

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione banco prova per nastri dei camminatoi

Struttura per simulazione corsa,
test di durata e monitoraggio



**Politecnico
di Torino**

Relatore

prof. Carlo Rosso

Candidato

Luca TROVATO

Supervisore Aziendale

Ing. Matteo OLDERICO

Luglio 2021

Indice

I	L'azienda	1
1	Introduzione generale	3
1.1	Finalità del lavoro	3
1.2	L'azienda	4
1.2.1	La storia	4
1.2.2	I prodotti	6
1.2.3	La qualità	6
1.3	Il processo produttivo	10
1.4	Il confezionamento	11
1.5	La sicurezza	12
II	Il banco prova	15
2	Progettazione della struttura	21
2.1	Struttura esistente	21
2.2	Modello di partenza e dimensionamento	23
2.2.1	Modello meccanico	23
2.2.2	Progettazione modello CAD	24
2.2.3	Simulazione modello CAD	24
2.3	Modello pneumatico	26
2.4	Progettazione macchinario	26
2.4.1	Motore asse rotazione	26
2.5	Componenti della struttura	27
2.5.1	Basamento inferiore	28
2.5.2	Gruppo guida con un pattino	28
2.5.3	Struttura mobile inferiore	29
2.5.4	Gruppo guida con due pattini	31
2.5.5	Struttura mobile superiore	31
2.5.6	Gruppo gambe rotanti	35
2.5.7	Gruppo fulcro	41
2.6	Piano di scorrimento	42

2.7	Il banco prova	44
2.7.1	PLC di controllo	46
III	Test sui nastri	49
3	Tipologie di test	51
3.1	Durata	52
3.2	Assorbimento motore elettrico	55
3.3	Temperatura del nastro	60
3.4	Conduttività elettrica	62
3.5	Potenziale superficiale	62
3.6	Conclusioni	64

Parte I
L'azienda

Capitolo 1

Introduzione generale

1.1 Finalità del lavoro

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è illustrare la progettazione del macchinario realizzato in CHIORINO S.P.A. per testare i nastri per camminatoi di loro produzione.

Il camminatoio (tapis roulant) è una struttura ampiamente utilizzata per l'allenamento fisico agonistico e amatoriale ma trova impiego anche in campo riabilitativo. Palestre, ospedali, centri di riabilitazione e privati utilizzano camminatoi con caratteristiche strutturali e di prestazione diverse a seconda degli obiettivi che ci si prefigge.

Il nastro deve scorrere per creare un piano mobile per la camminata e la corsa, perciò deve assorbire la minor potenza possibile dal motore per poter garantire consumi energetici ridotti e di conseguenza la più bassa spesa per il funzionamento. Il nastro deve avere una durata di 20 000 km. Per effettuare i test relativi alla durata e ad altri parametri è stato sviluppato un meccanismo che simula quanto più fedelmente il meccanismo della corsa e della camminata.

1.2 L'azienda

CHIORINO S.P.A. è un'azienda produttrice di nastri trasportatori e cinghie di trasmissione con due sedi operative a Biella, rispettivamente in via S. Agata 9 (Biella nord) e in via Mongilardi 20a (Biella sud). La sua presenza a livello globale si concretizza attraverso il lavoro di 18 filiali dislocate sui cinque continenti, 60 distributori esclusivi e numerosissimi centri di assistenza altamente qualificati.



Figura 1.1. stabilimento Chiorino di Biella-sud

1.2.1 La storia

CHIORINO nasce a Biella nel 1906 come Conceria Lorenzo Chiorino, per opera dell'omonimo fondatore (Lorenzo Chiorino).



Figura 1.2. Conceria Lorenzo Chiorino

Unendo alle proprie doti imprenditoriali un'approfondita conoscenza dell'arte conciaria, Lorenzo Chiorino avvia la produzione industriale di articoli tecnici in cuoio e cinghie di trasmissione per soddisfare le esigenze dell'allora fiorente industria tessile e meccanotessile biellese; il suo obiettivo è ottenere "prodotti di qualità progettati per l'impiego specifico".

All'inizio del Novecento le cinghie in cuoio movimentano le trasmissioni di tutti gli opifici e, grazie all'espansione dell'industria tessile biellese, la conceria Lorenzo Chiorino si sviluppa celermente ampliando con rapidità la commercializzazione dei propri prodotti. L'attività di studio dei trattamenti del cuoio porta alla messa a punto di articoli per applicazioni in svariati settori industriali.



Figura 1.3. Listino conceria

A partire dagli anni '50 il cuoio viene affiancato da materiali sintetici sempre più sofisticati, i quali hanno permesso la realizzazione di prodotti altamente innovativi. CHIORINO S.P.A. continua oggi la sua storia perseguendo il miglioramento del prodotto e lo sviluppo della tecnologia necessaria per la produzione e la confezione: solo l'impiego dei moderni materiali sintetici ed il costante sviluppo tecnologico consentono di stare al passo coi tempi e di mantenere una posizione di assoluto rilievo nel settore dei trasporti interni e trasmissione di potenza.



Figura 1.4. Linea material handling

1.2.2 I prodotti

Impianti di produzione progettati ad hoc per CHIORINO consentono all'azienda di disporre di molteplici e differenti tecnologie in grado di processare qualsiasi tipo di materiale. La totale autonomia produttiva dell'azienda è garanzia di prodotti affidabili e di costante qualità.

Avvalendosi di sofisticate linee di spalmatura, calandratura, accoppiamento e mescolatura, CHIORINO produce¹:

- Nastri di trasporto e di processo in poliuretano, PVC, elastomero e silicone
- Cinghie piane di trasmissione
- Cinghie tonde e trapezoidali in poliuretano
- Bande antiscivolo
- Manicotti e rivestimenti in elastomero
- Tessuti calandrati e film in poliuretano

1.2.3 La qualità

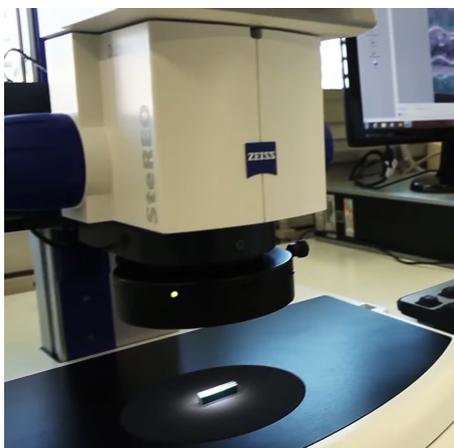


Figura 1.5. Controlli laboratorio

La qualità del prodotto finale è garantita grazie al completo controllo dell'intero processo di produzione: tutte le lavorazioni, dalla materia prima al prodotto finito, avvengono all'interno dell'azienda. Ciò rende possibile lo sviluppo di nuovi materiali e prodotti su indicazione del richiedente e permette di arrivare ad una sinergia di lavoro col cliente che ha portato l'azienda all'attuale, consolidato successo.

