



Università degli studi di Padova
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica e Meccatronica

**PROGETTAZIONE DI UN'ATTREZZATURA PER PROVE
DI DEFORMAZIONE SU COMPOSITI LAMINATI**

RELATORE: QUARESIMIN MARINO

LAUREANDO: TODESCO PAOLO

ANNO ACCADEMICO: 2014-2015

INDICE

Introduzione	2
1. Schema funzionale	3
2. Progetto preliminare	4
2.1. Telaio	4
2.2. Rulli mobili	5
2.2.1 Geometria	5
2.2.2 Bloccaggio rotazione rullo deformante	5
2.2.3 Regolazione dei rulli mobili	6
2.2.4 Bloccaggio dei rulli mobili	7
2.3. Montaggio rulli fissi	8
2.4. Complessivo progetto preliminare	9
3. Progetto definitivo	11
3.1. Telaio	11
3.2. Rulli fissi	15
3.3. Rulli mobili	17
3.4. Complessivo progetto definitivo	21
4. Calcoli di verifica	22
4.1. Calcolo degli accoppiamenti	22
4.1.1 Accoppiamento cuscinetto - piastra laterale	22
4.1.2 Accoppiamento cuscinetto - rullo	23
4.2. Stima delle forze applicate	23
4.3. Verifica del grano di bloccaggio della rotazione	24
4.4. Verifica della forza di serraggio sulle viti dell'asse deformante	25
5. Scelta dei materiali	27
6. Montaggio dell'attrezzatura	28
6.1. Montaggio del telaio	28
6.2. Montaggio dei rulli fissi	29
6.3. Montaggio dei rulli mobili	29
Conclusioni	30
Allegati	31
A. Disegni 2D	31
B. Disegni 3D	32

Introduzione

La seguente tesi è stata sviluppata a seguito della concreta necessità per motivi sperimentali dell'attrezzatura in oggetto. L'attività sperimentale ha come scopo la quantificazione delle diverse componenti dell'energia che viene dissipata durante la rottura di un componente in materiale composito laminato (Figura 0.a).

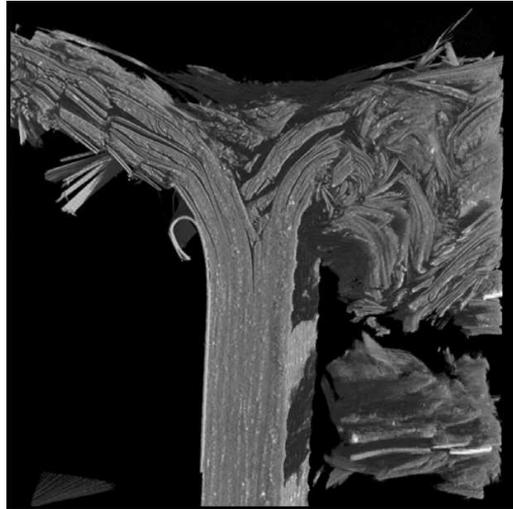


Figura 0.a - Rottura

L'attrezzatura sarà in grado di operare sui campioni una deformazione simile a quella evidenziata in colore rosso in Figura 0.b. In questo modo si riuscirà ad ottenere una stima del valore della componente spesa per la deformazione.

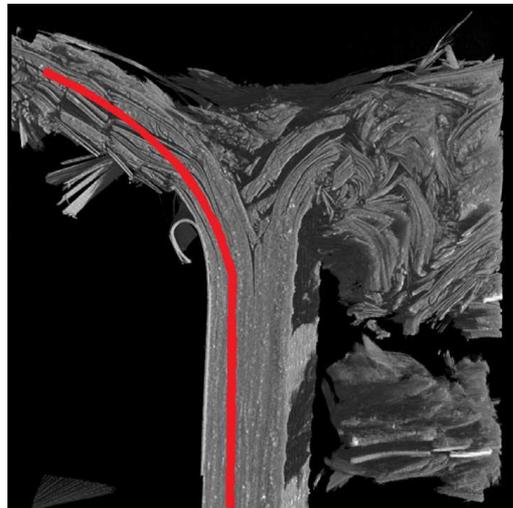


Figura 0.b - Rottura

I materiali in esame sono innovativi e tecnologicamente avanzati, di conseguenza non sono ancora previste prove unificate per la valutazione delle loro caratteristiche.

CAPITOLO 1

Schema funzionale

Al fine di studiare il contributo all'energia totale dato dalla deformazione si ricorre ad una attrezzatura con il seguente schema funzionale:

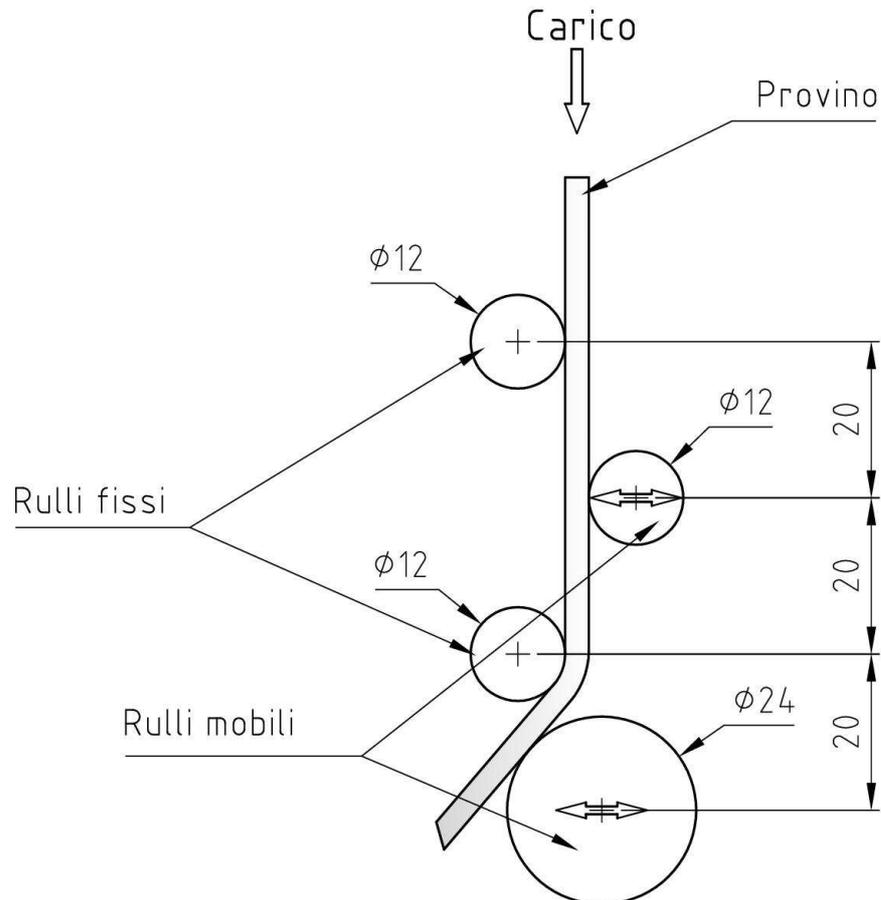


Figura 1 - Schema attrezzatura

L'attrezzatura è costituita da quattro rulli. I tre rulli di diametro minore servono per mantenere verticale il provino e guidarlo verso il rullo di diametro maggiore che regola la deformazione. Il rullo maggiore e il secondo rullo di guida a partire dall'alto devono essere posizionabili a distanza variabile rispetto agli altri due rulli fissi, per una maggiore flessibilità su geometria del provino (spessore) e su livello di deformazione. Si deve poi prevedere la possibilità di bloccare la rotazione del rullo deformante per valutare l'influenza dell'attrito.

L'avanzamento del provino e il carico applicati sono regolati dalla cella di carico sulla quale verrà montata l'attrezzatura.

Sarà altresì fondamentale disporre di un adeguato sistema di acquisizione dei dati.

CAPITOLO 2

Progetto preliminare

Dato lo schema semplificato, si passa ora ad un progetto preliminare al fine di valutare le possibili soluzioni e scegliere quindi la più adatta a soddisfare le esigenze funzionali, costruttive ed economiche.

2.1.Telaio

La struttura alla base dell'attrezzatura è il telaio; esso ha il compito di alloggiare i rulli con i relativi supporti mantenendo gli assi paralleli tra loro, limitare al minimo le vibrazioni e le deformazioni durante le prove e consentire il fissaggio dell'attrezzatura sulla tavola della macchina di prova.

Il telaio (Figura 2) sarà costituito da:

- due piastre laterali speculari con gli alloggiamenti per i cuscinetti dei rulli fissi, le scanalature per la movimentazione dei rulli mobili e le asole per il bloccaggio degli stessi;
- base sulla quale vengono montate le piastre laterali (saldate o fissate con viti) e con le asole per il fissaggio alla tavola porta-pezzo della macchina di prova;
- aste superiori cilindriche per mantenere parallele le piastre e conferire maggiore rigidità alla struttura.

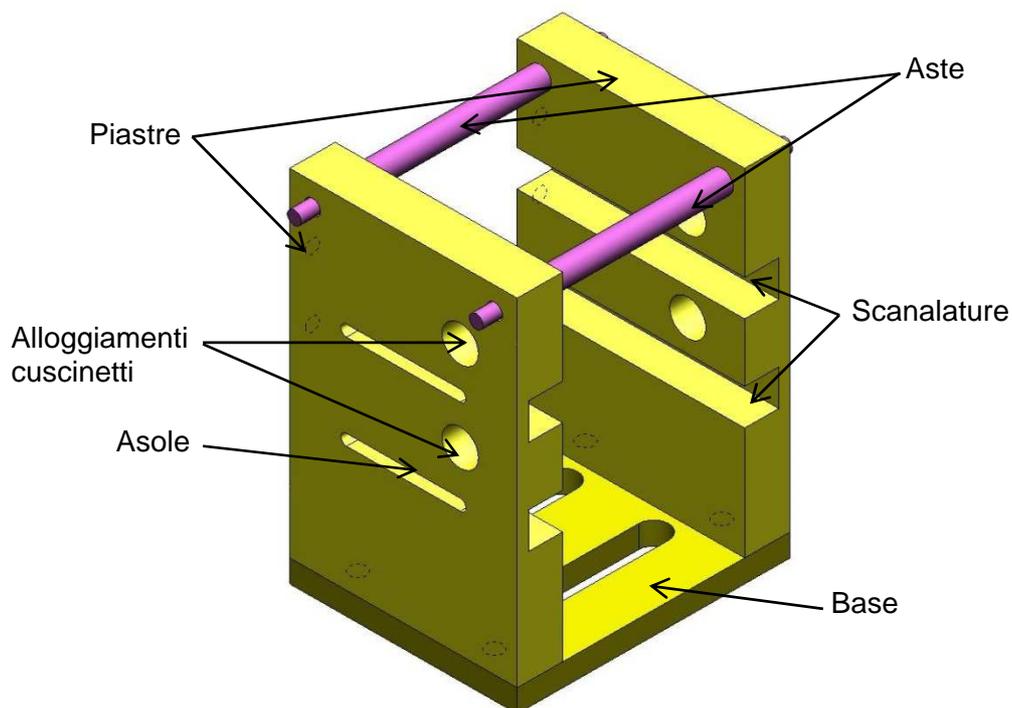


Figura 2 - Telaio

2.2.Rulli mobili

2.2.1.Geometria

Rulli mobili (Figura 3):

- Per consentire la traslazione dei due rulli, i cuscinetti non vengono montati direttamente sulle piastre ma su delle apposite guide con un'estremità sagomata in modo analogo alla scanalatura sulle piastre;
- Al fine di garantire che gli assi rimangano paralleli agli assi dei rulli fissi le due guide vengono collegate tramite una piastrina.

