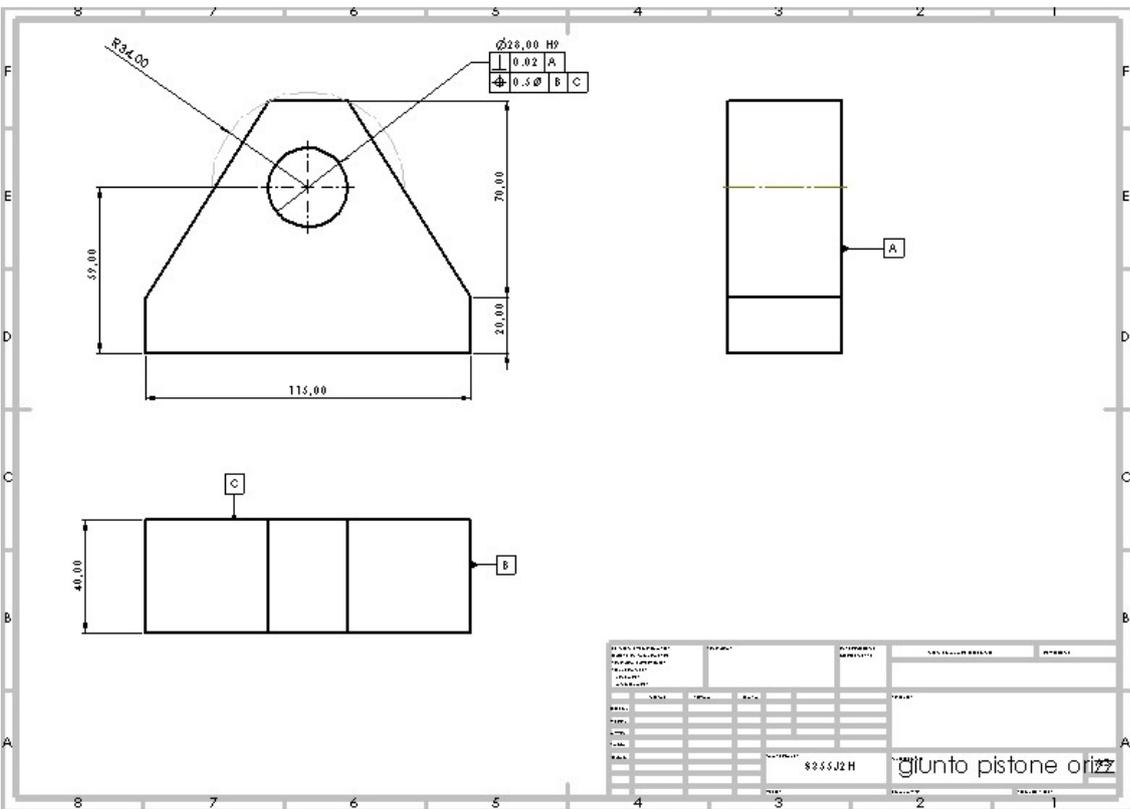
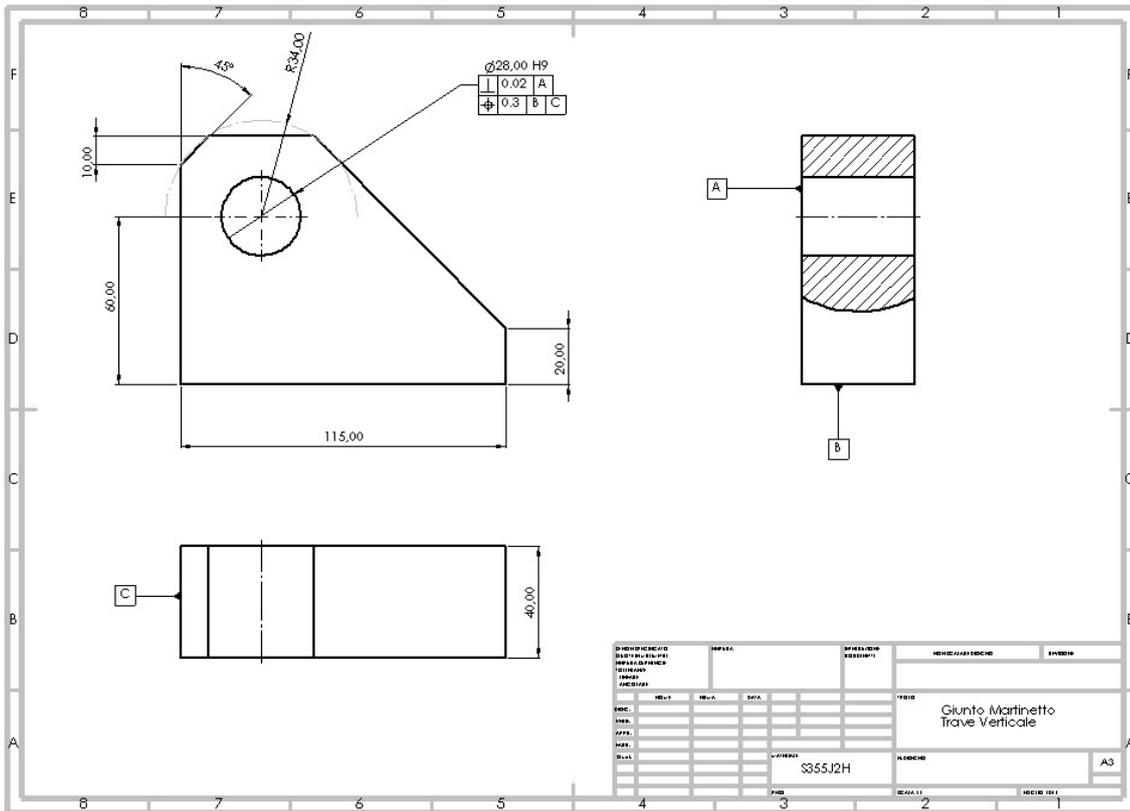
Scheda tecnica Strenx/Weldox 700: Tecnomeccanica Fidenza srl;