Le materie prime impiegate devono rispondere ai rigorosi standard qualitativi del laboratorio di ricerca e controllo qualità, così come i semilavorati al termine di ogni fase di trasformazione ed il prodotto finito al momento dell'imballo.

Chiorino commercializza i propri nastri trasportatori e cinghie di trasmissione in rotoli di produzione che filiali e distributori trasformano successivamente con le opportune attrezzature, per poi venderli a costruttori di macchinario e utilizzatori finali. La trasformazione avviene attraverso operazioni di taglio, fustellatura,

¹CHIORINO. *Catalogo generale. Nastri trasportatori e cinghie di trasmissione.* 2015

smussatura, pressatura e rifilatura per il confezionamento del prodotto secondo le richieste del cliente. Sono possibili lavorazioni speciali quali l'applicazione di guide, profili e bordi di contenimento, bottoni di guida, forature a disegno.

La stessa casa madre dispone, presso la propria sede di Biella sud, di un laboratorio di trasformazione/confezionamento dei materiali in rotolo completo di attrezzature all'avanguardia appositamente sviluppate per lavorazioni di confezionamento standard e speciale dei propri prodotti.

La grande varietà di materiali disponibili consente la scelta tra nastri con svariate caratteristiche:

- antistatici e non conduttivi
- flame retardant (a norme DIN 22103 e ISO 340)
- conformi alle normative alimentari FDA ed al concetto di HACCP
- resistenti all'abrasione, agli oli, grassi e additivi chimici
- con basso, medio o elevato coefficiente di attrito
- resistenti alle alte temperature
- ad elevata rigidità trasversale e stabilità dimensionale
- antirumore (nastri LdB)
- lisci o strutturati

I nastri trasportatori vengono prodotti in larghezze standard di 600, 1200, 1400, 2000, 3000 e 3500 mm a seconda del tipo e della tecnologia di produzione (spalmatura o calandratura), poi tagliati a misura e successivamente vengono chiusi ad anello secondo le richieste del cliente. Larghezze superiori si possono ottenere mediante giunzioni longitudinali eseguite nel laboratorio di confezione successivamente alla produzione.

Nei nastri vengono solitamente identificati un lato trasporto ed un lato puleggia. Il lato trasporto può presentare la tela grezza o essere impregnato (PVC, poliuretano o silicone); il lato trasporto può anche essere spalmato in PVC o PUR o silicone oppure calandrato con il poliuretano.

Il lato puleggia solitamente presenta solo un'impregnazione di poliuretano ma, a seconda delle applicazioni, può essere spalmato con PVC o poliuretano o calandrato con poliuretano.

Lo spessore varia in funzione del numero di tele di cui è composto il nastro e dello spessore della copertura; sono disponibili nastri fino a tre tele con diverse caratteristiche di resistenza alla trazione, in funzione del tipo e numero di tele impiegate,

del lato trasporto (a volte anche del lato puleggia). Sono disponibili diverse finiture superficiali per soddisfare le varie esigenze in termini di coefficiente di attrito e caratteristiche di trasportabilità del materiale. La giunzione eseguita dipende dal tipo di materiale, dalle condizioni applicative e dalle esigenze di montaggio.

Riguardo alle tecniche di confezionamento di anelli chiusi, sono disponibili i seguenti tipi di giunzione:

- ad incastro: sistemi di giunzione tradizionali che garantiscono uniformità di spessore ed allineamento; offrono massima flessibilità sulle penne fisse ed elevata resistenza alla trazione nelle applicazioni gravose;
- sovrapposta: realizzabile su nastri con copertura in poliuretano termoplastico senza nucleo tessile;
- a smusso: sistema specifico per alcuni tipi di nastro e per particolari applicazioni, in alternativa alle tradizionali giunzioni ad incastro;
- a gradino: sistema specifico per alcuni tipi di nastro e per particolari applicazioni, in alternativa alle tradizionali giunzioni ad incastro;
- in plastica: giunzione meccanica in tessuto e spirale in poliestere. Resiste agli agenti chimici, flessibile e rapidamente sostituibile. Approvata FDA. Indicata per applicazioni con diametri di avvolgimento fino a 16 mm, in particolare in presenza di scanner X-ray o di metal detector;
- metallica: giunzioni meccaniche impiegate nei casi in cui sia richiesta celerità di sostituzione oppure ove vi siano difficoltà di installazione. Disponibili in acciaio zincato e inox in diverse tipologie a seconda dello spessore del nastro e delle attrezzature per l'applicazione.

Il punto iniziale del processo di produzione sono le materie prime: i componenti delle mescole (gomma naturale, additivi, stabilizzanti, poliuretani e PVC, componenti per mescole in silicone, ...) ed il supporto tessile. Ad un primo controllo visivo fa seguito l'analisi presso il laboratorio del controllo qualità presso il quale vengono eseguite prove mirate e specifiche per ogni famiglia di materiale. Se il riscontro è positivo, il materiale viene caricato a magazzino per essere avviato alle linee di produzione.

Qualora le caratteristiche attese non corrispondessero alle specifiche l'articolo viene immediatamente identificato ed isolato come non conforme, per non inficiare il livello qualitativo della produzione. Anche l'aspetto ambientale viene trattato in maniera analoga: ogni prodotto in ingresso deve essere certificato dal produttore e non deve compromettere la salute dei lavoratori e dei residenti nei pressi del sito produttivo di Biella nord. Parimenti, non devono essere superati i limiti di emissione stabiliti dal corpo legislativo vigente. In seguito all'autorizzazione della direzione della Qualità e dell'Ambiente possono essere ammesse deroghe temporanee sia per quanto riguarda l'aspetto produttivo sia per l'impatto ambientale delle materie prime adottate, fatti salvi i principi di non pericolosità per la salute.