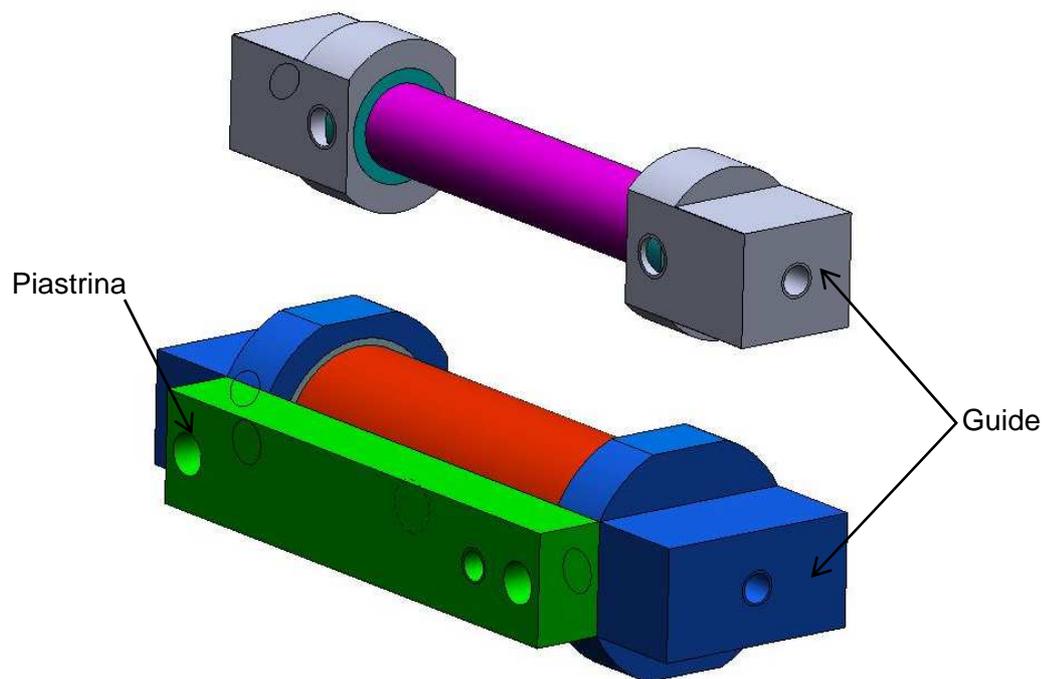


Figura 3 - Rulli mobili

2.2.2.Bloccaggio rotazione rullo deformante

Sulla piastrina montata sul rullo di diametro maggiore viene realizzato un foro filettato passante per l'inserimento di un grano che andrà a bloccare il rullo inserendosi in un apposito foro sul rullo stesso (Figura 4).

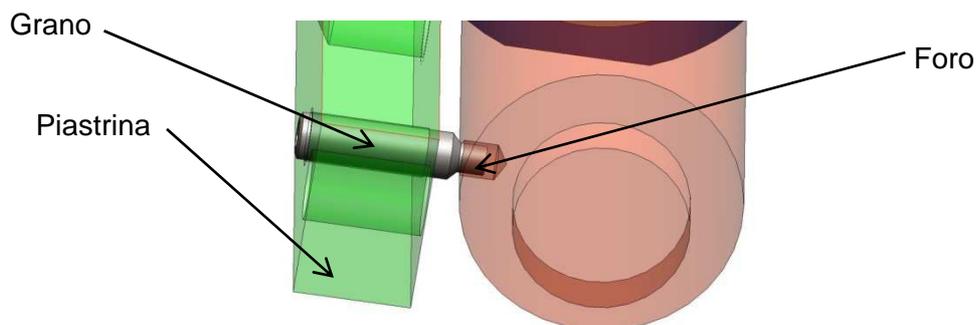


Figura 4 - Dettaglio grano di bloccaggio

2.2.3.Regolazione dei rulli mobili

Per la regolazione della posizione dei rulli si valutano due soluzioni:

- Regolazione a vite (Figura 5): alla piastrina viene fissata un'asta filettata tramite dado e controdado o altri sistemi anti-svitamento. Trasversalmente alle piastre laterali si fissa un'altra piastra con un foro passante filettato posto al centro, in corrispondenza dell'asta filettata. La regolazione avviene quindi facendo ruotare l'asta filettata.
- Si adotta un passo fine per una regolazione più precisa e per ridurre al minimo i giochi sotto carico.
- Regolazione semplice "a mano" spostando liberamente i rulli (Figura 6).

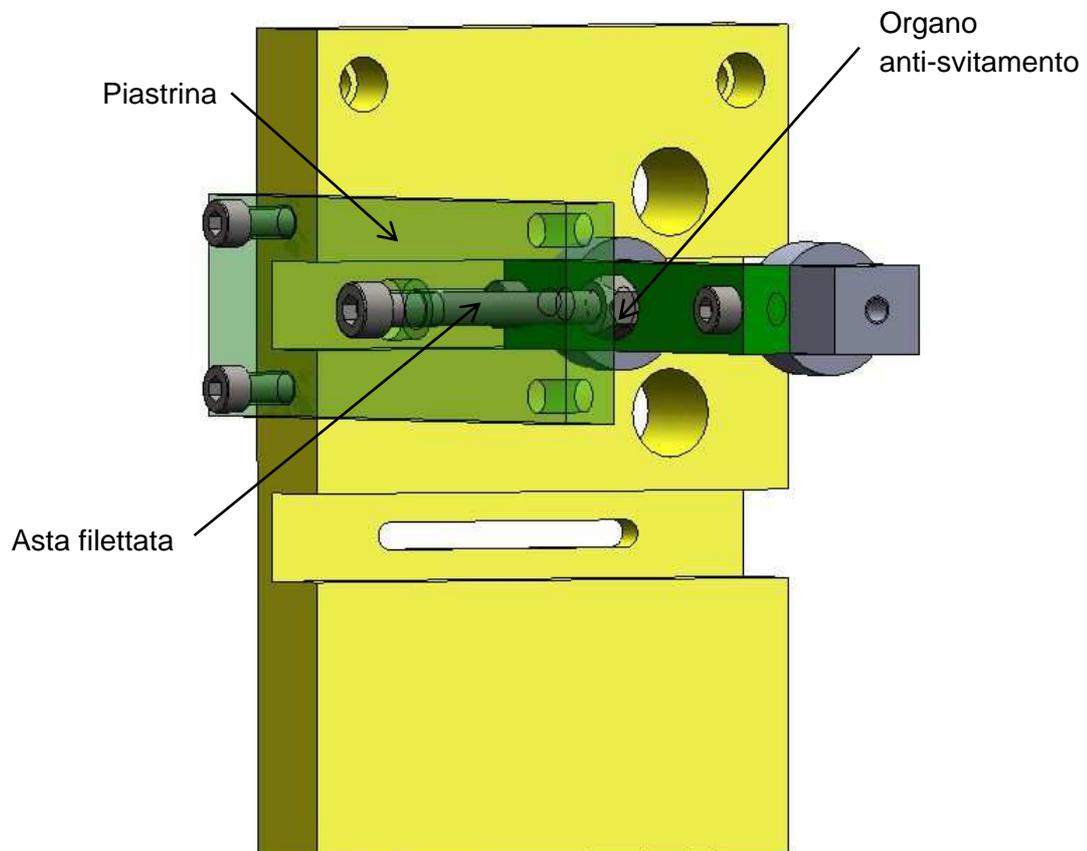


Figura 5 - Regolazione a vite

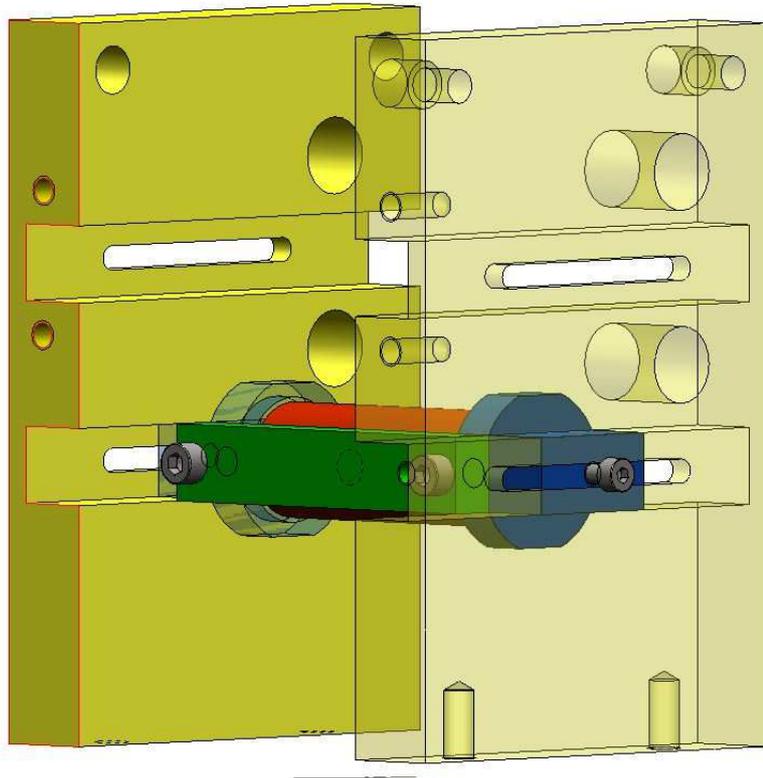


Figura 6 - Regolazione manuale

2.2.4. Bloccaggio dei rulli mobili

In entrambi i casi una volta posizionato i rulli si procede al bloccaggio serrando le viti sulle piastre laterali (Figura 7).

