



Università Campus Bio-Medico di Roma
Facoltà dipartimentale di ingegneria

Costruzione di Macchine e Sistemi Biomeccanici
A.A 2023/2024

Prototipazione virtuale e dimensionamento di un dispositivo con meccanismo basato su quadrilatero articolato

Progetto con applicazione Information Technology

Gruppo N.15
Leonardo Fabiani
Thomas Kelly
Alessandro Zampa

DATA ASSEGNAZIONE: *25 marzo 2024*
DATA CONSEGNA: *5 giugno 2024*

Indice

1 Specifiche tecniche	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Prestazioni	3
1.3 Condizioni	4
1.3.1 Pesi e ingombri	4
1.3.2 Interfacce	4
1.3.3 Condizioni ambientali	5
1.3.4 Vincoli ergonomici	6
2 Modellazione tridimensionale dei componenti principali e assemblaggio virtuale	6
2.1 Assieme	6
2.2 Sistema di sostegno	7
2.3 Custodia	7
2.4 Assieme e Quadrilatero articolato	8
3 Messa in tavola di un componente e dell'assieme con bollatura	10
4 Analisi tramite simulazione numerica di componenti rilevanti	11
4.1 Asta movente	11
4.2 Asta cedente	12
4.3 Biella	12
A Appendice	13
A.1 Esploso	13
A.2 Risultati analisi statica	13

Elenco delle figure

1 Rappresentazione del meccanismo di sintesi	1
2 (a) Rappresentazione invenzione del brevetto US 7.209.127; (b) Rappresentazione invenzione del brevetto US 11.293.584	2
3 Sistema di riferimento adottato per la descrizione delle prestazioni e gli ingombri del dispositivo SwiTab	3
4 Raffigurazione dell'ingombro totale del dispositivo: il centro O , del sistema di riferimento adottato, corrisponde al vertice del lato corto della base di supporto	5
5	6
6	7
7	7
8	8
9	8
10 Vista in semisezione che mostra il sistema di blocco	10

11	Messa in tavola dell'elemento posteriore della custodia	10
12	Messa in tavola con bollatura dell'assieme	11
13	Von Mises stress	11
14	Displacement	11
15	Safety factor	11
16	Von Mises stress	12
17	Displacement	12
18	Safety factor	12
19	Von Mises stress	12
20	Displacement	12
21	Safety factor	12
22	Raffigurazione dell'esploso di SwiTab	13
23	Rappresentazione delle forze di trazione a cui il membro cedente è sottoposto .	13
24	Rappresentazione delle forze applicate alla biella	14
25	Rappresentazione delle forze e del momento applicato alla manovella	14

Elenco delle tabelle

1	Coordinate delle cerniere fisse e mobili	1
2	Configurazioni assunte dal tablet	3
3	Caratteristiche geometriche, pesi e ingombri dei componenti del dispositivo . .	4
4	Ingombri complessivi spaziati dal dispositivo	5
5	Risultati della FEA	12

Introduzione

In un mondo che procede verso l'adozione di uno stile di vita sempre più sedentario, lavoratori e studenti trascorrono molte ore davanti al computer, spesso assumendo posizioni scorrette. Consapevoli di quanto questa possa arrecare danni alla salute, si è deciso di realizzare un dispositivo per il posizionamento di tablet in grado di tutelare anche la salute degli utilizzatori. Il dispositivo permette l'utilizzo di un tablet in diverse configurazioni, dalla scrittura alla visualizzazione di contenuti. SwiTab è stato pensato e realizzato facendo attenzione a rispettare i vincoli dettati dalla letteratura scientifica attualmente disponibile, in modo da prevenire l'insorgenza di problemi legati ad un utilizzo erroneo dei dispositivi.

Dati di partenza

Il meccanismo di partenza per la realizzazione del dispositivo SwiTab è stato ottenuto tramite l'applicazione del metodo di Suh-Radcliffe, ed è mostrato in Figura 1. Il quadrilatero di sintesi è in grado di roto-traslare un tablet, solidale alla biella. Le coordinate delle cerniere, fisse e mobili sono riportate rispettivamente nella Tabella 1.

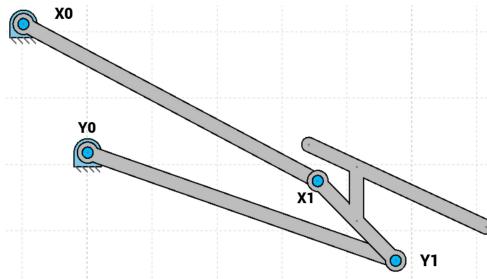


Figura 1: Rappresentazione del meccanismo di sintesi

Cerniera	Coordinate in scala 1 : 3 [cm]	Coordinate effettive [cm]
X_0	(-1.96; 8.23)	(5.88; 24.7)
Y_0	(0.02; 4.36)	(0.06; 13.0)
X_1	(7.15; 3.50)	(21.5; 10.5)
Y_1	(9.50; 1.10)	(28.5; 3.3)

Tabella 1: Coordinate delle cerniere fisse e mobili

1 Specifiche tecniche

1.1 Introduzione

Un numero cospicuo di brevetti si focalizza sulla realizzazione di prodotti per la custodia e il supporto di tablet. La maggior parte di essi però non implementa come meccanismo di funzionamento un quadrilatero articolato. Principalmente, le cover e gli stand hanno lo scopo

di posizionare i tablet in configurazioni che consentano la visualizzazione dello schermo e scrittura sullo stesso in diverse angolazioni. Al momento non esistono esempi di sistemi di supporto improntati a evitare disagi muscolo-scheletrici [3]. Secondo degli studi condotti su alcuni gruppi di studenti [1, 2], esistono dei range¹ di inclinazione secondo i quali bisognerebbe ruotare i tablet per tutelare la salute degli utilizzatori.