1.3 Il processo produttivo



Figura 1.6. Polveri per mescole

Il vero processo produttivo inizia con la preparazione delle mescole a partire dai componenti di base; anche le mescole per essere utilizzate nelle successive fasi di spalmatura, impregnazione, calandratura o estrusione devono essere approvate dal laboratorio. Tutte le operazioni da compiere durante la lavorazione sono riportate sul foglio di lavoro e regolamentate dalle Norme Operative che lo completano descrivendo le attività nei dettagli. La produzione del rotolo inizia al ricevimento di una richiesta dell'ufficio Commerciale, cui fa seguito la verifica della disponibilità dei semilavorati necessari da parte dei dispositori di reparto, i quali eventualmente ne programmano la produzione richiedendo i componenti necessari ai reparti di competenza.

I nastri trasportatori possono essere prodotti con le seguenti tecnologie:

- per spalmatura, utilizzando mescole in PVC, silicone o poliuretano; consiste nello stendere uno strato del materiale desiderato su una tela opportunamente trattata per favorire l'adesione del materiale (aderizzata). La spalmatura può avere lo spessore di un decimo di mm ed arrivare ad alcuni millimetri;
- per calandratura, utilizzando elastomero o poliuretano in granuli; permette di ottenere un foglio dello spessore desiderato che viene applicato sul supporto tessile, in maniera analoga a quanto accade per la spalmatura;
- qualora sia richiesta, per gli articoli in elastomero segue la vulcanizzazione in autoclave.

I nastri e tutti gli articoli composti da più tele vengono prodotti accoppiando gli opportuni semilavorati con processo analogo alla lavorazione di spalmatura; differiscono i controlli da effettuare a bordo linea circa l'effettiva adesione degli strati. La tela può essere impregnata con poliuretano (operazione identica alla spalmatura con la sola differenza dei dati di lavorazione).

I dati relativi all'intero processo produttivo sono raccolti direttamente a bordo linea attraverso appositi moduli a carico dell'operatore: in tal modo i prodotti e l'efficienza dei mezzi di produzione sono costantemente controllati. Gli aspetti qualitativi del prodotto vengono verificati attraverso il controllo degli addetti alle macchine. I riferimenti per la verifica delle caratteristiche del prodotto, i mezzi, le modalità e la frequenza dei controlli sono indicati sui documenti di produzione che vengono redatti per ogni commessa e distribuiti nelle postazioni di lavoro; se



Figura 1.7. Produzione

necessario, gli operatori dispongono anche di copia delle norme operative aziendali inerenti la loro mansione, con la descrizione nel dettaglio della modalità di esecuzione della verifica.

1.4 Il confezionamento

CHIORINO effettua al suo interno tutte le operazioni di taglio, fustellatura, smussatura, pressatura e rifilatura per il confezionamento a misura del nastro. I nastri possono essere forniti ad anello chiuso oppure con le estremità preparate per la chiusura in loco con le apposite attrezzature CHIORINO. Sui nastri possono poi essere effettuate lavorazioni speciali quali:

- applicazione di guide, profili e bordi di contenimento con saldatrici ad alta frequenza e ad aria calda
- forature a disegno
- applicazioni di profili speciali a onde e a dita per l'industria agro-alimentare (figura 1.8)
- sigillatura bordi per la protezione del nastro, in particolare per l'industria alimentare
- personalizzazione con loghi a disegno
- curve a nastro a disegno.



Figura 1.8. Applicazione profili speciali a onde in alta frequenza

1.5 La sicurezza

Le attività di produzione sopra citate, dalla preparazione delle mescole all'accoppiamento dei semilavorati possono avere impatto ambientale a causa della presenza di solventi, colle ed altri prodotti o sostanze chimiche impiegati nel ciclo produttivo.

La manipolazione e l'impiego di sostanze chimiche porta con sé tre tipi di rischio, secondo quanto stabilito dal D.Lgs. n.25 del 25/02/02:

- sicurezza: incendio, esplosione, corrosione;
- salute: patologie acute e/o croniche;
- ambiente: emissioni in atmosfera, inquinamento del sito ove si trova lo stabilimento.

Il provvedimento legislativo citato completa la legge 626/94, la quale introduce il concetto di “rischio chimico” in base al quale vanno eseguiti adeguati interventi. Occorre quindi fornire una stima dell'entità dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori in relazione alle attività svolte, ai luoghi di lavoro, alle sostanze con cui vengono a contatto. Ciascun lavoratore ha diritto ad una adeguata informazione e formazione circa i rischi a cui è esposto; per questo ogni sostanza, prodotto o preparato dev'essere corredato di una scheda di sicurezza recante i simboli dei pericoli, le frasi di rischio che precisano meglio la natura dei pericoli ed i consigli di prudenza che riportano brevi indicazioni per operare in sicurezza. L'etichettatura è obbligatoria per recipienti e tubazioni che contengano o trasportino sostanze pericolose; qualora queste siano potenzialmente esplosive, devono essere stoccate in



Figura 1.9. Dal 9 febbraio 2006 l'azienda è certificata EMAS

appositi locali. Presso la CHIORINO S.P.A. sono conservate in locali antideflagranti le mescole del reparto Nastri, mentre per le materie prime è attivo un contratto di deposito presso il fornitore.

Dal punto di vista ambientale occorre ricordare che anche i rifiuti, gli scarti e tutte le emissioni in genere sono da considerare come elementi in uscita dai processi produttivi, allo stesso modo dei semilavorati e dei prodotti finiti. Pertanto, le emissioni di polveri e fumi in atmosfera, acustiche, gli scarichi idrici di acque tecnologiche, i rifiuti e gli scarti di lavorazione vengono monitorati, i dati raccolti registrati ed impiegati nella redazione del bilancio di massa annuale. In particolare, la raccolta, lo stoccaggio, la registrazione e il trasporto dei rifiuti sono regolamentati dalle norme operative interne; la gestione e l'esecuzione di queste attività sono verificate dal responsabile della gestione ambiente.