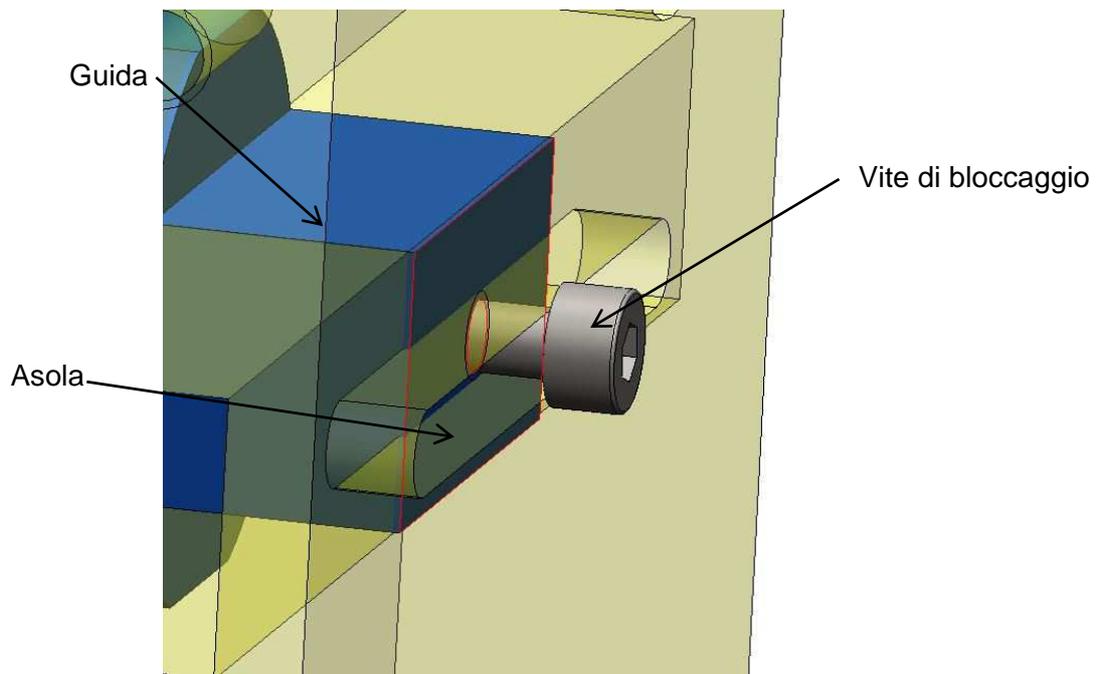


Figura 7 - Dettaglio bloccaggio

2.3. Montaggio rulli fissi

Per il montaggio dei cuscinetti sulle piastre laterali si valutano due possibili soluzioni:

- Calettamento diretto su fori calibrati sulle piastre (Figura 8);
- Calettamento tramite boccole calibrate. Le boccole verranno poi fissate alle piastre con delle viti (Figura 9).

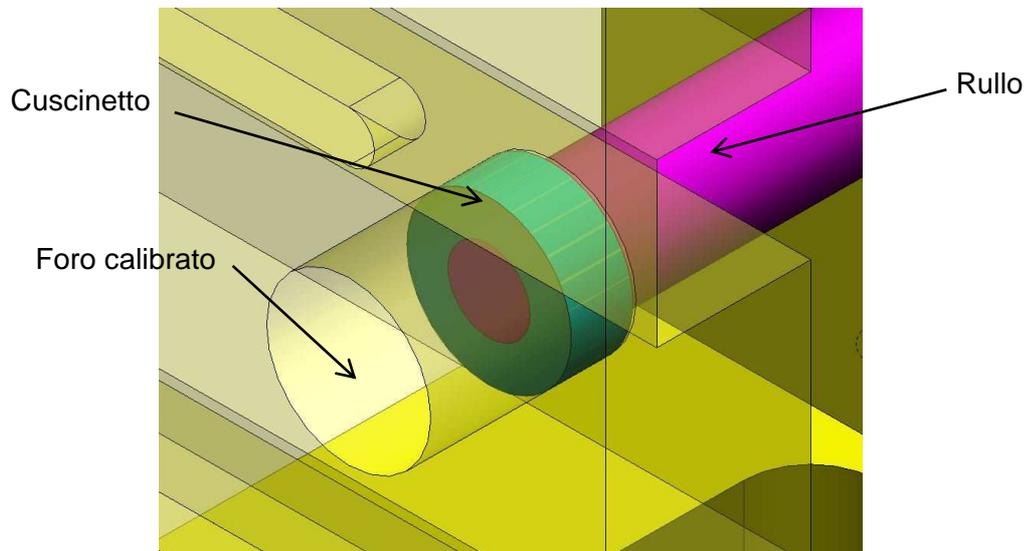


Figura 8 - Calettamento diretto

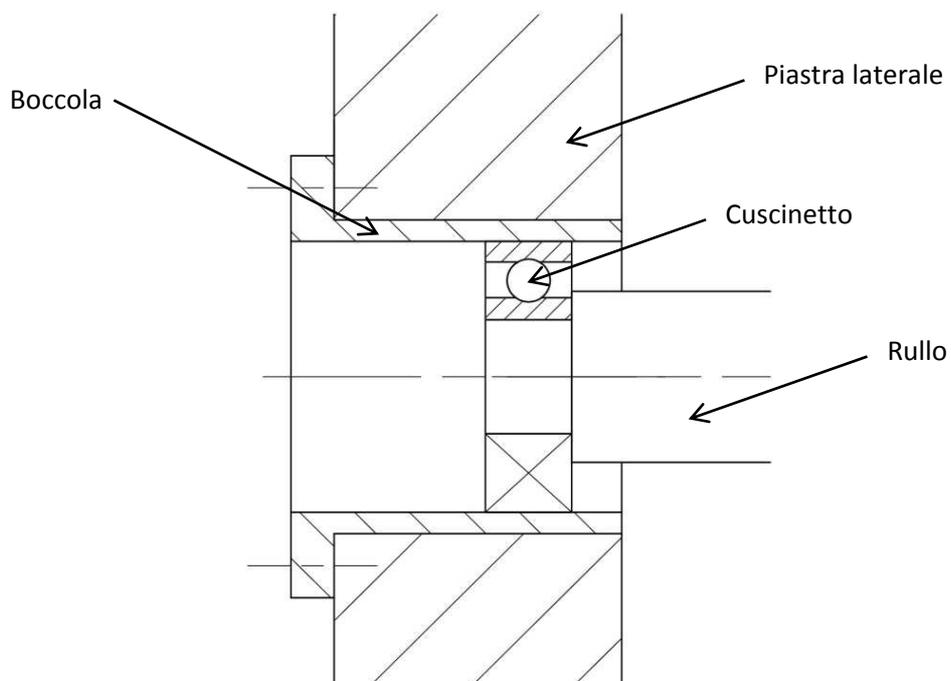


Figura 9 - Calettamento con boccola

2.4. Complessivo progetto preliminare

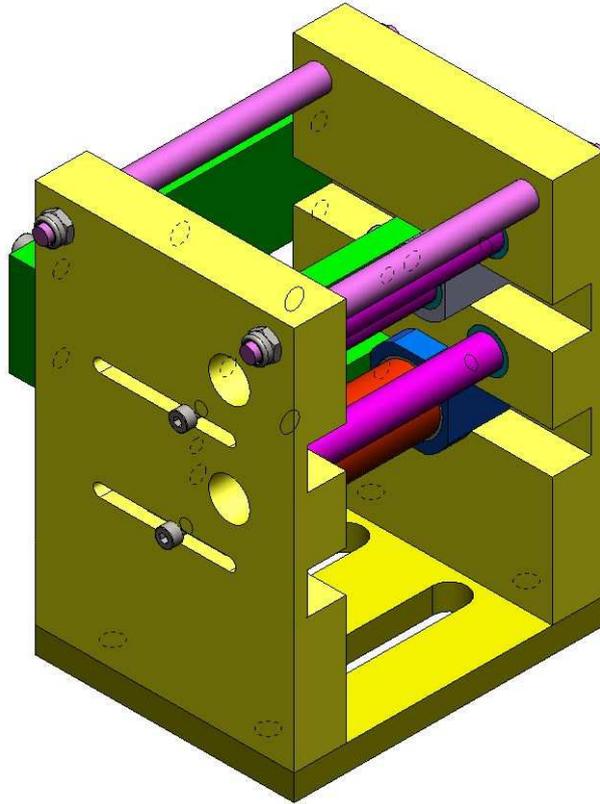


Figura 10 - Complessivo

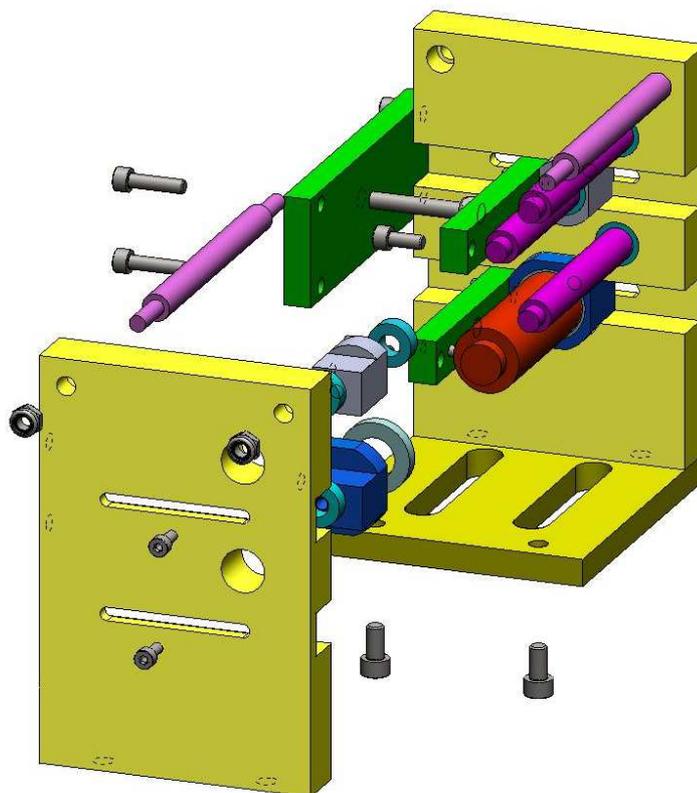


Figura 11 - Vista esplosa

Elenco componenti:

Num.	Nome parte	Qt.à	
1	Asta	2	
2	Fondo	1	
3	Guida_12	2	
4	Guida_24	2	
5	Piastra_dx	1	
6	Piastra_sx	1	
7	Piastrina	2	
8	Piastrina2	1	
9	Rullo_12	2	
10	Rullo_12_corto	1	
11	Rullo_24	1	
12	ISO 10511-M6-N	4	Componenti unificati
13	ISO 4028 - M4 x 16-N	1	
14	ISO 4762 M4 x 10 --- 10N	4	
15	ISO 4762 M5 x 12 --- 12N	4	
16	ISO 4762 M5 x 20 --- 20N	4	
17	ISO 4762 M6 x 12 --- 12N	4	
18	ISO 4762 M6 x 60 --- 24N	1	
19	ISO 7720-M6-N	1	
20	Cuscinetto_12	6	
21	Cuscinetto_24	2	

CAPITOLO 3

Progetto definitivo

Il passaggio da progetto preliminare a progetto definitivo avviene tramite l'ottimizzazione dei componenti al fine di ridurre il numero, la complessità e quindi di conseguenza il costo. Passo fondamentale è costituito dall'imposizione delle tolleranze geometriche, delle tolleranze dimensionali e delle rugosità, che determineranno la tipologia di lavorazioni da eseguire, e in seguito il montaggio e il funzionamento.

3.1.Telaio

Costituito da due piastre laterali, due aste e il fondo.

Rispetto al progetto preliminare, si sceglie di fissare le piastre laterali lateralmente al fondo sempre con 4 viti a testa cilindrica a esagono incassato (TCEI). Inoltre per garantire la necessaria precisione nell'accoppiamento piastra e fondo vengono spinati insieme (Figura 12). Su ciascuna piastra laterale si prevedono tre fori per le spine, uno sulla parte superiore e due sulla parte inferiore. Al fine del montaggio è significativo solo uno dei fori inferiori. Gli altri due sono previsti invece per consentire la lavorazione contemporanea delle due piastre, in modo tale da garantire la coassialità degli alloggiamenti dei cuscinetti e il parallelismo delle guide.

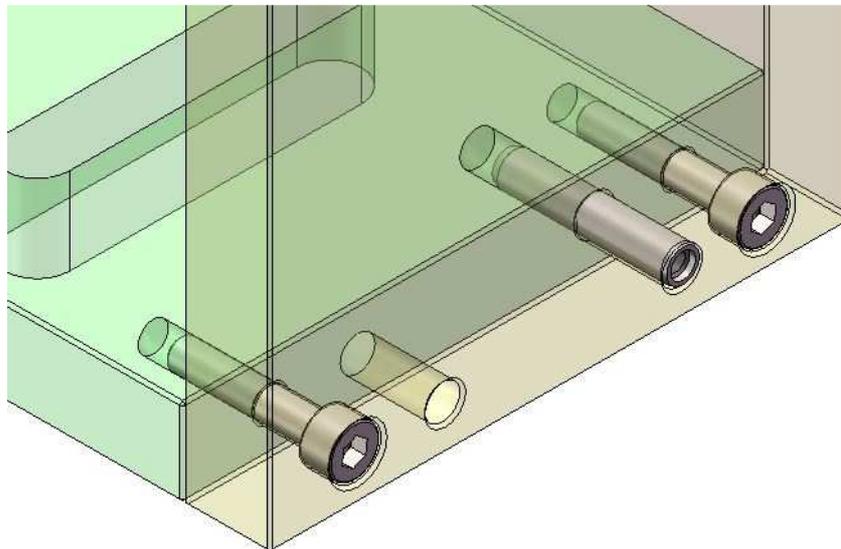


Figura 12 - Dettaglio collegamento piastra laterale – fondo

Dopo aver visionato il meccanismo di fissaggio sulla macchina di prova sulla quale verrà montata l'attrezzatura si prevede sul fondo un'asola centrale di larghezza 11 [mm] e lunghezza 50 [mm] (viti/aste fino a M10).

Le aste sono fissate in entrambi i lati con dadi auto-frenanti con anello in polimero avvitati sull'estremità filettate. Inoltre con lo spallamento a fine filettatura si garantisce la distanza tra le due piastre laterali anche dopo aver fissato i dadi. (Figura 13)

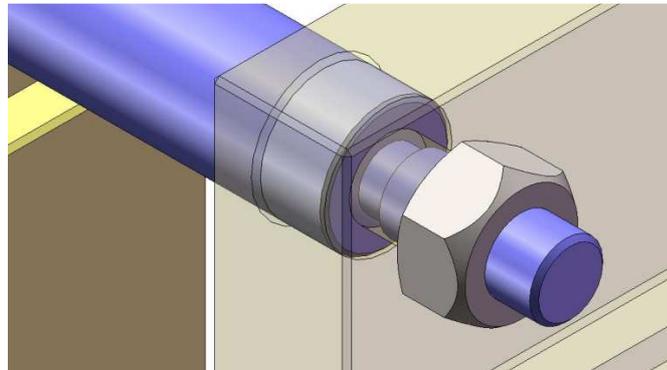


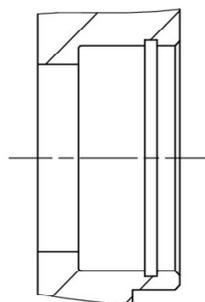
Figura 13 - Dettaglio montaggio asta

Le scanalature sulle quali si muovono i due rulli mobili vengono realizzate di dimensioni limitate in larghezza (12 [mm]) e profondità (5 [mm]) per non ridurre troppo la sezione resistente della piastra laterale, con il rischio di compromettere la rigidità del telaio.

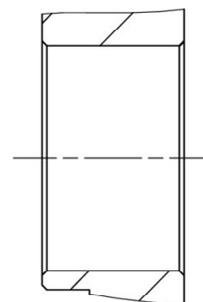
Le asole sulle scanalature avranno larghezza 5.5 [mm], sufficienti per viti M5. Alle viti TCEI ipotizzate nel progetto preliminare si preferiscono delle viti a testa esagonale (TE) che non necessitano dell'interposizione di una rondella tra testa e piastra laterale.

Al fine di ridurre il numero dei componenti dell'attrezzatura si opta per il calettamento diretto dei cuscinetti sulle piastre. Sulla piastra di sinistra si vincola completamente il cuscinetto con uno spallamento e un anello elastico (tipo "Seeger"), mentre sulla piastra di destra il cuscinetto è libero di compiere limitati spostamenti assiali, necessari sia in fase di montaggio che di utilizzo. (Figura 14)

Per determinare i diametri degli alloggiamenti occorre prima scegliere i cuscinetti.



Dettaglio piastra laterale sinistra



Dettaglio piastra laterale destra

Figura 14 - Dettaglio alloggiamenti cuscinetti

Per i rulli fissi si sceglie di impiegare dei cuscinetti radiali ad una corona di sfere con guarnizioni incorporate, in particolare il cuscinetto SKF 609-2RSL che presenta le seguenti caratteristiche:

SKF

Cuscinetti radiali a sfere, una corona

Dimensioni principali			Coefficients di carico base		Velocità di riferimento		Denominazione
d	D	B	dinamico C	statico C0	Velocità di riferimento	Velocità limite	
mm			kN		g/min		* Cuscinetto della classe SKF Explorer
9	24	7	3,9	1,66	70000	34000	609-2RSL *

Fattori di calcolo
 k_R 0,025
 f_0 13

La sigla 2RSL identifica un cuscinetto con guarnizione strisciante a basso attrito in gomma acrilonitrilbutadiene (NBR) con rinforzo in lamiera stampata su ambo i lati del cuscinetto. La schermatura è un requisito fondamentale in quanto non occorre predisporre il bagno d'olio.

La scelta di questo cuscinetto è dovuta principalmente a esigenze geometriche. Sono infatti da rispettare i parametri forniti dal costruttore, in questo caso il valore minimo e massimo del diametro d_a in corrispondenza dello spallamento, ricordando che per i rulli fissi si ha un diametro pari a 12 [mm].

Scelti i cuscinetti, le geometrie dei rispettivi fori sulle piastre laterali sono univocamente determinate.

Utilizzando gli accoppiamento consigliati da SKF la tolleranza dimensionale sul foro sarà "J6".

Si decide poi di posizionare i rulli fissi in modo tale che il carico verticale che verrà applicato abbia direzione coincidente con la linea media dell'attrezzatura. Ipotizzando uno spessore medio dei provini pari a 3 [mm], la posizione dell'asse dei rulli fissi rispetto al punto medio delle piastre sarà:

$$a = \frac{\text{spessore}}{2} + \frac{d_{\text{rullo}}}{2} = 7.5 \text{ [mm]}$$

Inoltre viene maggiorata l'altezza totale della piastra di 30 [mm] in modo da poter eseguire prove su campioni mediamente più lunghi di quelli inizialmente previsti.