Si è deciso di analizzare due brevetti in cui sono stati sviluppati dei sistemi di supporto, per dispositivi elettronici, che svolgono funzioni similari a quelle di SwiTab:

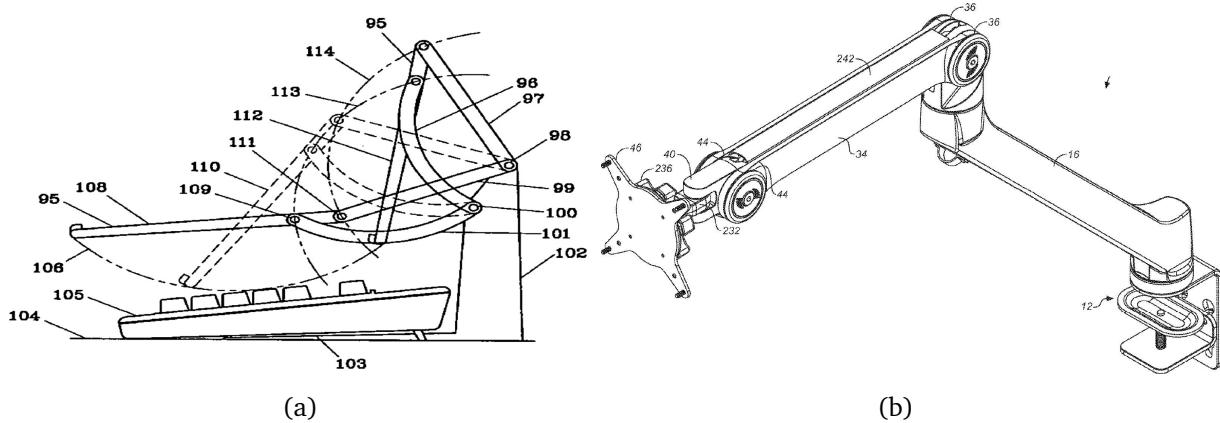


Figura 2: (a) Rappresentazione invenzione del brevetto US 7.209.127; (b) Rappresentazione invenzione del brevetto US 11.293.584

- Il primo prototipo, esposto nel brevetto US 7.209.127 (*James H.Bowen, Electronic sketch pad and auxiliary monitor, 2007*), consente di affiancare il monitor di un computer fisso a un tablet per effettuare delle annotazioni sullo schermo del display. Lo stand è progettato per posizionare il tablet sopra la tasteria del computer e per consentire l'utilizzo di quest'ultimi in contemporanea. Secondo l'autore, questo sistema consentirebbe di sostituire un eventuale monitor secondario del computer fisso: in tal modo l'utente non sarebbe costretto a ruotare il collo per visionare il secondo schermo, alleviando quindi eventuali tensioni cervicali.
 - Il secondo prototipo, presente nel brevetto US 11.293.584 (*Ronald G. Kleist, Monitor and Keyboard support stand, 2022*), consente di supportare, modulandone l'altezza e l'angolazione, un monitor per computer. Il sistema è costituito da due aste principali: la prima può ruotare intorno alla normale della superficie di appoggio del prototipo mentre la seconda asta permette di alzare, abbassare e ruotare lo schermo. Il montaggio sulla superficie di appoggio avviene per mezzo di un morsetto.

¹Il range più conservativo è compreso nell'intervallo di [20°, 60°]. L'inclinazione viene valutata rispetto a una superficie piana, orizzontale e parallela al terreno, su cui si posiziona il tablet.

1.2 Prestazioni

SwiTab consente di posizionare un tablet facendogli assumere tre configurazioni distinte. Secondo il sistema di riferimento adottato, rappresentato in Figura 3, le modalità di posizionamento vengono classificate come riportato nella Tabella 2.

Configurazione	Modalità d'uso	ϕ	d [cm]	δ
#1	Scrittura	24.5°	30	30°
#2	Vista I	43.6°	30.6	20°
#3	Vista II	77.5°	54.6	0°

Tabella 2: Configurazioni assunte dal tablet

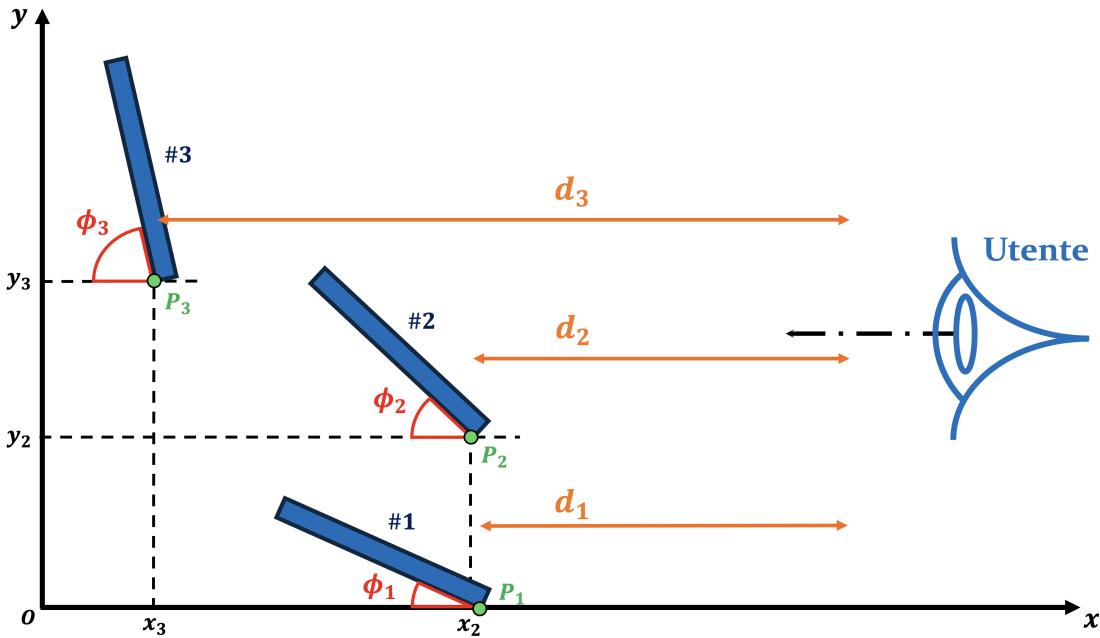


Figura 3: Sistema di riferimento adottato per la descrizione delle prestazioni e gli ingombri del dispositivo SwiTab

Ogni configurazione è correlata alla modalità di utilizzo corrispondente; con ϕ si indica l'inclinazione del tablet rispetto all'orizzontale (superficie di appoggio), d rappresenta la distanza tra il volto dell'utente e lo schermo del tablet, con δ si indica l'inclinazione del collo dell'utente rispetto ad un piano perpendicolare alla superficie di appoggio del tablet. In aggiunta alle possibilità di posizionamento del tablet, SwiTab consente di:

1. Alloggiare nella custodia tablet che abbiano un'estensione massima di 34.6×25.0 cm con un peso massimo di 850 g;
2. Avere una tolleranza di movimento delle aste di massimo $\pm 0.5^\circ$, rispetto a quanto sancito nella Tabella 2 in merito al parametro ϕ ;

-
3. Essere smontato e rimontato in 10 componenti garantendone la trasportabilità da parte dell'utente. Si deve ridurre in tal modo l'ingombro complessivo del dispositivo: nella modalità di utilizzo principale il volume occupato deve essere di 45800 cm³ mentre una volta smontato deve essere pari a 6750 cm³.

1.3 Condizioni

1.3.1 Pesi e ingombri

SwiTab deve essere costituito da sei componenti principali, le cui dimensioni, pesi e ingombri devono assumere valori prossimi a quelli mostrati nella Tabella 3, con una tolleranza massima di: ±0.5 mm, ±10 g e ±1 cm³.