CHIORINO S.P.A. è un'azienda chimica che si trova ad operare in pieno centro urbano: l'attenzione perciò è costantemente rivolta al controllo delle emissioni nell'ambiente; poiché queste sono generate dai processi produttivi, la relazione tra l'aspetto qualitativo e quello ambientale è tanto stretta da poter essere vista in modo unitario. All'interno dell'azienda esiste un Sistema integrato di Gestione della Qualità e dell'Ambiente costituito dalle Norme Operative e dalle Procedure Gestionali, la cui finalità è la soddisfazione delle richieste dei clienti in termini di qualità del prodotto finito, il controllo e miglioramento continuo dell'efficacia ed efficienza dei processi aziendali e del loro impatto sull'ambiente.

Nell'ottica del rispetto e dell'attenzione verso i Clienti e verso i siti ove si trovano le attività produttive, CHIORINO S.P.A. ha adottato i criteri stabiliti dalle Norme UNI EN ISO 9001:2000 per l'aspetto qualitativo e UNI EN ISO 14001:1996 per l'aspetto ambientale. Le relative certificazioni sanciscono la volontà dell'azienda di migliorare l'organizzazione interna, la qualità dei prodotti e delle prestazioni ambientali e la reciproca fiducia con la clientela, i residenti in Biella e le parti sociali interessate all'organizzazione della CHIORINO S.P.A.

La rete di distribuzione e di servizio alla clientela è in grado di fornire le migliori soluzioni applicative e i più rapidi tempi di intervento; l'azienda può vantare

un'ampia esperienza applicativa in tutti i settori merceologici nella progettazione, produzione ed installazione di componenti di supporto per ogni tipo di movimentazione; tutte le fasi di progettazione, sviluppo e realizzazione avvengono al suo interno. Attraverso la diffusione della rete di vendita ed assistenza è assicurato il contatto con la clientela che può così accedere alle conoscenze acquisite sul prodotto specifico in relazione all'esigenza da soddisfare; la maggior parte delle richieste di assistenza si risolve nell'individuare il prodotto più idoneo. Tutte le richieste avanzate in questa fase dal cliente vanno considerare con la massima attenzione al fine di ottenere il migliore ritorno di conoscenze.

Parte II
Il banco prova

Il tapis roulant

Tapis roulant in francese, treadmill in inglese, ergometro o camminatoio in italiano, questi vocaboli identificano un attrezzo ginnico largamente utilizzato nel mondo del fitness attuale — attrezzo che permette la camminata o la corsa per ragioni di allenamento indoor o di riabilitazione fisica.

Il mercato dei camminatoi offre diverse tipologie di prodotto, dal più basilico al più sofisticato, a seconda che si parli di “home fitness”, palestre, centri riabilitativi o club del mondo sportivo professionale. I prezzi si aggirano intorno ai 900 – 1000 € per un treadmill basilico, mentre il prezzo di un articolo di fascia alta può arrivare a 15 000 – 16 000 €.

Strutturalmente, un treadmill consta di un nastro trasportatore montato su una struttura motorizzata solitamente con configurazione a due pulegge, una motrice e una di rinvio, e di un’interfaccia elettronica più o meno sofisticata che consente all’utente di impostare un programma di allenamento consono alle proprie esigenze e di ricevere un feedback sulle proprie prestazioni.



Figura 1.10. Treadmill Technogym - MyRun

Dal punto di vista dell'utilizzo, un camminatoio dev'essere ergonomico (quindi in grado di accomodare utenti diversi per tipologia) e deve avere una struttura di qualità in termini di design, durata, silenziosità e sicurezza per l'utente (e l'eventuale possibilità di occupare spazi ridotti quando non viene utilizzato). Deve offrire l'accesso ad una buona varietà di impostazioni per la corsa o la camminata in termini di velocità, inclinazione e di impatto "soffice" del piede sul nastro trasportatore in fase di corsa o di camminata.

Mentre un utilizzatore valuta questi parametri, il costruttore pone particolare attenzione nella scelta dei componenti e quindi del nastro trasportatore da montare, il quale deve garantire lunga durata, basso coefficiente d'attrito e bassa usura della superficie a contatto con il piede. Dev'essere facile da pulire: si tenga presente che qualsiasi camminatoio, in palestra o a casa, riceve sulla propria superficie sudore, bevande, capelli, peli ed eventuale sporco proveniente dalle scarpe. Sono altresì importanti i consumi ridotti (bassa corrente), la facilità di giunzione dell'anello da chiudere ed una buona estetica.

A seconda del tipo di camminatoio (bassa o alta gamma) può risultare più performante un nastro con copertura in PVC oppure in poliuretano termoplastico, solitamente con un'impronta superficiale a buccia d'arancia o altra simile, capace di fornire il giusto coefficiente d'attrito.



Figura 1.11. Copertura superficiale a buccia d'arancia

Ogni produttore di nastri trasportatori che si posizioni nel mercato globale è altamente motivato alla messa a punto di un proprio nastro per camminatoi (o più di uno) che possa soddisfare le esigenze dei costruttori presenti a livello italiano, europeo o globale. La possibilità di fornire un articolo idoneo per le macchine di un costruttore in primo equipaggiamento rappresenta spesso la chiave d'accesso per la successiva fornitura anche al mercato dei ricambi.

La lista dei costruttori di fama mondiale annovera anche l'italiana Technogym con un fatturato di 509 milioni di euro nel 2020².



The Wellness Company

Sul mercato dal 1983, Technogym è fornitore ufficiale di treadmills alle prossime olimpiadi di Tokyo (agosto 2021). Vanta una storia consolidata di fornitore ufficiale olimpico (Sydney 2000, Atene 2004, Torino, 2006, Pechino 2008, Londra 2012, Rio de Janeiro 2016 e Pyongchang 2018) ed una collaborazione decennale con club quali la Juventus, l'Inter ed il Milan e scuderie quali Ferrari e McLaren.