La piastra laterale (sinistra) sarà la seguente:

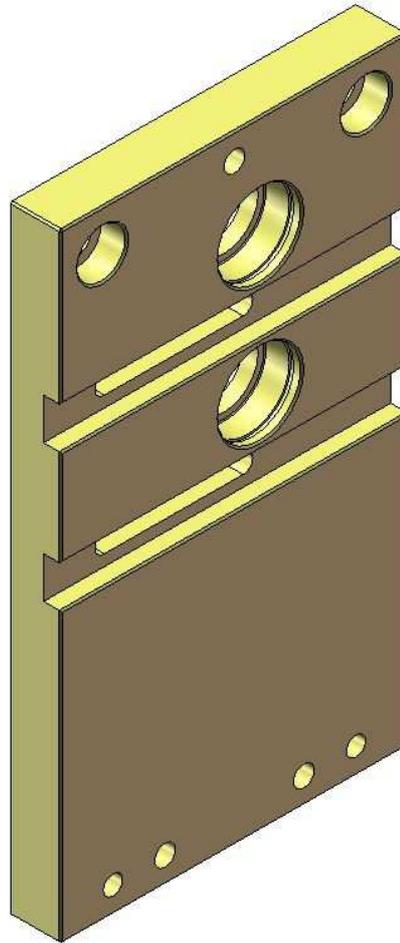


Figura 15 - Piastra laterale sinistra

Il telaio (Figura 16) è composto dai seguenti elementi:

Q.tà	Denominazione	Designazione
1	Piastra laterale sinistra	
1	Piastra laterale destra	
2	Asta	
1	Fondo	
4	Vite TCEI	Vite UNI 5931 - M5x25
2	Spina cilindrica con foro filettato	Spina UNI-EN 28733 - 6x30
4	Dado auto-frenante	Dado M8 UNI 7473

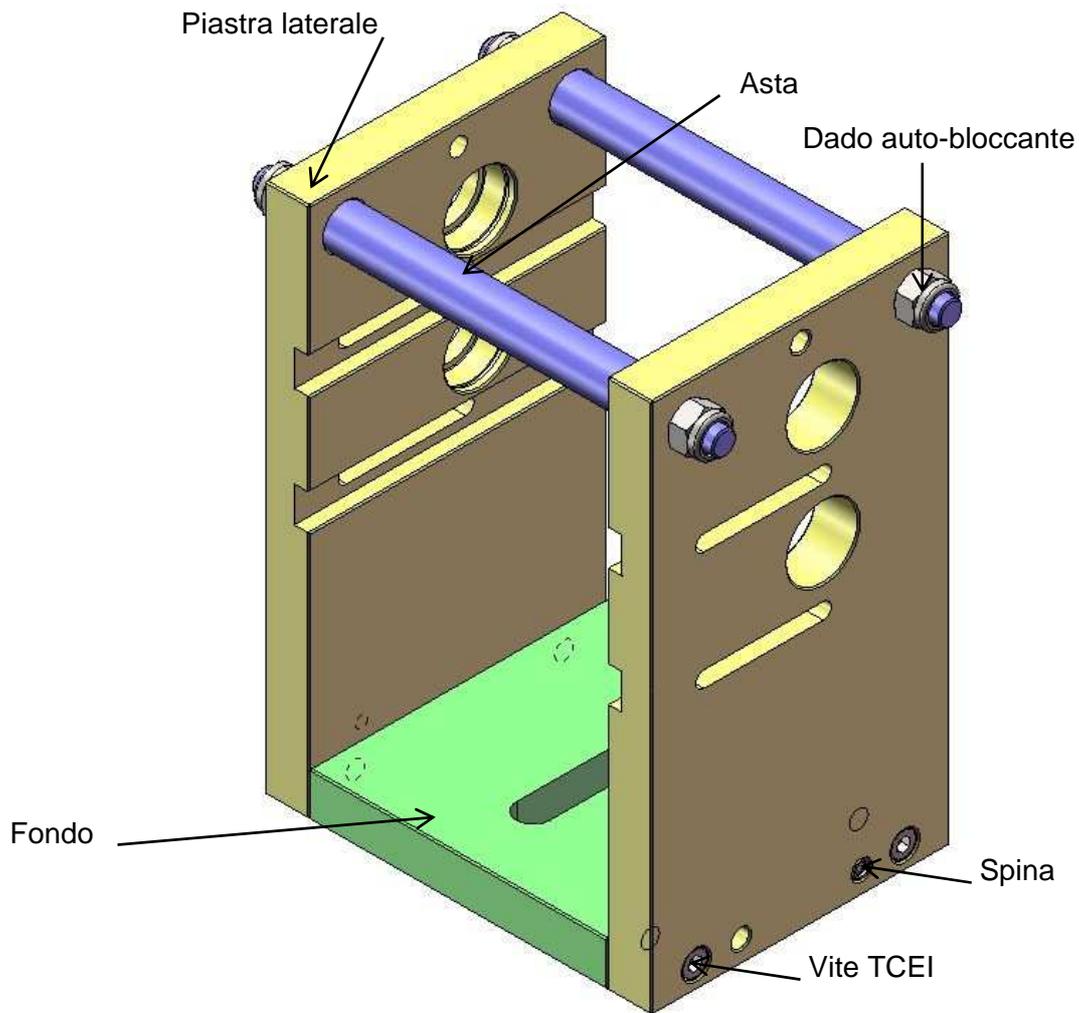


Figura 16 - Assieme telaio

3.2. Rulli fissi

Data per definitiva la geometria del telaio e dei cuscinetti, i rulli sono univocamente determinati. Resta da definire come verranno calettati i cuscinetti. La soluzione più semplice è quella di un anello elastico di tenuta (Figura 17). La tolleranza consigliata da SKF per l'anello interno è "js6".

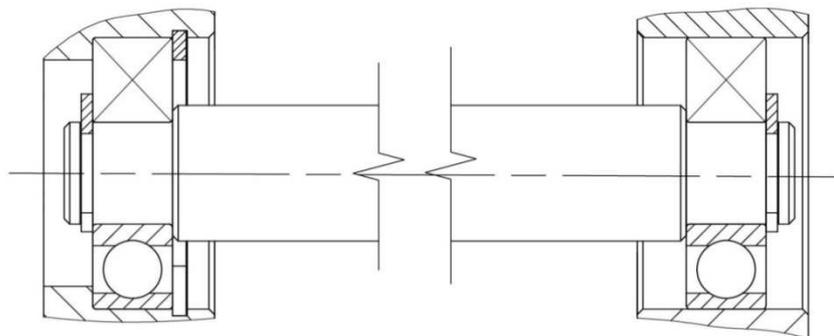


Figura 17 - Dettaglio montaggio assi fissi – (a)

In Figura 18 è rappresentata l'attrezzatura completa di telaio e rulli fissi; sono evidenziati in rosso gli anelli elastici di tenuta, in grigio i cuscinetti e in azzurro i rulli.

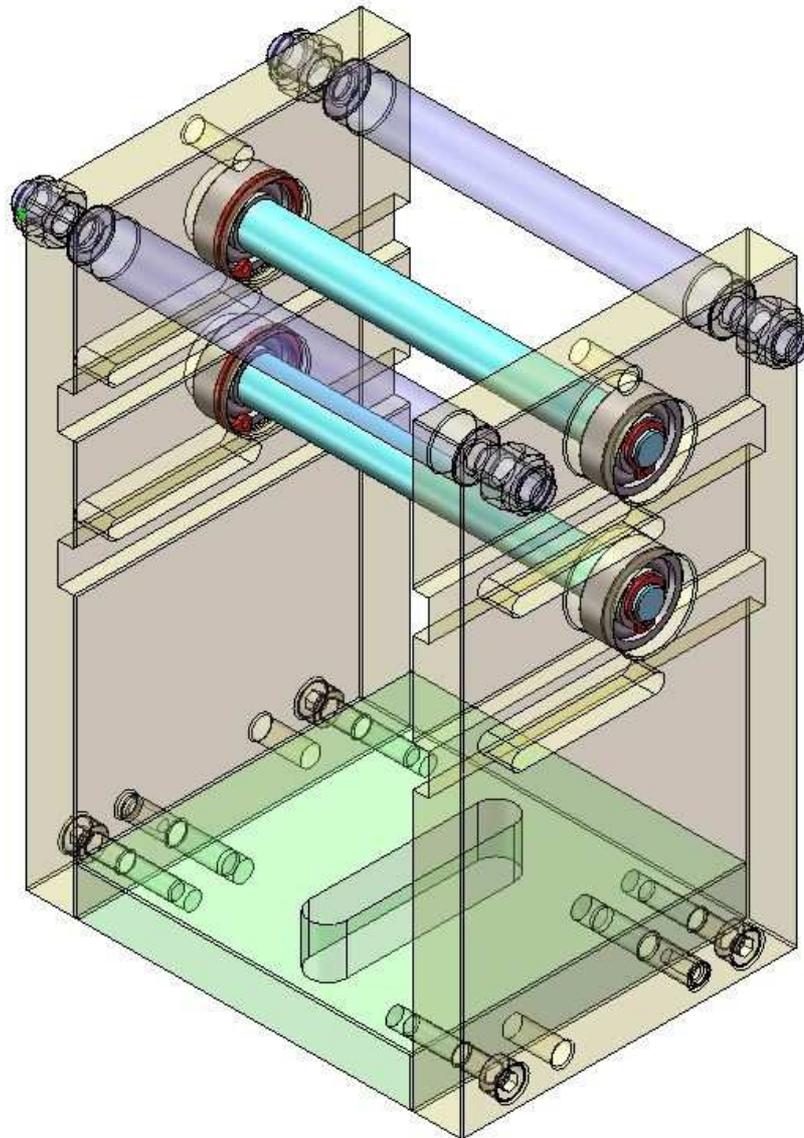


Figura 18 - Dettaglio montaggio assi fissi (b)

Di seguito i componenti necessari per il montaggio dei rulli fissi:

Q.tà	Denominazione	Designazione
2	Rullo diametro 12 lungo	
4	Cuscinetto	SKF 609-2RSL
2	Anello elastico di sicurezza per fori	Anello UNI 7437 - 24
4	Anello elastico di sicurezza per alberi	Anello UNI 7435 - 9

3.3.Rulli mobili

Rispetto al progetto preliminare per le guide si ipotizza di prendere una barra quadra come grezzo di partenza, ottenendo quindi come risultato una geometria esterna esclusivamente prismatica. Analogamente a quanto detto per il telaio, il calettamento dei cuscinetti avviene direttamente sulla guida senza l'interposizione di boccole. Scegliendo per il rullo mobile di diametro 12 [mm] sempre lo stesso cuscinetto (SKF 609-2RSL), la geometria degli alloggiamenti è analoga a quella sulle piastre laterali, ovvero con il cuscinetto a sinistra vincolato assialmente mentre a destra libero. (Figura 19)

La parte di guida, che scorrerà nell'apposita scanalatura, ha geometria nominale già definita, mentre le tolleranze e le rugosità vengono scelte in modo da permettere il libero movimento reciproco mantenendo nel contempo un'ottima precisione.