	Dim 1 ² [cm]	Dim 2 ³ [cm]	Spessore [cm]	Ingombro [cm ³]	Peso [g]	Volume [cm ³]
Base	36.0	26.0	2.00	1870	1900	1780
Torretta	23.6	9.00	4.00	855	680	640
Asta 1	33.0	/	2.60	136	75.0	71.0
Asta 2	32.5	/	2.60	135	74.0	70.0
Biella	13.2	6.65	2.00	176	35	25.3
Custodia	36.1	14.4	4.40	2290	348	327
Totale				6750	3960	3720

Tabella 3: Caratteristiche geometriche, pesi e ingombri dei componenti del dispositivo

La voce **Ingombro** sancisce quale sia lo spazio massimo occupabile dal singolo componente, mentre per **Volume** si intende quello effettivamente occupato (a seconda della specifica geometria della parte). La **Dim 1** della **Custodia** è stata imposta tenendo conto di una sua possibile estensibilità tramite ulteriori componenti; nella voce **Torretta**, la quale si identifica come un componente che deve svolgere una funzione di supporto per il quadrilatero articolato, è stato preso in considerazione anche un contributo aggiuntivo, in termini di peso, ingombro e volume, per l'inserimento di un sistema di bloccaggio. Le **Aste 1 e 2** devono essere smontabili e retraibili; per tale motivo la **Dim 1** corrisponde alla lunghezza massima delle componenti da cui sono costituite una volta assemblate.

Gli ingombri massimi occupati da SwiTab sono riportati nella Tabella 4. Quest'ultimi non sono legati ai singoli componenti ma all'apparato complessivo, in cui il tablet assume le configurazioni assegnate. L'ingombro totale spaziato è rappresentato in Figura 4.

1.3.2 Interfacce

Si identificano le interfacce con le quali lo strumento SwiTab interagisce:

²Lunghezza

³Larghezza

-
- 1) **Superficie piana parallela al terreno:** il posizionamento della base del dispositivo deve avvenire su una superficie liscia, regolare e soprattutto piana⁴. L'aderenza a tale superficie deve essere garantita impiegando dei gommini antiscivolo.
 - 2) **Tablet:** tramite l'estrazione di due supporti, il tablet va inserito nella custodia per essere poi appoggiato sui degli elementi curvi, garantendo che rimanga ancorato a essa durante il moto.

1.3.3 Condizioni ambientali

SwiTab può essere utilizzato su una qualsiasi superficie liscia (Paragrafo 1.3.2), sia in ambienti chiusi, sia all'aperto. Si elencano di seguito le condizioni atmosferiche ottimali in cui è garantito il suo funzionamento:

- Temperatura: $[-10, 50] \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Umidità: non sono presenti vincoli in termini di umidità;
- Pressione: deve essere pari a quella atmosferica;
- Precipitazioni: non sono presenti vincoli in termini di precipitazioni;

$x_{\max} \text{ [cm]}$	$y_{\max} \text{ [cm]}$	$z_{\max} \text{ [cm]}$	$c \text{ [cm]}$	Ingombro $\text{[cm}^3]$
37.5	55.5	35.7	63.0	45800

Tabella 4: Ingombri complessivi spaziati dal dispositivo

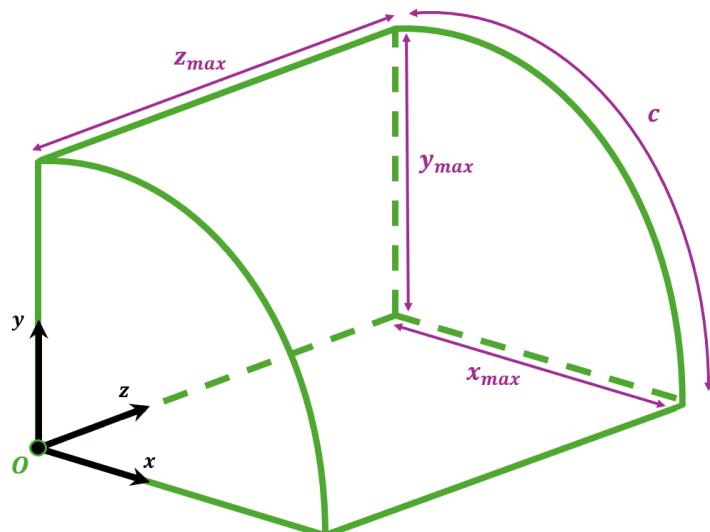


Figura 4: Raffigurazione dell'ingombro totale del dispositivo: il centro O , del sistema di riferimento adottato, corrisponde al vertice del lato corto della base di supporto

⁴Ad esempio, una scrivania o un tavolo.

1.3.4 Vincoli ergonomici

Come già sancito nella Sezione 1.3.2, l'utente può essere portato, per posizionare il tablet, ad interagire con la custodia dell'apparato SwiTab attraverso il contatto dei supporti scorrevoli. Si ritiene dunque opportuno rivestire tali supporti con del materiale elastico, così da garantire che non si verifichino abrasioni sulla superficie del tablet. Una volta assemblate le dieci componenti, se il dispositivo è pronto per l'utilizzo l'utente dovrà interagire con esso compiendo le seguenti operazioni

1. Posizionare SwiTab su una superficie piana;
2. Spostare manualmente le aste assieme alla custodia, fintanto che non si raggiunga la condizione di utilizzo desiderata;
3. Bloccare le aste tramite un sistema appositamente ideato.