Un produttore di nastri italiano come CHIORINO S.P.A. si pone l'obiettivo di consolidare la propria posizione di fornitore presso costruttori di prestigio (Technogym ed altri) e si prefigge di realizzare nastri per attrezzi altamente performanti (i camminatoi per uso atletico professionale) ma anche altri per un'utenza più amatoriale. Una volta identificato un nastro teoricamente adatto come struttura e copertura, seguono test estensivi su un banco prova che simula le condizioni critiche di impiego. Pur disponendo già di un banco prova, CHIORINO ha deciso di effettuare l'upgrade per riprodurre condizioni di impiego ancora più vicine a quelle reali.

²Technogym - The Wellness Company. URL: <http://corporate.technogym.com/>

Capitolo 2

Progettazione della struttura

2.1 Struttura esistente

La macchina esistente ha una struttura composta da travi saldate sulle quali sono fissate le parti necessarie per il suo funzionamento e per monitorare le prestazioni richieste dal motore. I componenti installati garantiscono un intervallo di velocità di funzionamento tra 0,8 - 12 km/h.

I tapis roulant di alto livello disponibili in commercio superano i 20 km/h; in seguito, tuttavia, sarà dimostrato che i valori di assorbimento relativi a tali velocità sono praticamente trascurabili. Inoltre, gli atleti che riescono ad effettuare corse prolungate a velocità così elevate sono una parte molto piccola (ad esempio, maratoni).

Il motore elettrico ha i seguenti dati di targa:

- Classe di protezione: IP 54
- Frequenza di alimentazione nominale: $f_N = 50$ Hz
- Numero di giri nominale: $n_N = 1450$ RPM
- Tensione di alimentazione V_N : connessione a triangolo Δ 230 V — connessione a stella Y 400 V
- Corrente nominale i_N : connessione a triangolo Δ 10 A — connessione a stella Y 5,8 A

Il motore è alimentato con un normale sistema monofase, alla frequenza di 50 Hz ed alla tensione di 220 V.

Nella figura 2.1 è rappresentata la struttura di base del camminatoio esistente¹.

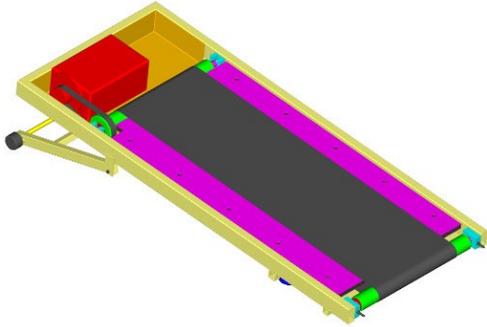


Figura 2.1. struttura base del camminatoio esistente

Nella figura 2.2 è illustrata la struttura superiore per la simulazione della corsa.

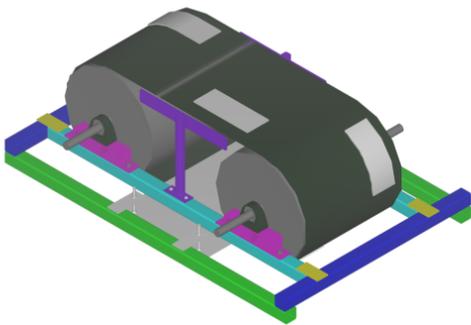


Figura 2.2. struttura base del camminatoio esistente

Non era tuttavia possibile riprodurre in modo completamente fedele le condizioni di impiego. Per questo motivo si è scelto di progettare un macchinario che simulasse l'azione della corsa più fedelmente.

¹G.F. Del Boca. “Progettazione e realizzazione di una stazione di prova per test comparativi su nastri per camminatoi e relativa attività di monitoraggio”. Politecnico di Torino, CHIORINO S.P.A, mag. 2007

2.2 Modello di partenza e dimensionamento

Per il progetto è stato quindi ideato un meccanismo in grado di simulare a tutti gli effetti la corsa sul nastro trasportatore.

2.2.1 Modello meccanico

Per simulare l'azione di contatto tra la scarpa dell'atleta e la superficie del nastro è stato ideato il modello rappresentato in figura 2.6. Si tratta di un meccanismo condotto avente quattro razze. Su ciascuna razza sono presenti due molle a compressione:

- la prima (k_1) simula l'azione del peso della persona;
- la seconda (k_2) simula la forza esercitata dall'avampiede al momento dello stacco da terra e serve a mantenere la punta in contatto quando la prima molla è tornata a riposo; inoltre, riporterà la scarpa nella posizione corretta di attacco sul nastro alla rotazione successiva.

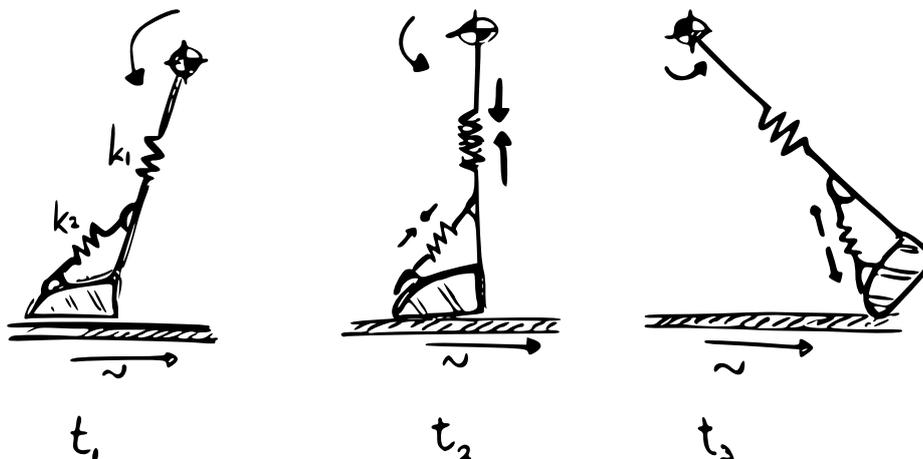


Figura 2.3. istante t_1 Figura 2.4. istante t_2 Figura 2.5. istante t_3

Figura 2.6. discretizzazione contatto scarpa-nastro

2.2.2 Progettazione modello CAD

Per la progettazione sono stati stimati degli ingombri dell'ordine di grandezza del banco prova esistente.

I bracci hanno una lunghezza di 300 mm e sezione quadrata pari a 40 x 40 mm².