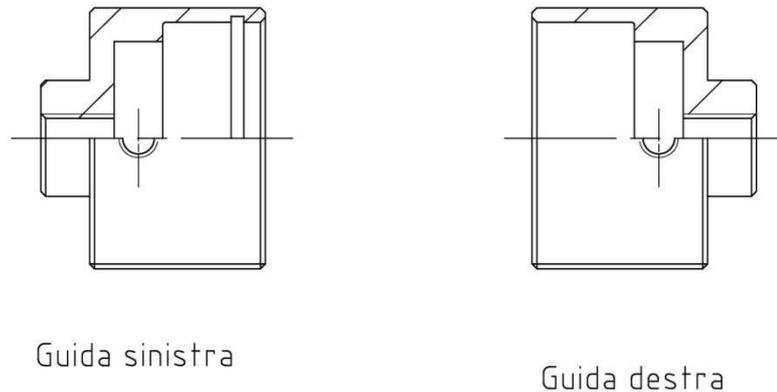


Figura 19 - Dettaglio alloggiamenti cuscinetti su guide

Il rullo avrà le estremità identiche al rullo fisso. L'unica differenza è rappresentata dalla diversa lunghezza del tratto a diametro 12 [mm].

Vengono previsti i fori filettati per il montaggio della piastrina e per il bloccaggio in esercizio. La dimensione massima esterna della guida è limitata dal rischio di interferenza con i rulli fissi. Lo spessore della guida in corrispondenza del foro di fissaggio per la piastrina è quindi contenuto (3.5 [mm]), valore insufficiente per realizzare un foro filettato cieco. Si sceglie quindi di realizzare un foro filettato passante.

Per la filettatura per il bloccaggio del rullo il ragionamento è analogo. La piastrina viene montata sulle guide tramite due viti a testa esagonale M4 lunghe 8 [mm], lunghezza tale da non interferire con il montaggio e la rotazione del rullo.

Il bloccaggio dello spostamento degli assi viene realizzato con delle viti TE M5 con gambo interamente filettato di lunghezza 16 [mm].

Con queste considerazioni la guida avrà la seguente geometria finale:

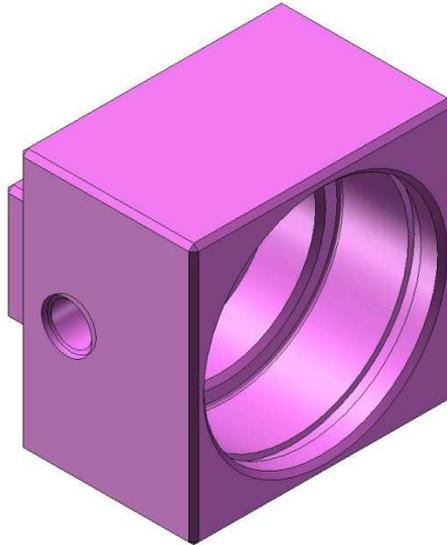


Figura 20 - Guida sinistra

La piastrina (Figura 21), come previsto, sarà un semplice parallelepipedo con i fori per il montaggio tramite viti TCEI. Rispetto al progetto preliminare lo spessore viene però ridotto fino a 4 [mm], in quanto la sua unica funzione è quella di mantenere le guide allineate. In particolare, la piastrina per il rullo deformante avrà anche un foro filettato M6 passante per la vite TCEI di bloccaggio della rotazione.

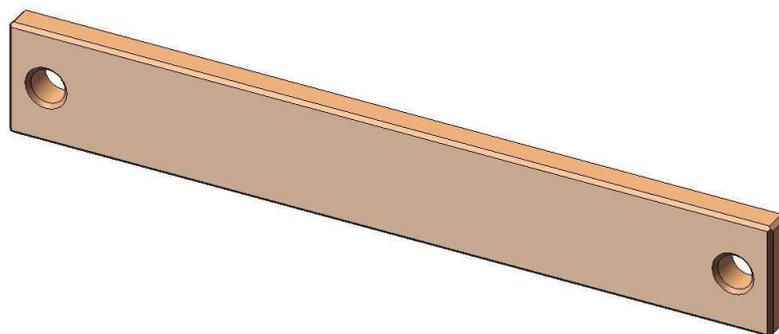


Figura 21 - Piastrina rullo mobile 12 mm

Nel progetto preliminare si era ipotizzato per il rullo deformante guide e cuscinetti dedicati. Questa soluzione non è risultata però praticabile a causa dell'eccessivo ingombro dei cuscinetti, che portava ad avere interferenza con il rullo fisso sovrastante. Si utilizzano quindi le stesse guide e gli stessi cuscinetti del rullo mobile di diametro 12.

La scelta del medesimo cuscinetto comporta, al fine di rispettarne i parametri indicati dal costruttore, la presenza di un doppio spallamento sul rullo (Figura 22).

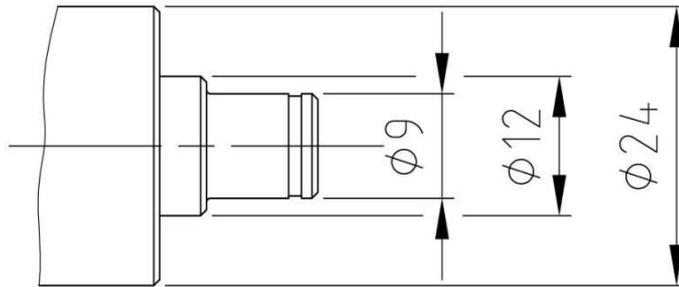


Figura 22 - Dettaglio estremità rullo deformante

Date le forze in gioco e per una migliore distribuzione delle sollecitazioni, il grano viene sostituito da due viti M6. Quindi si eseguono sul rullo due fori in posizione simmetrica di diametro 6.5 [mm] e profondità 3 [mm] (Figura 23).



Figura 23 - Rullo deformante

Assemblando i componenti:

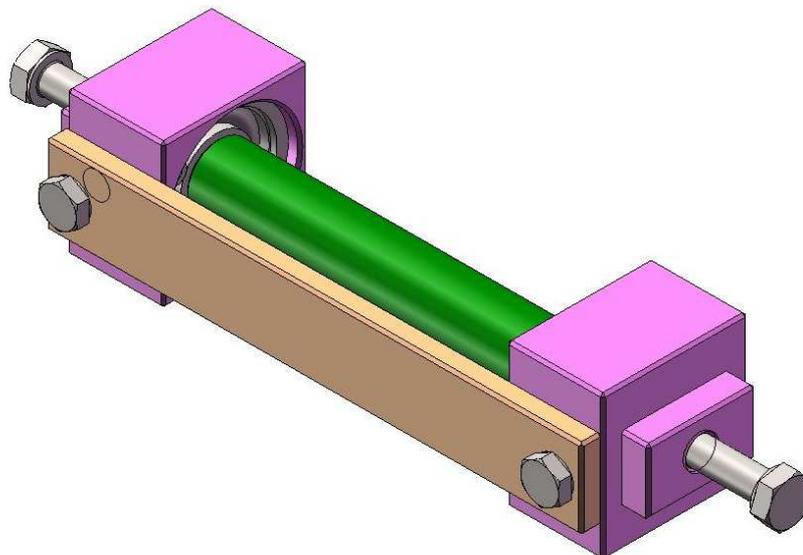


Figura 24 - Assieme rullo mobile diametro 12

Elenco componenti rullo mobile 12:

Q.tà	Denominazione	Designazione
1	Rullo diametro 12 corto	
2	Cuscinetto	SKF 609-2RSL
1	Anello elastico di sicurezza per fori	Anello UNI 7437 - 24
2	Anello elastico di sicurezza per alberi	Anello UNI 7435 - 9
2	Vite TE	Vite UNI 5739 - M5x16
2	Vite TCEI	Vite UNI 5739 - M4x8

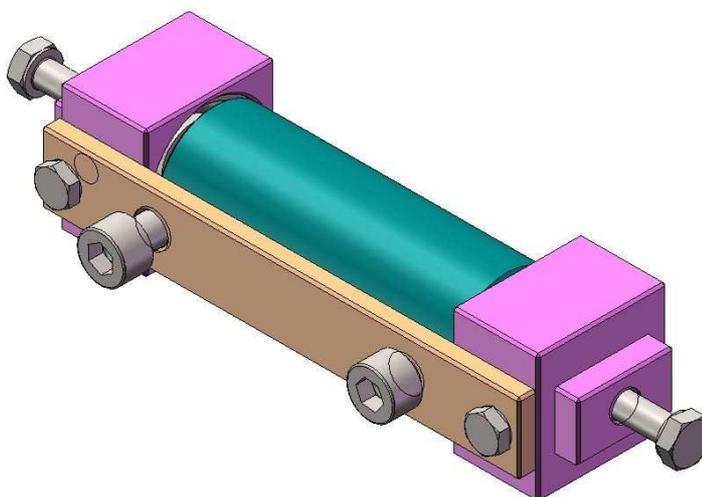


Figura 25 - Assieme rullo mobile 24

Elenco componenti rullo mobile 24:

Q.tà	Denominazione	Designazione
1	Rullo diametro 24	
2	Cuscinetto	SKF 609-2RSL
1	Anello elastico di sicurezza per fori	Anello UNI 7437 - 24
2	Anello elastico di sicurezza per alberi	Anello UNI 7435 - 9
2	Vite TE	Vite UNI 5739 - M5x16
2	Vite TE	Vite UNI 5739 - M4x8
2	Vite TCEI	Vite UNI 5925 - M6x10