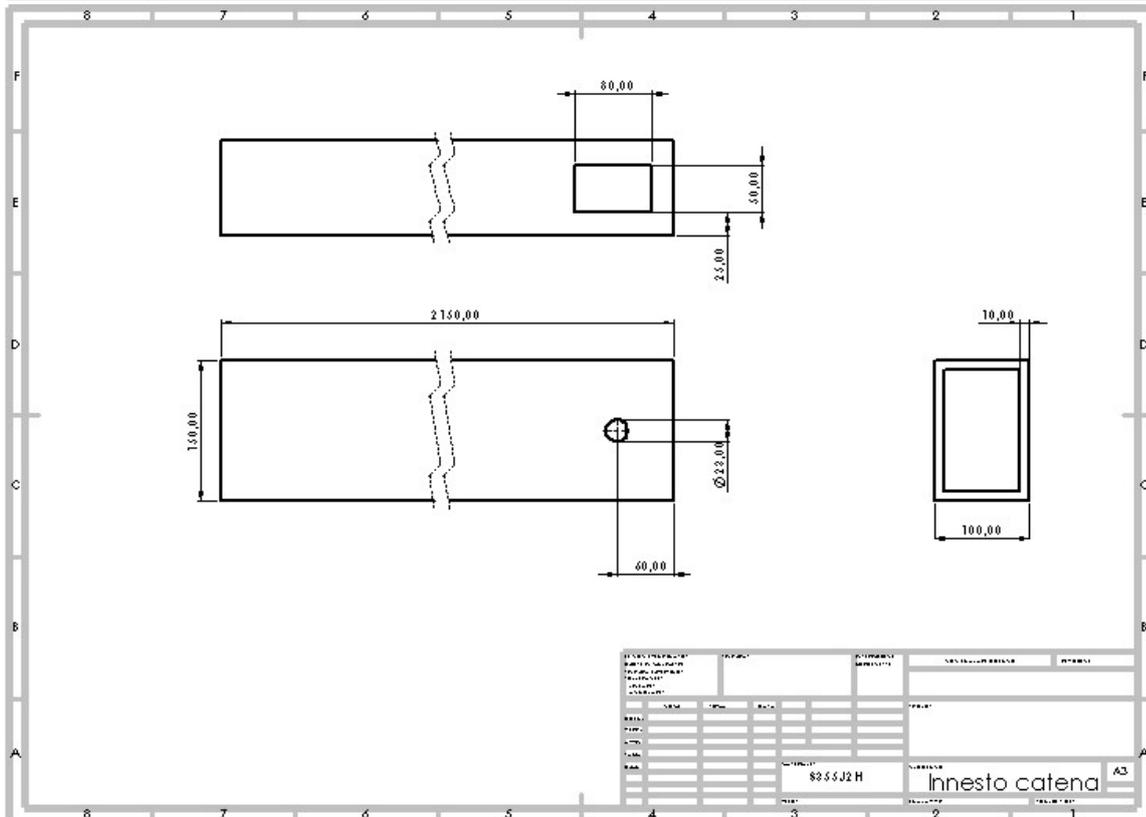
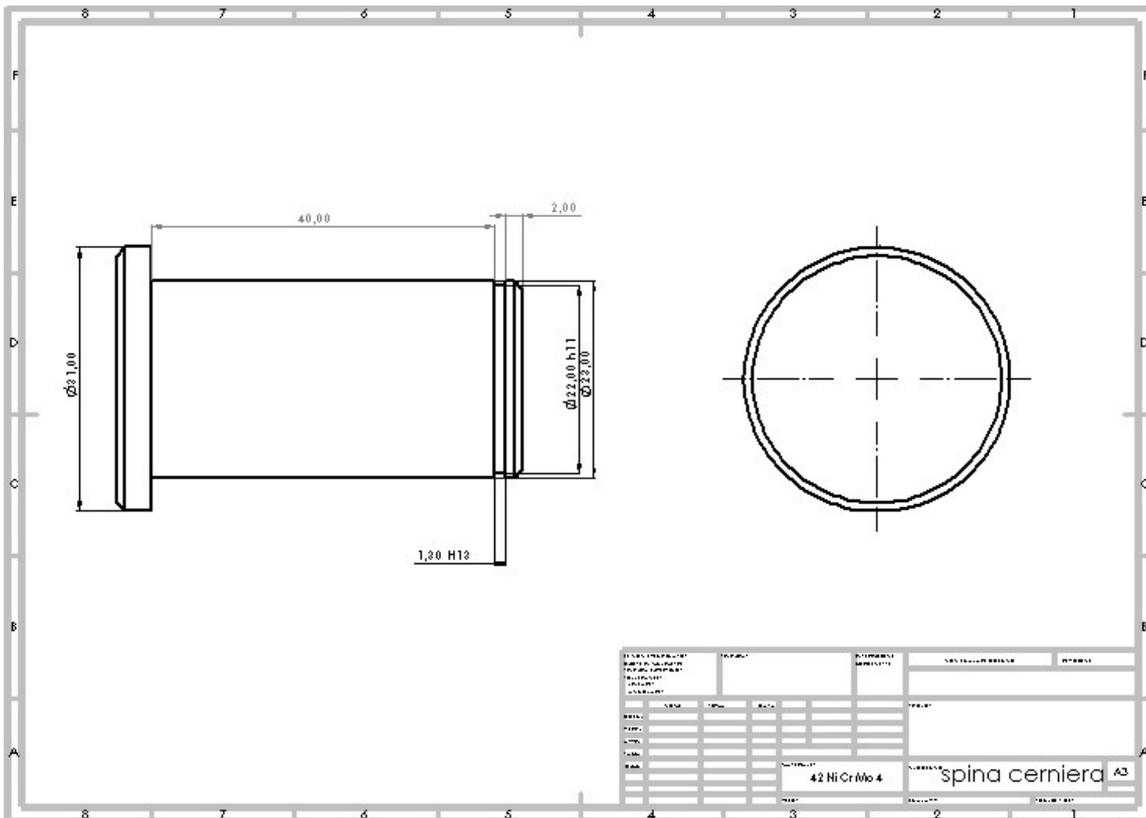
Scheda tecnica S355JH2: Metallurgica Veneta Spa,

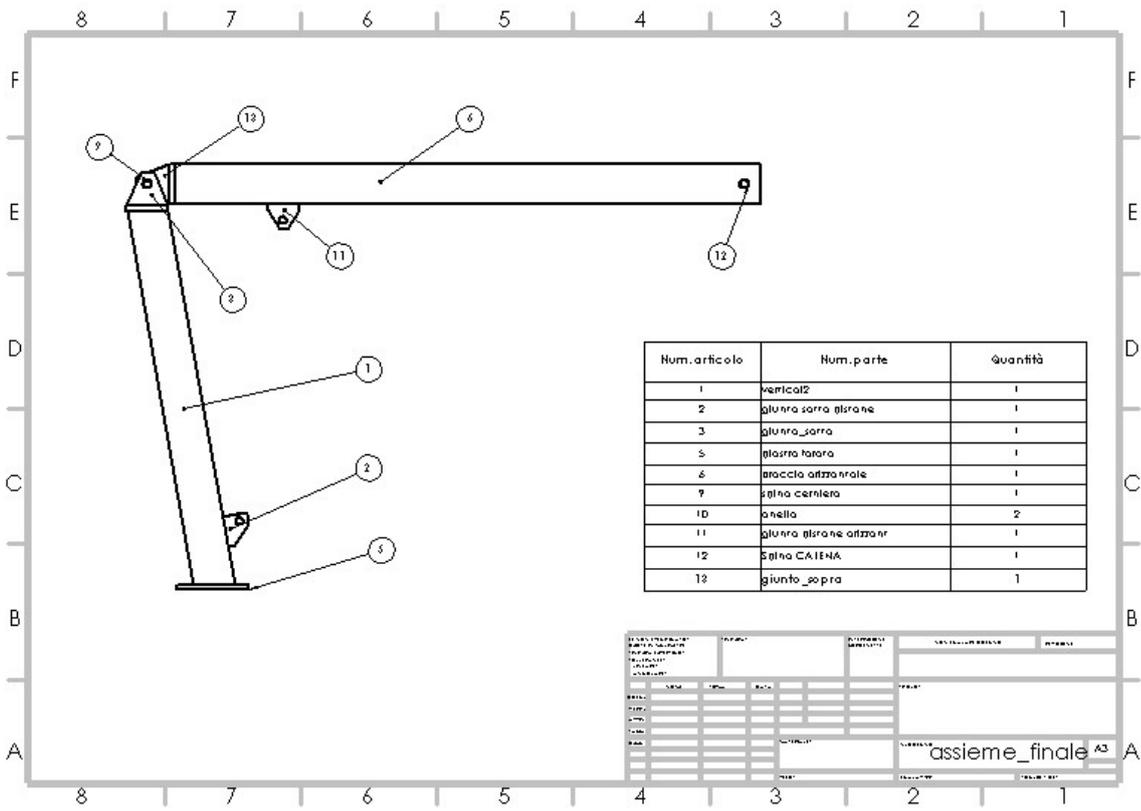
Normativa DIN 471;

DISEGNI PARTICOLARI









Num.articolo	Num.parte	Quantità
1	vertical2	1
2	giunna sarro girone	1
3	giunna_sarra	1
5	braccio tarano	1
6	braccio orizzontale	1
7	salno cerniera	1
10	anello	2
11	giunna girone orizzon	1
12	salno CAIENA	1
13	giunto_sopra	1

DESCRIZIONE	QUANTITÀ	UNITÀ	REMARKS
assieme_finale	1		