Le molle a compressione sono state configurate come segue (in base ai modelli commerciali esistenti)²:

- la molla k_1 ha una costante elastica pari a 30 N/mm, lunghezza a riposo pari a 200 mm e lavora con un Δl pari a 40 mm;
- La molla k_2 ha costante elastica pari a 5 N/mm, lunghezza a riposo pari a 300 mm e lavora con un Δl pari a 100 mm.

Considerando la legge di Hooke per l'allungamento elastico

$$F = k \Delta l \quad (2.1)$$

si ottengono i seguenti risultati:

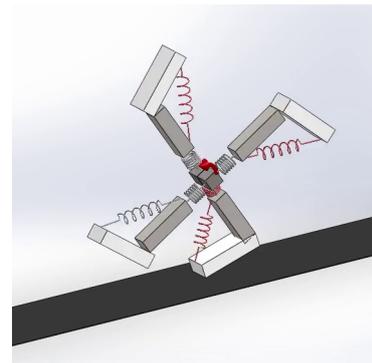
- La molla k_1 è in grado di restituire una forza pari a 1200 N, con un Δl pari a 40 mm;
- La molla k_2 è in grado di restituire una forza pari a 500 N, considerando un Δl pari a 100 mm.

2.2.3 Simulazione modello CAD

Per verificare la fedeltà del modello e l'ordine di grandezza delle forze scambiate tra il nastro e la scarpa è stata eseguita la simulazione del modello, impostando le seguenti condizioni.

Il mozzo è stato vincolato assialmente ed è un motore per la rotazione del meccanismo.

Per quanto riguarda la simulazione, è stato impostato l'attrito tra la superficie di ciascuna scarpa e il nastro. In seguito sono stati creati i grafici con l'andamento nel tempo della forza di contatto tra ciascuna scarpa e il nastro.



² *Access spring*. Access Spring is a custom and stock spring company specialized on making different types of springs. URL: <https://www.accessspring.com/>

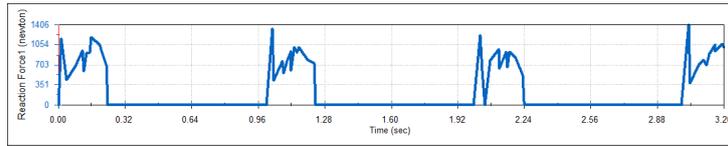


Figura 2.7. contatto nastro - scarpa 1

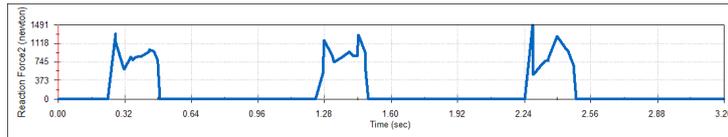


Figura 2.8. contatto nastro - scarpa 2

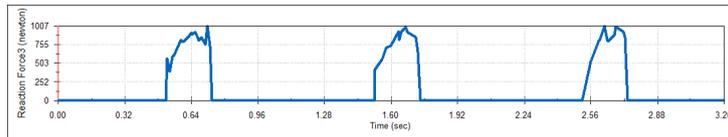


Figura 2.9. contatto nastro - scarpa 3

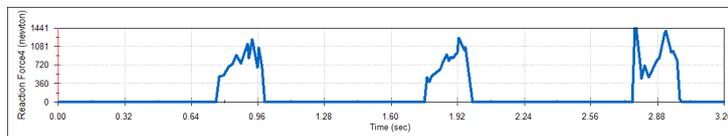


Figura 2.10. contatto nastro - scarpa 4

L'ordine di grandezza della forza è pari ai 10^3 N, ed è in linea con i risultati sperimentali del monitoraggio della corsa degli atleti sui camminatori³⁴.

Questo però avrebbe avuto l'inconveniente nella gestione e nella regolazione delle forze di contatto. Pertanto, è stata studiata una nuova soluzione progettuale, illustrata nel paragrafo successivo.

³Akiko Kondo et al. "Motion and Force Analysis in Load Control Type Treadmill Using Wearable Sensor System". In: *Proceedings* 49.1 (2020). ISSN: 2504-3900. DOI: 10.3390/proceedings2020049014. URL: <https://www.mdpi.com/2504-3900/49/1/14>

⁴Colin R. Firminger et al. "Joint kinematics and ground reaction forces in overground versus treadmill graded running". In: *Gait & Posture* 63 (2018), pp. 109–113. ISSN: 0966-6362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.04.042>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636218304491>

2.3 Modello pneumatico

La soluzione adottata prevede l'impiego di attuatori pneumatici in sostituzione alle molle a compressione. In questo modo è possibile regolare la pressione degli attuatori per simulare diverse condizioni di funzionamento.

Grazie agli attuatori posti nella struttura inferiore è possibile comandare la movimentazione longitudinale e trasversale, in modo tale da testare più punti del piano di scorrimento.

Sull'albero calettato sul mozzo è presente un motore con due funzioni:

- simulare la resistenza della persona al momento dell'impatto con il nastro;
- vincere la resistenza del nastro durante la movimentazione longitudinale.

2.4 Progettazione macchinario

2.4.1 Motore asse rotazione

Per poter simulare più realisticamente l'azione di corsa, si è cercata una soluzione che permettesse lo spostamento longitudinale e trasversale della struttura superiore.

A tale scopo, è stato previsto un ulteriore azionamento sull'asse di rotazione degli attuatori rotanti. Inoltre, tale soluzione avrebbe permesso di vincere la resistenza del nastro durante l'avanzamento longitudinale della struttura.

Per il dimensionamento di massima si è calcolata la coppia in base alla potenza massima del motore (3 kW) che aziona i cilindri di movimentazione del nastro.

$$P = C \omega \quad (2.2)$$

$$\omega = \frac{2v}{D_{avv}} \quad (2.3)$$

Nella (2.3), D_{avv} corrisponde al diametro di avvolgimento pari a 70 mm.

La v corrisponde alla velocità di esercizio. È stato considerato il valore di 36 km/h, pari a 10 m/s. Si calcola quindi il valore di $\omega = 285,7$ rad/s.