3.4. Complessivo progetto definitivo

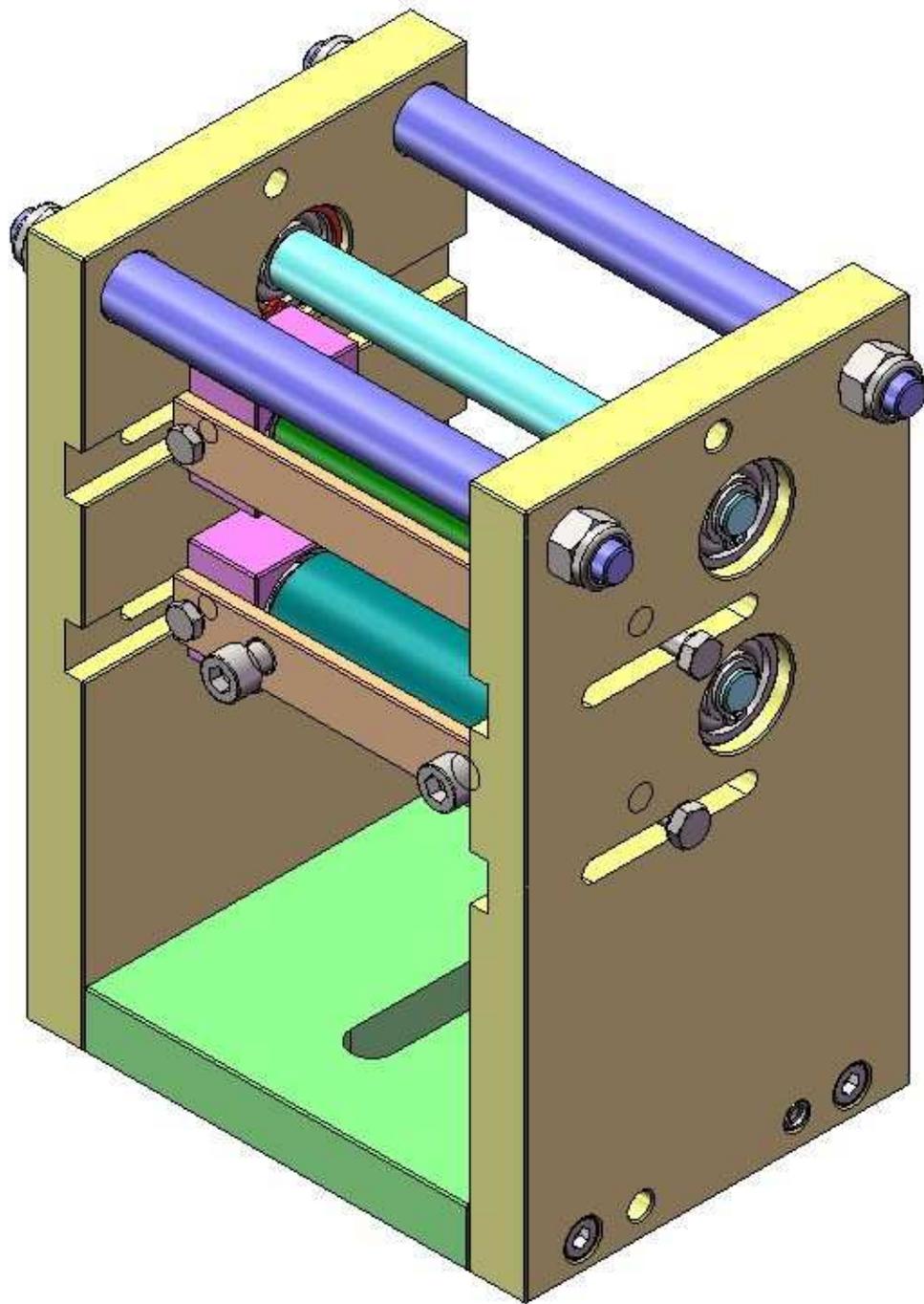


Figura 26 – Complessivo

CAPITOLO 4

CALCOLI DI VERIFICA

4.1. Calcolo degli accoppiamenti

4.1.1. Accoppiamento cuscinetto - piastra laterale

Dal manuale SKF, per un cuscinetto con diametro esterno pari a 24 [mm] gli scostamenti sull'anelo esterno sono i seguenti:

$$e_i = -0.009 [mm];$$

$$e_s = 0 [mm].$$

Per i fori sulle piastre è stata scelta la tolleranza J6, che per un diametro 24 [mm] ha i seguenti scostamenti:

$$E_i = -0.005 [mm];$$

$$E_s = +0.008 [mm].$$

Riportando i risultati su un semplice schema (Figura 26) si classifica l'accoppiamento come incerto e si possono calcolare gioco e interferenza massimi:

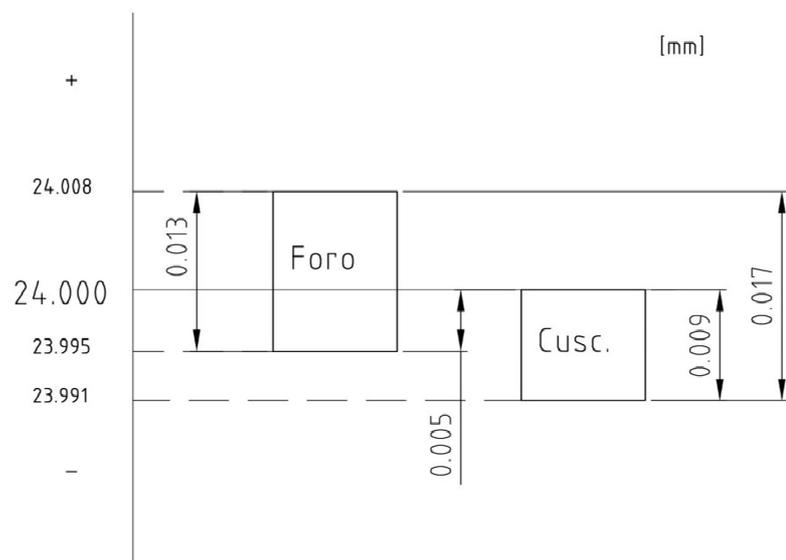


Figura 27 - Accoppiamento cuscinetto-piastra laterale

Il gioco massimo si calcola con la formula:

$$Gioco_{max} = E_s - e_i = 0.008 - (-0.009) = 0.017 [mm]$$

L'interferenza massima si calcola con la formula:

$$Int_{max} = e_s - E_i = 0 - (-0.009) = 0.009 [mm]$$

4.1.2. Accoppiamento cuscinetto – rullo

Analogamente a quanto fatto per l'accoppiamento cuscinetto-piastra laterale, dal manuale SKF si ricavano gli scostamenti per l'anello interno:

$$E_i = -0.008 [mm];$$

$$E_s = 0 [mm].$$

La tolleranza scelta per le estremità degli alberi è js6, che per un diametro di 9 [mm] corrisponde ai seguenti scostamenti:

$$e_i = -0.0045 [mm];$$

$$e_s = +0.0045 [mm].$$

Anche in questo caso l'accoppiamento risulterà incerto (Figura 27), si calcolano quindi gioco e interferenza massimi:

$$Gioco_{max} = E_s - e_i = 0 - (-0.0045) = 0.0045 [mm]$$

$$Int_{max} = e_s - E_i = 0.0045 - (-0.008) = 0.0135 [mm]$$

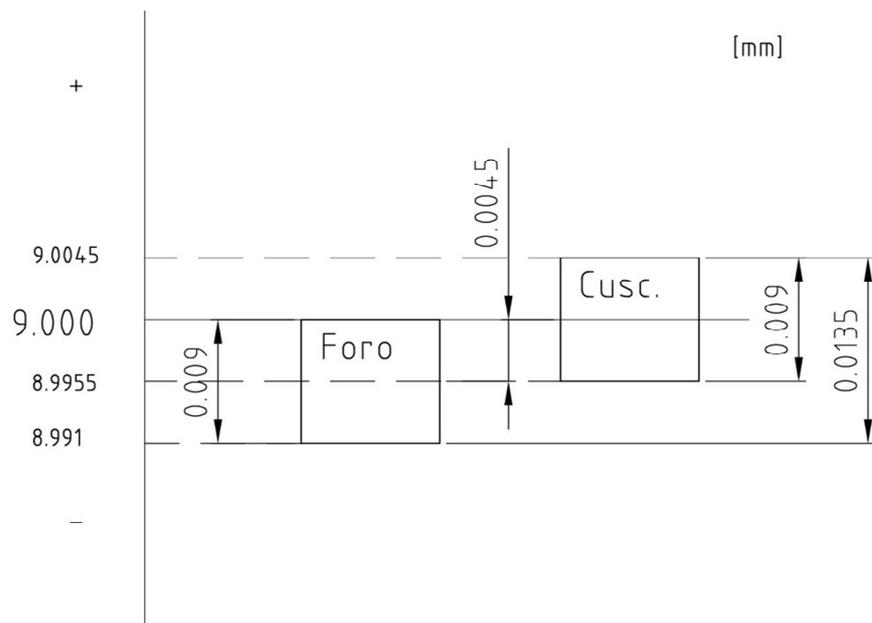


Figura 28 - Accoppiamento albero-cuscinetto

4.2. Stima delle forze applicate

Non esistendo prove unificate, la forza che sarà applicata dalla cella di carico viene stimata. In particolare occorre assumere, tramite una scelta conservativa, il valore massimo che sarà poi il valore limite dell'attrezzatura. Il valore massimo si raggiunge eseguendo prove con il rullo deformante con rotazione bloccata, in assenza di lubrificazione all'interfaccia tra rullo e provino.

Con queste considerazioni si prende come carico limite $F=15000$ [N]. La forza esercitata dalla cella di carico è verticale. Essa agirà poi sul rullo deformante scomponendosi in una componente orizzontale ed una verticale, con valori che dipendono dall'angolo di deformazione che viene conferito al provino e dal coefficiente di attrito all'interfaccia tra materiale composito-rullo in acciaio.

4.3.Verifica del grano di bloccaggio della rotazione

Per la verifica delle viti di bloccaggio della rotazione (Figura 29) si considera solamente la forza di attrito, ipotizzando un coefficiente di attrito statico $\mu_{ST} = 0.5$.

$$F_a = F * \mu_{ST} = 15000 * 0.5 = 7500 \text{ [N]}$$

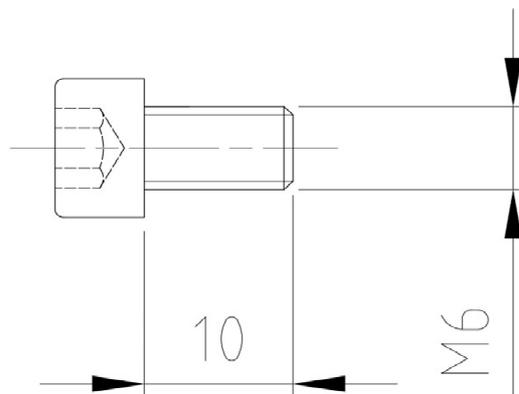


Figura 29 - Vite TCEI M6x10

La forza si riparte in ugual misura su entrambe le viti.

Dato l'elevato valore della forza si esegue la verifica sia a taglio sia a flessione nella sezione B-B.