2 Modellazione tridimensionale dei componenti principali e assemblaggio virtuale

2.1 Assieme

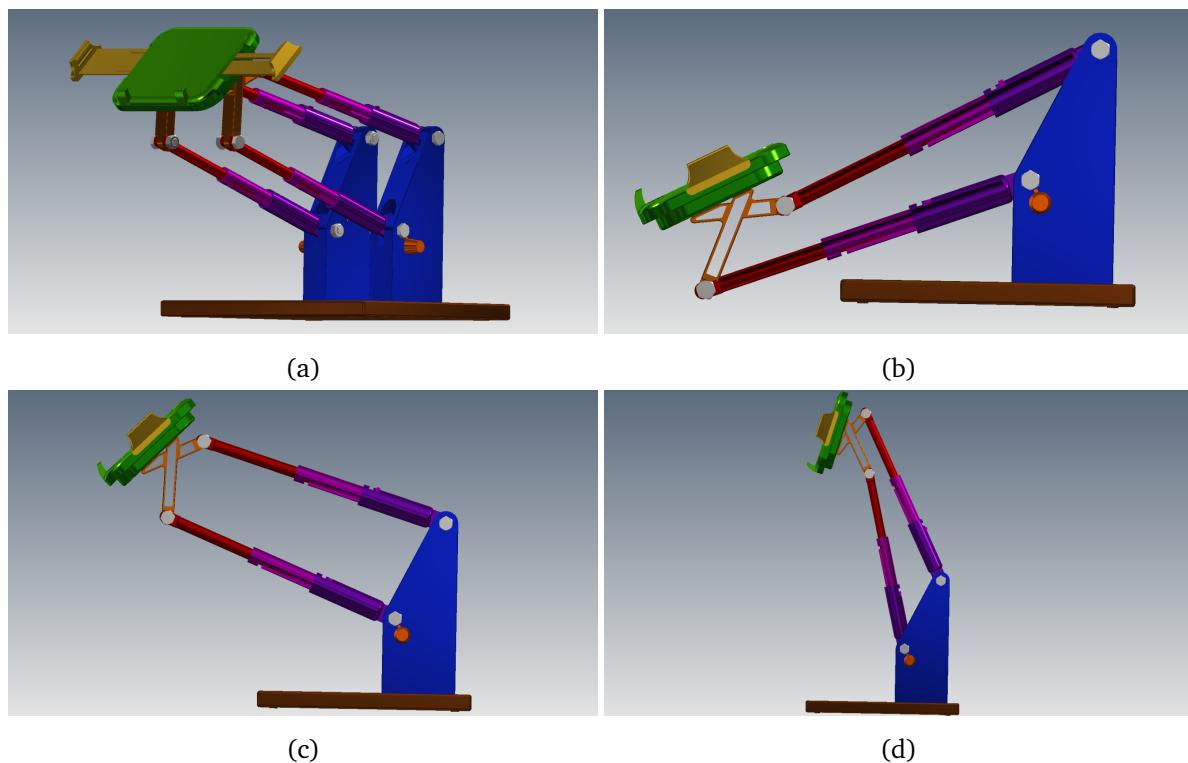


Figura 5

2.2 Sistema di sostegno

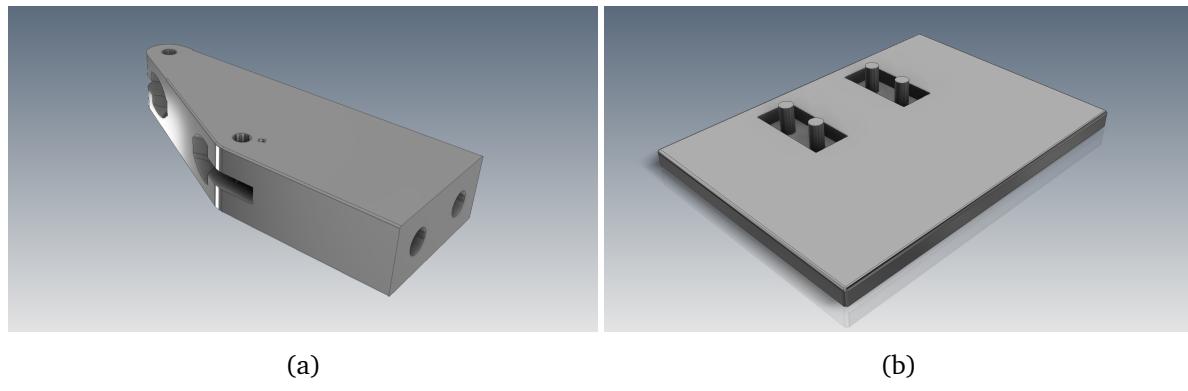


Figura 6

2.3 Custodia

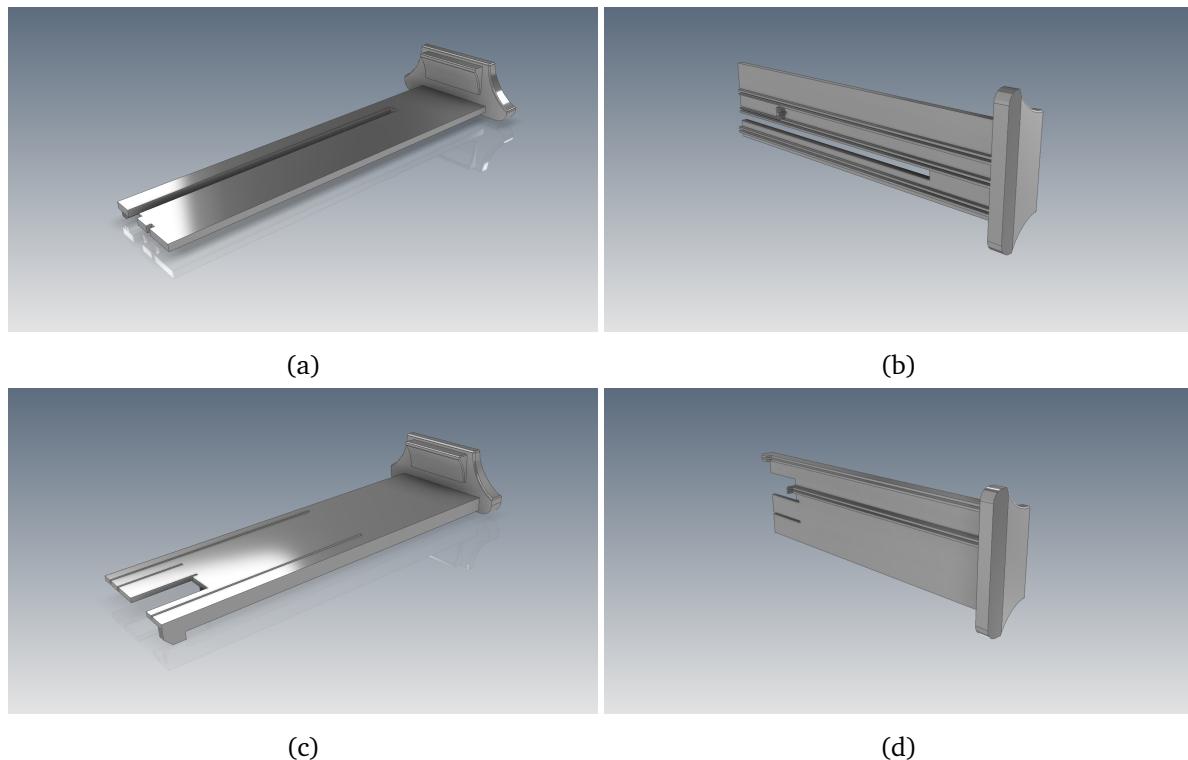


Figura 7

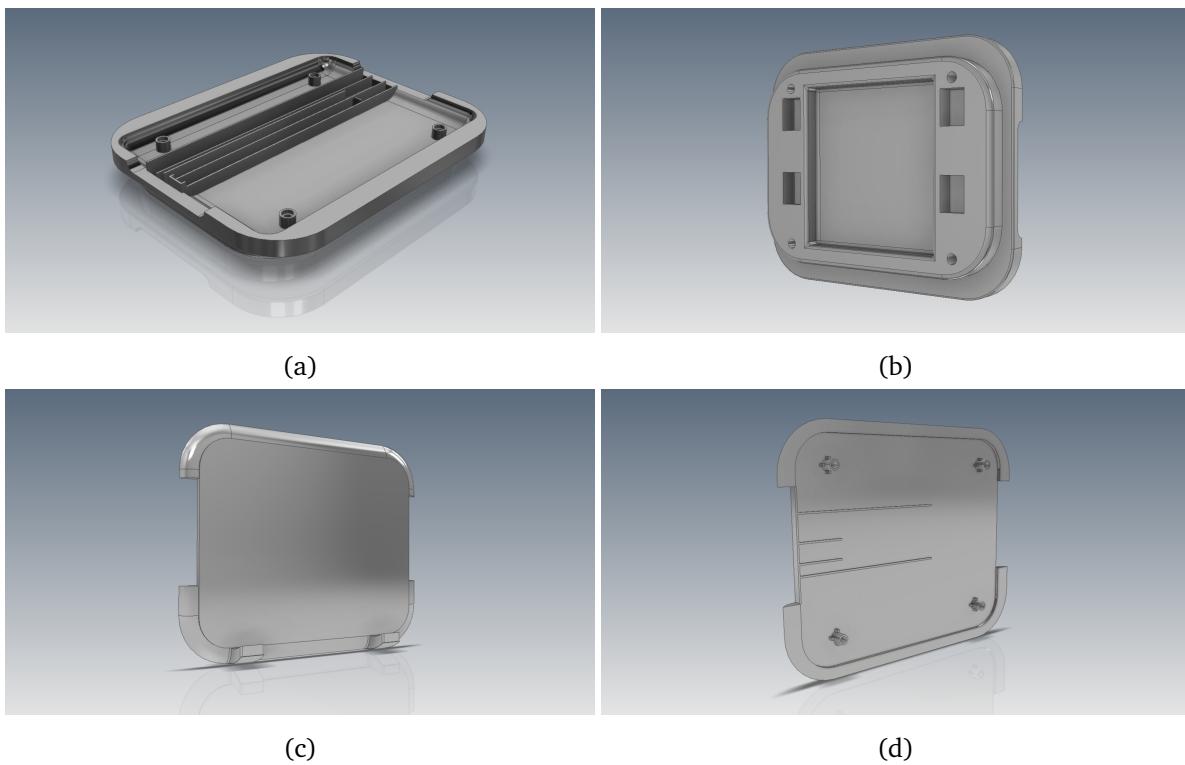