La coppia si ricava con la formula inversa:

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{3000}{285,7} = 10,5 \text{ Nm} \quad (2.4)$$

Infine si ricava la forza come segue:

$$F = \frac{2C}{D_{avv}} = \frac{2 \cdot 10,5}{0,07} = 300 \text{ N} \quad (2.5)$$

Pertanto, sarà necessario un motore in grado di vincere questa forza, considerando che essa agisce con un braccio di circa 500 mm.

2.5 Componenti della struttura

Il modello complessivo è raffigurato nelle figure sottostanti. La parte di colore viola corrisponde alla struttura di base già esistente per il modello precedente del camminatoio.

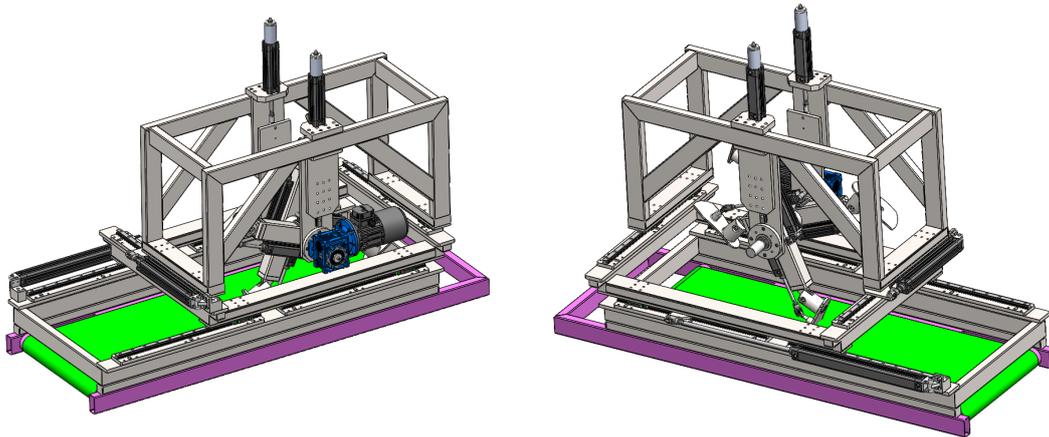


Figura 2.11. Modello complessivo camminatoio

La struttura è composta dai sottoassiemi seguenti:

1. il basamento inferiore
2. il gruppo guida con un pattino
3. la struttura mobile inferiore
4. il gruppo guida con due pattini
5. la struttura mobile superiore
6. il gruppo gambe rotanti
7. il gruppo fulcro

2.5.1 Basamento inferiore

Il basamento inferiore è la parte collegata rigidamente alla struttura di base già esistente.

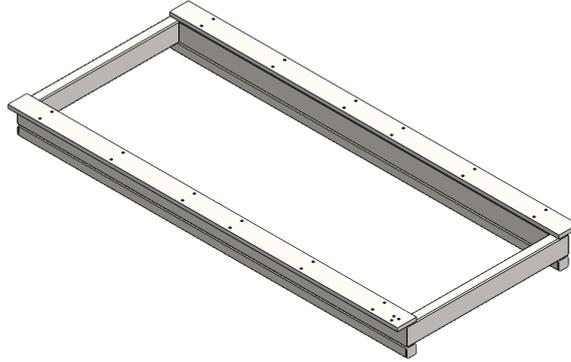


Figura 2.12. Basamento inferiore

È costituito da travi saldate e due piastre longitudinali forate per il collegamento dei gruppi guida con un pattino.

2.5.2 Gruppo guida con un pattino

Il gruppo guida con un pattino è stato progettato per la movimentazione longitudinale della struttura. Sono presenti 4 gruppi guida, disposti in due su ciascun lato lungo del basamento inferiore.



Figura 2.13. Gruppo guida con un pattino

Ciascun gruppo è costituito da una piastra longitudinale forata su cui è fissata una guida profilata (2.14) su cui scorre il carrello a ricircolo di sfere (2.15).

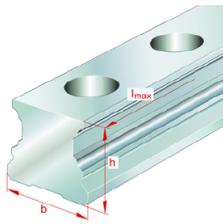


Figura 2.14. Guida profilata

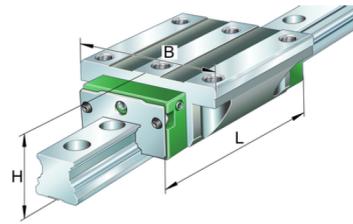


Figura 2.15. Carrello a ricircolo di sfere

La guida permette una movimentazione longitudinale complessiva pari a 500 mm. Questa movimentazione permette di testare più punti del piano di scorrimento. La simulazione risulta più fedele perché in questo modo gli impatti sono distribuiti su un'area più ampia e non in un unico punto del piano.

2.5.3 Struttura mobile inferiore

La struttura mobile inferiore è fissata rigidamente su ciascun carrello dei gruppi guida con un pattino.

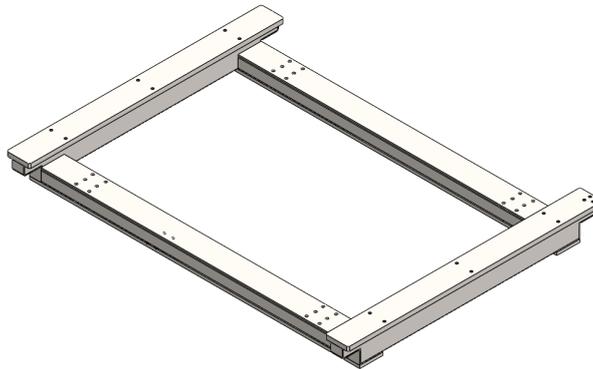


Figura 2.16. Struttura mobile inferiore

Su ciascuno dei due lati trasversali della struttura è presente un gruppo guida con due pattini, per il supporto della struttura mobile superiore.

La movimentazione della struttura avviene grazie a un attuatore pneumatico vincolato in due punti:



Figura 2.17. Attuatore pneumatico struttura inferiore

- un'estremità del basamento inferiore, mediante un blocchetto fissato mediante bulloni (2.18)
- lo stelo del pistone, collegato a una piastra forata solidale alla struttura mobile inferiore (2.19)

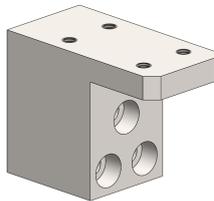


Figura 2.18. Blocchetto per fissaggio

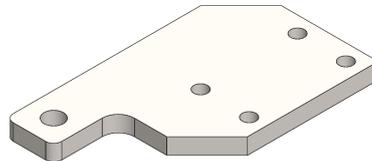


Figura 2.19. Piastra collegata allo stelo

2.5.4 Gruppo guida con due pattini

Il gruppo guida con due pattini è stato progettato per la movimentazione trasversale della struttura.