La vite è schematizzabile come una trave incastrata, caricata all'estremità con un carico concentrato $F_a/2$ (Figura 30):

$$\frac{F_a}{2} = 3750 \text{ [N]}$$

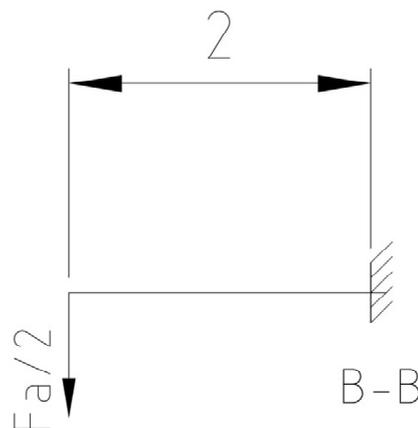


Figura 30 - Struttura equivalente

La sezione B-B è la più critica, perché vi è il massimo momento flettente, pari a:

$$M_f = \frac{F_a}{2} * 2 = 7500 \text{ [Nmm]}$$

Utilizzando la formula di Navier la tensione generata dal momento flettente è:

$$\sigma = \frac{M_{f,tot}}{W_f} = \frac{M_{f,tot}}{\frac{\pi * \Phi^3}{32}} = 485 \text{ [MPa]}$$

Dove $\Phi=5.387$ [mm] e W_f modulo di resistenza flessionale [mm³].

La tensione di taglio si calcola con la formula:

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{F_a/2}{\pi * \phi^2} = 55 \text{ [MPa]}$$

Dato che la tensione di flessione è massima dove la tensione di taglio è nulla e viceversa, la vite in classe 10.9 è sempre verificata.

4.4.Verifica della forza di serraggio sulle viti dell'asse deformante

La forza di serraggio delle due viti a testa esagonale deve essere sufficiente a contrastare la componente orizzontale della forza che agisce sul rullo deformante. Si stima che il massimo angolo di piega del provino sia pari a 225°. Si può quindi calcolare il valore massimo della componente orizzontale, che sarà pari a:

$$F_O = F * \sin(\alpha - 180) \cong 10600 \text{ [N]}$$

Per semplicità si considera solo un lato dell'attrezzatura, supponendo che il contributo all'equilibrio sia uguale su entrambi i lati.

Ora la condizione da imporre è che la forza di attrito generata dal contatto tra guide e piastre sia superiore alla spinta orizzontale:

$$F_{ATT} = F_{SERR} * \mu_{ST}$$

$$\frac{F_O}{2} \leq F_{SERR} * \mu_{ST}$$

Il coefficiente di attrito statico per due superfici di acciaio a contatto in assenza di lubrificazione è pari a:

$$\mu_{ST} = 0.74$$

Ponendosi in condizioni limite deve valere:

$$F_{SERR} = \frac{F_O}{2 * \mu_{ST}} \cong 7170 \text{ [N]}$$

Le viti in esame sono in classe 10.9:

$$\sigma_R = 1000 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{SN} = 900 \text{ [MPa]}$$

Per semplificare, si prende la sezione di nocciolo come sezione resistente:

$$M5 \rightarrow A_{res} = 15.1 [mm^3]$$

Le viti sono quindi soggette ad una tensione di:

$$\sigma = \frac{F_{SERR}}{A_{res}} = 475 [MPa]$$

Si ottiene così un grado di sicurezza statico pari a:

$$v_{st} = \frac{\sigma_{SN}}{\sigma} = 1.9$$

valore accettabile per questa applicazione.

CAPITOLO 5

SCELTA DEI MATERIALI

Il materiale di cui sarà costituita l'attrezzatura dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- Durezza maggiore rispetto a quella dei provini per non usurare i rulli;
- Proprietà meccaniche sufficienti a garantirne l'integrità durante la fase di carico, in particolare per quanto riguarda rulli e guide;
- Per i componenti unificati, classe di resistenza adeguata rispetto ai carichi a cui sono soggetti;
- Per le parti meno sollecitate, materiali economici.

A partire da queste considerazioni si scelgono i seguenti materiali:

- Per i componenti del telaio (piastre laterali, fondo e aste), un acciaio non legato per impieghi strutturali: S235JR – UNI EN 10025;
- Per i rulli, sia fissi che mobili, e per le guide, un acciaio non legato da bonifica: C40 UNI EN 10083 allo stato bonificato;

Tutti gli elementi unificati, ad eccezione delle viti di bloccaggio (10.9) degli assi mobili e di bloccaggio della rotazione del rullo deformante (10.9), vengono scelte con la classe di resistenza standard 8.8.

Data la scelta del S235JR per piastra e fondo, le spine non saranno temprate.

CAPITOLO 6

MONTAGGIO DELL'ATTREZZATURA

6.1. Montaggio del telaio

Per prima cosa, sulla piastra laterale sinistra si montano le aste e i due dadi autobloccanti, avendo cura di non serrarli troppo. Per comodità poi si montano già i cuscinetti nella loro sede, bloccandoli con i rispettivi anelli elastici. (Figura 31)

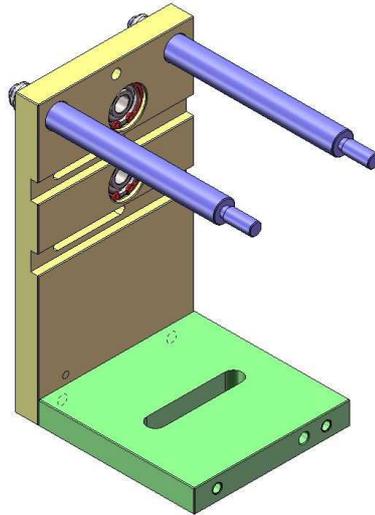


Figura 31 - Montaggio 01

Si posiziona poi la piastra a fianco del fondo inserendo la spina e le viti senza fissarle. Si accosta all'altro lato del fondo l'altra piastra laterale e la si centra con la spina, le viti TCEI e le aste. Una volta verificato che tutti i componenti sono correttamente accoppiati si possono serrare le viti e i dadi in modo definitivo. (Figura 32)

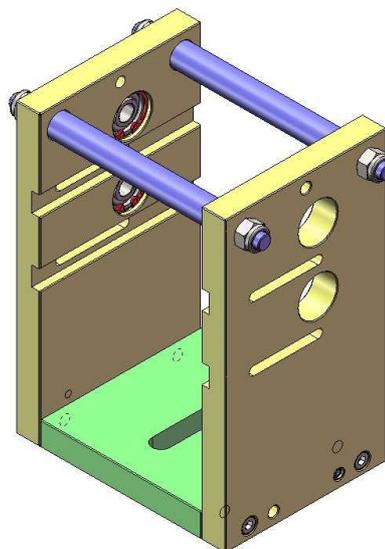


Figura 32 - Montaggio 02

6.2.Montaggio dei rulli fissi

Si monta sul rullo il cuscinetto mancante e lo si vincola con l'anello elastico, poi si infila il tutto attraverso il foro sulla piastra laterale destra fino al punto in cui si riesce ad inserire l'anello di tenuta anche all'altra estremità del rullo. (Figura 33)

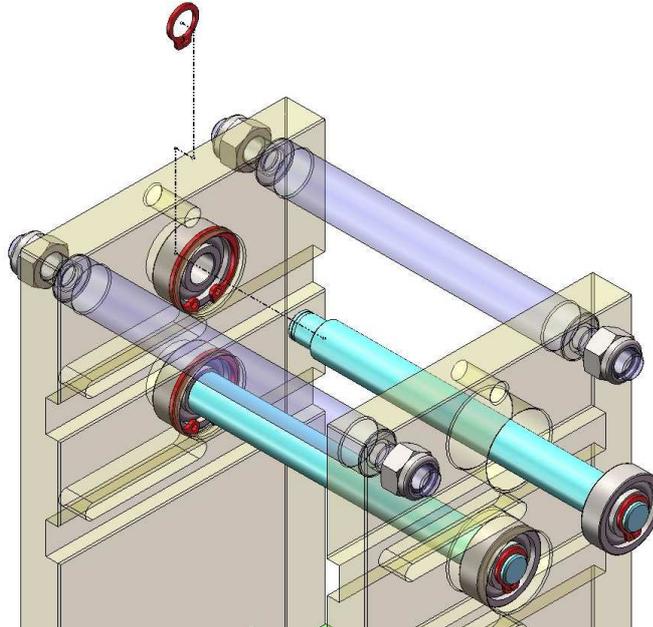


Figura 33 - Montaggio 03

6.3.Montaggio dei rulli mobili

Per prima cosa si montano i cuscinetti sul rullo vincolandoli con gli anelli elastici. Si monta poi la guida di sinistra inserendo anche l'anello di tenuta per fori. Ora si può infilare anche la guida di destra; per il suo corretto posizionamento si ricorre alla piastrina e alle guide di scorrimento sulle piastre che sono già allineate nella loro posizione finale. Una volta ottenuta la corretta posizione si possono serrare le viti a testa esagonale della piastrina e inserire da lato le viti per il bloccaggio in posizione degli assi mobili.

Ultimo passo consiste nell'avvitare sulla piastrina del rullo deformante le due TCEI per il bloccaggio della rotazione.

Conclusioni

Scopo del lavoro svolto era progettare un'attrezzatura per eseguire prove di deformazione su provini laminati in materiale composito. Partendo da uno schema funzionale si è sviluppato il progetto preliminare per poi passare al progetto definitivo operando scelte che garantissero costi minori e maggiore funzionalità. Ultimi step del progetto sono stati la scelta dei materiali e successivamente i calcoli di verifica della struttura. L'evoluzione del progetto è chiaramente visibile attraverso i disegni contenuti nella relazione.

L'attrezzatura sviluppata si inserisce nelle attività di ricerca sui materiali compositi del Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali. Il suo utilizzo permetterà di ottenere conoscenze più approfondite sui materiali oggetto di studio.

Allegati

A. Disegni 2D:

- 01 – Piastra Laterale dx
- 02 – Piastra Laterale sx
- 03 – Fondo
- 04 – Asta
- 05 – Rullo $\Phi 12$
- 06 – Rullo $\Phi 24$
- 07 – Rullo $\Phi 12$ mobile
- 08 – Guida lato dx
- 09 – Guida lato sx
- 10 – Piastrina rullo $\Phi 12$
- 11 – Piastrina rullo $\Phi 24$
- 12 – Complessivo

B. Disegni 3D:

01 – Telaio

02 – Complessivo