Figura 8

2.4 Assieme e Quadrilatero articolato

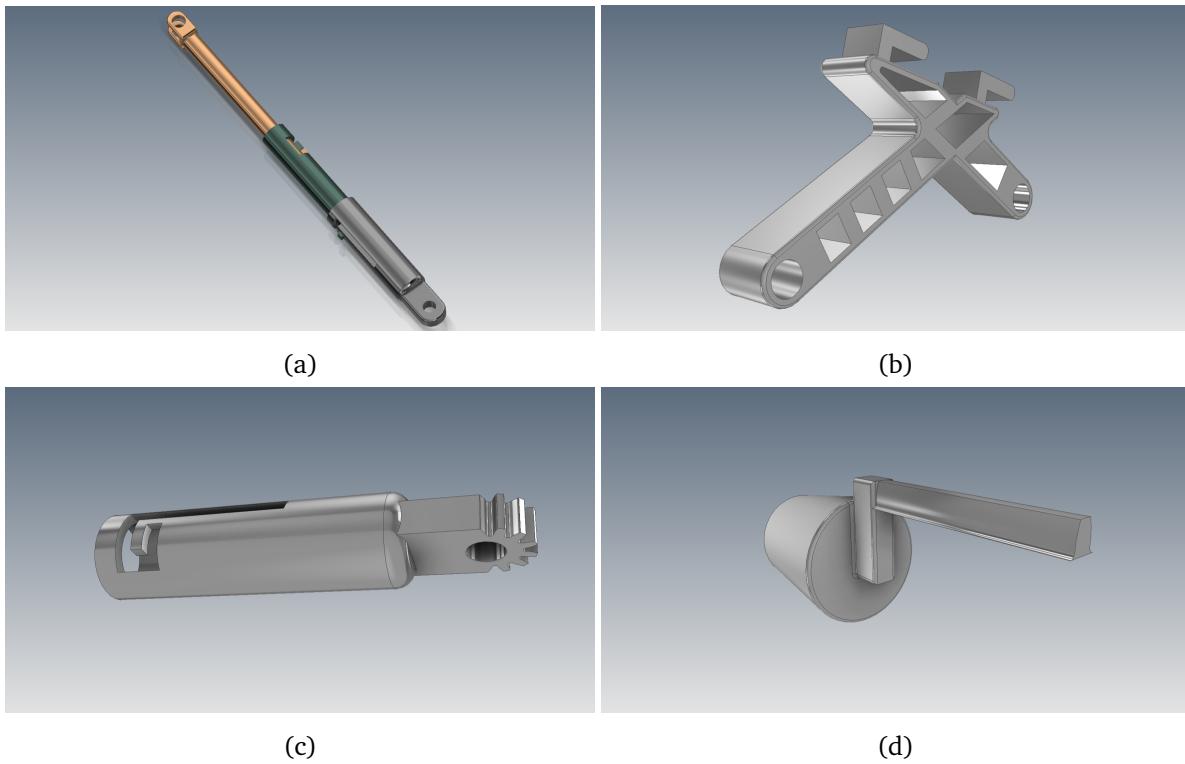


Figura 9

Di sopra si trovano le raffigurazioni tridimensionali dei componenti di SwiTab. Secondo quanto affermato nel Paragrafo 1.3.1, i componenti principali sono sei, le rappresentazioni includono però tutte le parti da cui sono composte.

- 1) La Figura 5a rappresenta l'assieme, mentre le Figure 5b, 5c e 5d raffigurano rispettivamente le configurazioni #1, #2 e #3.
- 2) La Figura 6 mostra:
 - (a) **Torretta**: elemento a cui sono collegate le aste del quadrilatero. Funge da organo di supporto per la custodia e per il tablet. Il foro ricavato sul lato consente l'inserimento del bottone;
 - (b) **Base**: componente su cui sono calettate le torrette.
- 3) In Figura 7 sono rappresentate le ali presenti all'interno della custodia: sono realizzate in modo da permetterne lo scorrimento al suo interno. Le ali sono sagomate in modo da scorrere anche l'una sull'altra.
 - (a) **Ala sinistra, VF**⁵
 - (b) **Ala sinistra, VP**⁶
 - (c) **Ala destra, VF**
 - (d) **Ala sinistra, VP**
- 4) La Figura 8 riproduce:
 - (a) **Retro custodia, VF**: componente posteriore della custodia su cui scorrono le ali;
 - (b) **Retro custodia, VP**: parte della custodia a cui si collegano le bielle. Le sporgenze a L vanno incastrate negli appositi vani;
 - (c) **Davanti custodia, VF**: sezione anteriore della custodia su cui poggia il tablet;
 - (d) **Davanti custodia, VP**: sezione che consente l'incastro tra la porzione anteriore e posteriore della custodia.
- 5) Infine, in Figura 9 sono raffigurate le parti di cui si compongono le aste *telescopiche*⁷ del quadrilatero e la biella:
 - (a) **Asta**: è composta da tre parti distinte: l'elemento in grigio si connette alla torretta e permette lo scorrimento del componente verde al suo interno; l'elemento verde è forato in modo da far alloggiare al suo interno il componente giallo. Il componente verde e quello giallo presentano un perno estruso che può scorrere fino al termine delle scanalature, garantendo dunque la rigidità dell'asta durante il suo moto.
 - (b) **Biella**: si collega alla custodia tramite le sporgenze a L.

⁵Vista frontale

⁶Vista posteriore

⁷Costituite da elementi cilindrici capaci di scorrere uno nell'altro.

- (c) **Componente dentato:** consente il bloccaggio del sistema tramite i denti presenti sull'estremità che si connette alla torretta. Di tale componente sono dotate le aste inferiori, il cui componente terminale (in giallo nella Figura 9a) è più corto rispetto a quello delle superiori di 5 mm.
- (d) **Bottone:** da inserire nel foro della torretta per bloccare le aste nella configurazione desiderata.

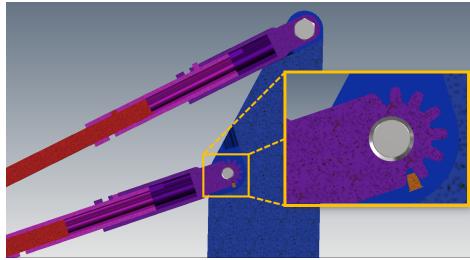


Figura 10: Vista in semisezione che mostra il sistema di blocco

3 Messa in tavola di un componente e dell'assieme con bollatura

Viene rappresentata in Figura 11 la messa in tavola della parte posteriore della custodia, mentre la Figura 12 mostra la messa in tavola di SwiTab con bollatura.

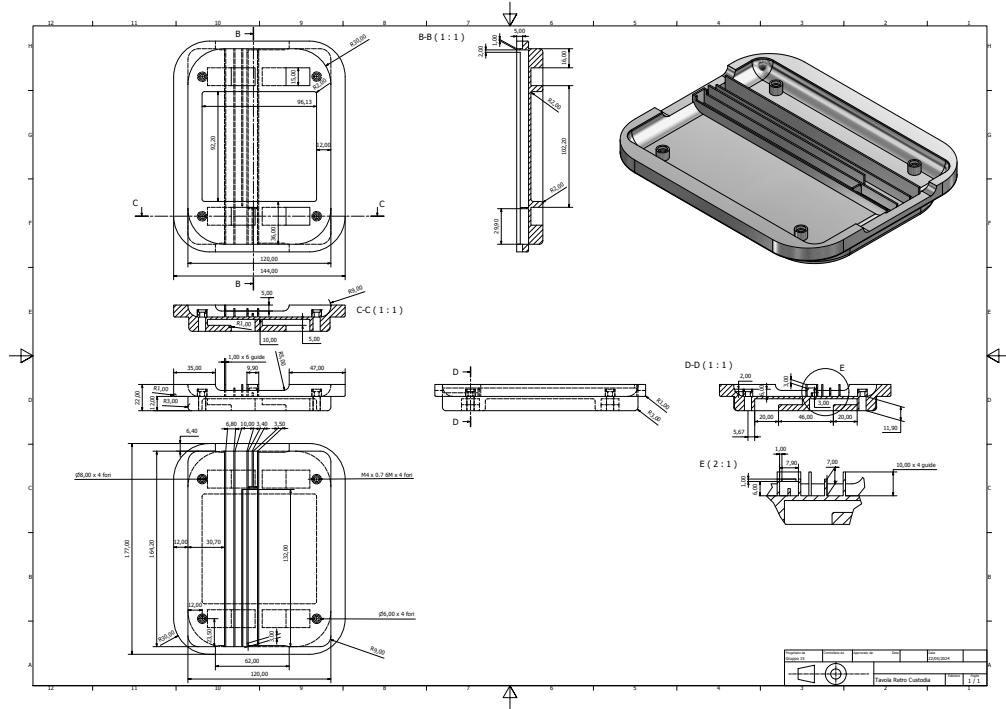


Figura 11: Messa in tavola dell'elemento posteriore della custodia

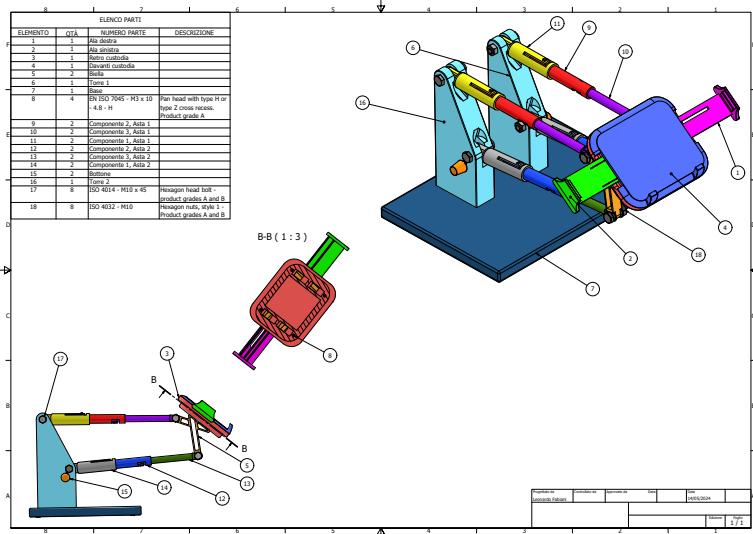


Figura 12: Messa in tavola con bollatura dell'assieme

4 Analisi tramite simulazione numerica di componenti rilevanti

Sulla base dei risultati ricavati tramite l'analisi statica, è stata effettuata una simulazione agli elementi finiti per dedurre lo spostamento, carico di Von Mises equivalente e il coefficiente di sicurezza per le aste e la biella del quadrilatero. Si è modellata la risposta del sistema nella configurazione #1, poiché risulta essere la più sollecitata a causa della forza impressa dall'utente durante la scrittura. Il materiale che si è scelto di adottare è una miscela di policarbonato ABS.

Sono stati applicati le seguenti tipologie di carico: forze concentrate rappresentanti le reazioni vincolari, una forza concentrata sulla biella per modellare l'azione della forza peso e la forza impressa dall'utente, un momento concentrato sull'asta movente. I vincoli sono stati impostati su dei nodi connettori in corrispondenza delle cerniere del quadrilatero.

4.1 Asta movente

I vincoli utilizzati sono: una cerniera in corrispondenza della porzione dentata e un carrello su quella opposta. È stato applicato un momento concentrato e una forza concentrata lungo la perpendicolare all'asse del carrello. Di seguito si trovano le immagini che rappresentano i risultati.

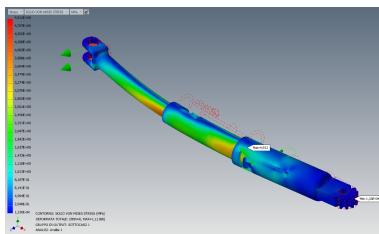


Figura 13: Von Mises stress

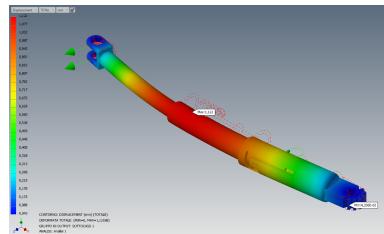


Figura 14: Displacement

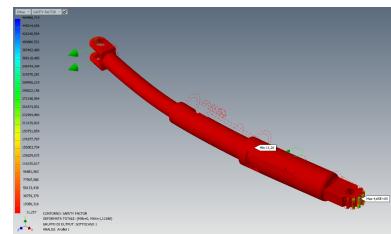


Figura 15: Safety factor

4.2 Asta cedente

I vincoli utilizzati sono: una cerniera in corrispondenza della porzione che si connette al telaio e un carrello su quella opposta. È stata applicata una forza concentrata lungo la perpendicolare all'asse del carrello. Di seguito si trovano le immagini che rappresentano i risultati.

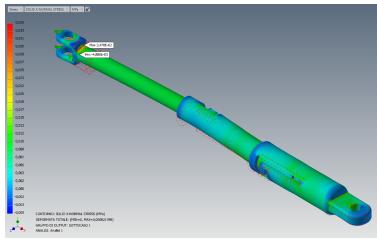


Figura 16: Von Mises stress

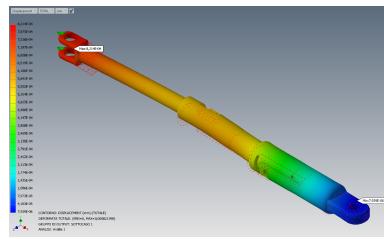


Figura 17: Displacement

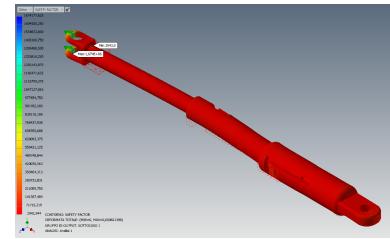


Figura 18: Safety factor

4.3 Biella

Sono stati imposti sui fori circolari delle bielle, in modo equivalente, due coppie di cerniere sul lato corto e due coppie di carrelli sul lato lungo². Sono state applicate delle forze concentrate lungo la perpendicolare agli assi dei corrispettivi carrelli. Di seguito si trovano le immagini che rappresentano i risultati.

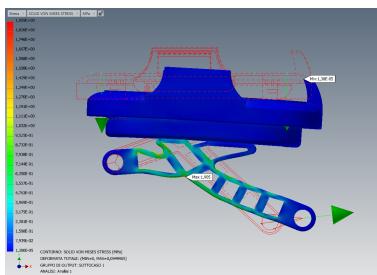


Figura 19: Von Mises stress

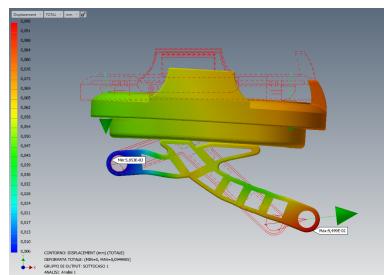


Figura 20: Displacement

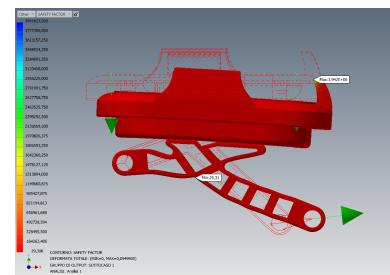


Figura 21: Safety factor

	Max. Von Mises stress [MPa]	Max. displacement [mm]	Min. Safety factor
Movente	4.91	1.12	11.3
Cedente	$3.62 \cdot 10^{-2}$	$8.21 \cdot 10^{-4}$	2040
Biella	1.90	$9.50 \cdot 10^{-2}$	29.3

Tabella 5: Risultati della FEA

²Il lato lungo corrisponde a quello che presenta il maggior numero di cavità.

A Appendice

A.1 Esploso

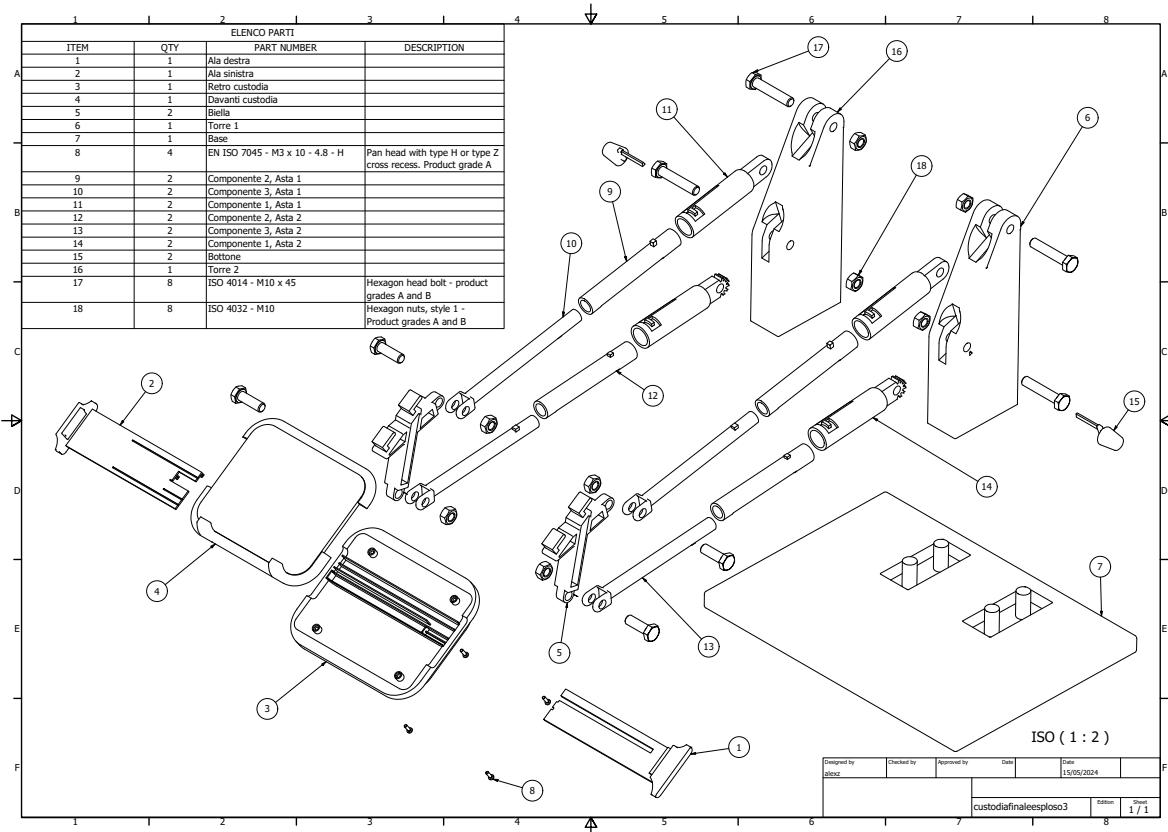


Figura 22: Raffigurazione dell'esploso di SwiTab

A.2 Risultati analisi statica

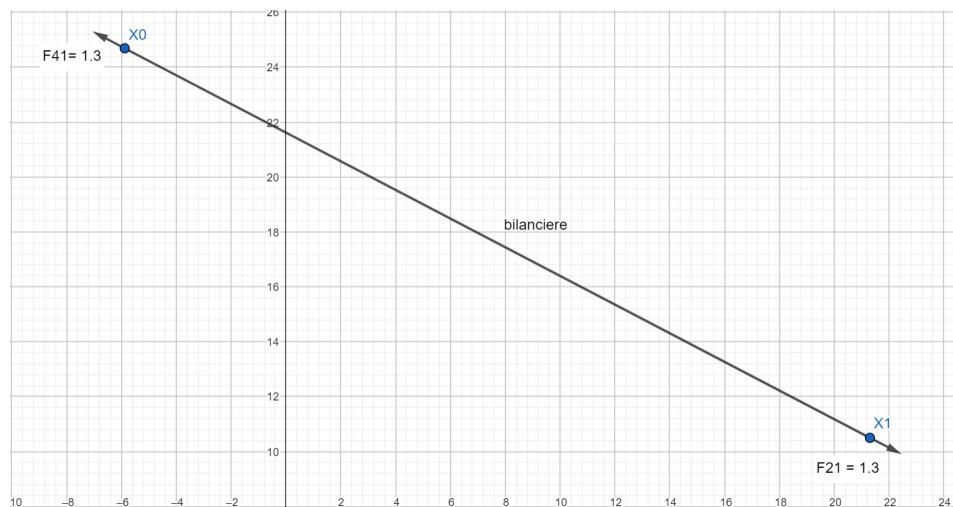


Figura 23: Rappresentazione delle forze di trazione a cui il membro cedente è sottoposto

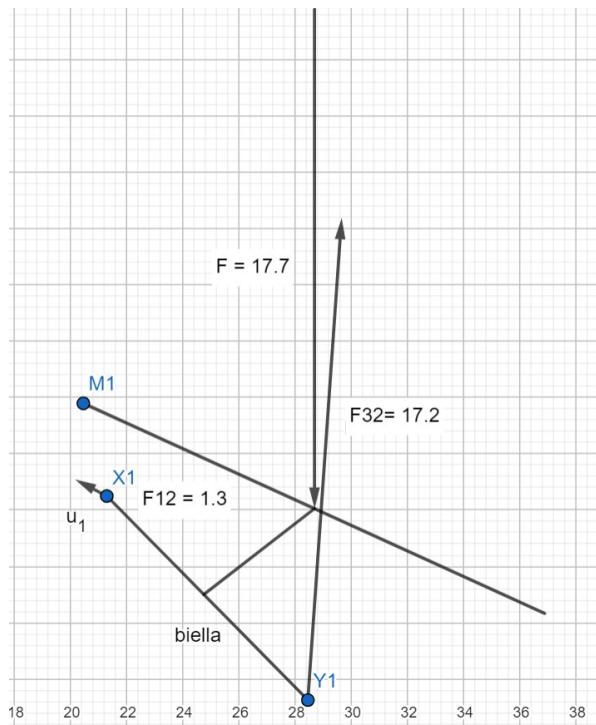


Figura 24: Rappresentazione delle forze applicate alla biella

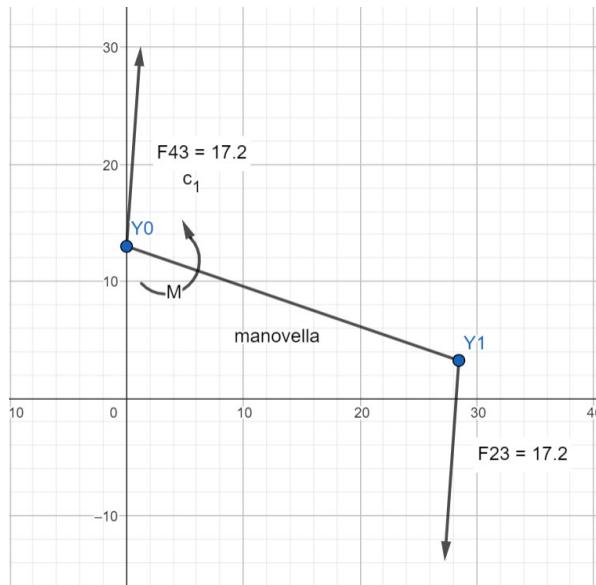


Figura 25: Rappresentazione delle forze e del momento applicato alla manovella

I risultati dell'analisi statica sono stati ricavati tramite l'applicazione del metodo Free-Body.

Riferimenti bibliografici

- [1] Tom Albin and Hugh McLoone. The effect of tablet tilt angle on users' preferences, postures, and performance. *Work (Reading, Mass.)*, 47, 09 2013.
- [2] Elif Binboga and Orhan Korhan. Posture, musculoskeletal activities, and possible musculoskeletal discomfort among children using laptops or tablet computers for educational purposes: A literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 10 2014.
- [3] A. Abbasi F. Eftekhari M. Yadegaripour, M. Hadadnezhad and A. Samani. The effect of adjusting screen height and keyboard placement on neck and back discomfort, posture, and muscle activities during laptop work. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 37(5):459–469, 2021.