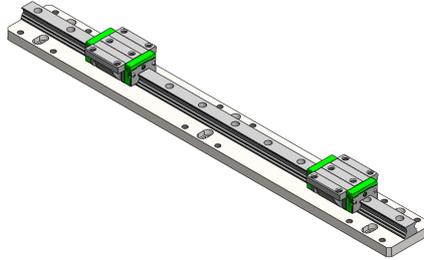


Figura 2.20. Gruppo guida con due pattini

Il gruppo è simile a quello con un pattino, con piastra longitudinale, guida profilata e un singolo carrello a ricircolo di sfere. La corsa disponibile è ampiamente sufficiente alla movimentazione trasversale necessaria a testare il nastro.

2.5.5 Struttura mobile superiore

La struttura mobile superiore è costituita da profili rettangolari con quattro rinforzi obliqui. Si collega ai pattini dei gruppi guida inferiori mediante due barre forate.

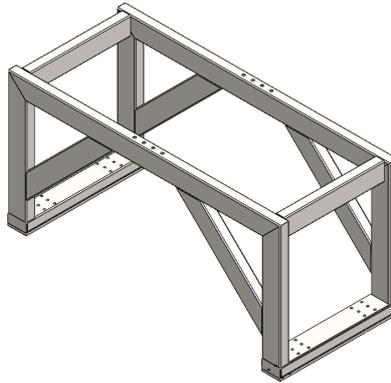


Figura 2.21. Struttura mobile superiore

Per la movimentazione della struttura viene utilizzato un secondo attuatore pneumatico, vincolato come il precedente per mezzo di un blocchetto (bullonato alla struttura inferiore) e alla piastra (fissata alla barra trasversale della struttura mobile superiore).

I due profili longitudinali superiori hanno 4 fori nella parte centrale per il collegamento delle piastre fisse dei pistoni.

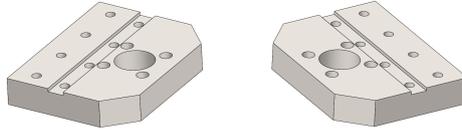


Figura 2.22. Piastre fisse pistoni

I pistoni sono collegati nei quattro fori disposti attorno al foro dal diametro maggiore, il quale serve al passaggio dello stelo del pistone.

Per ridurre l'effetto dell'impatto a "gradino" delle scarpe sul nastro si utilizza un deceleratore idraulico. In questo modo l'impatto risulta più graduale ed è più fedele all'azione reale della corsa.

Il deceleratore è installato su una piastra fissata sulla sommità dei due pistoni verticali. Lo stelo del deceleratore è vincolato a una barra solidale allo stelo dei pistoni.



Figura 2.23. Deceleratore idraulico

I fori nella gola delle piastre fisse (2.22) assicurano il collegamento di ciascuna piastra fissa verticale (2.24).

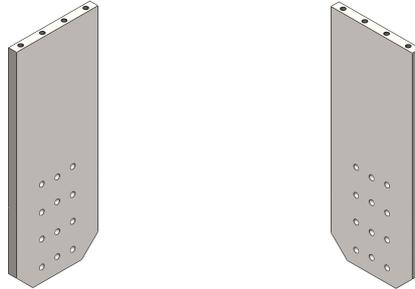


Figura 2.24. Piastre fisse verticali

I 12 fori passanti presenti sulle superfici laterali di ciascuna piastra servono per il fissaggio dei due carrelli che scorrono lungo le guide verticali.



Figura 2.25. Guida verticale con carrelli a ricircolo di sfere

Le due guide sono solidali alle piastre mobili verticali (illustrate in figura 2.26). Sono collegate allo stelo dei pistoni mediante il foro presente nella sommità di ciascuna.

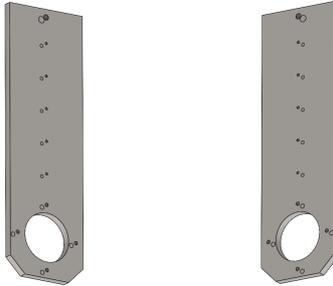


Figura 2.26. Piastre mobili verticali

Il foro dal diametro maggiore nella parte inferiore di ciascuna piastra permette il calettamento dell'albero.

In questo modo, le piastre possono trasmettere la forza dai pistoni al gruppo gambe rotanti.

Il gruppo gambe rotanti, infine, scaricherà la forza sul nastro per mezzo dei piedi.

2.5.6 Gruppo gambe rotanti

Il gruppo gambe rotanti simula l'azione di corsa.

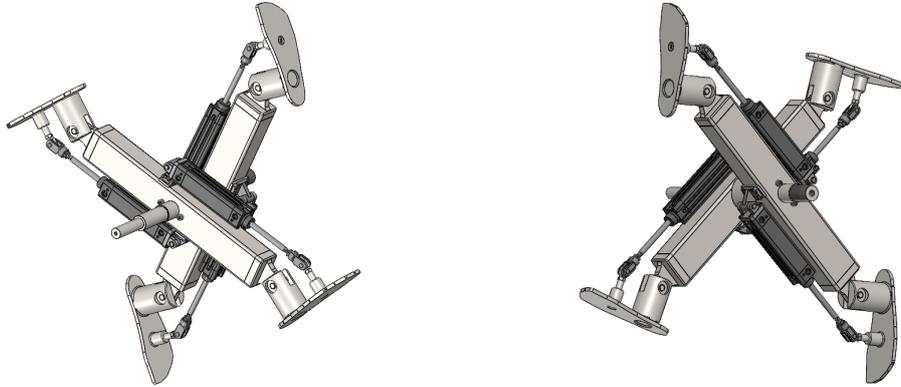


Figura 2.27. Gruppo gambe rotanti

È costituito dai seguenti componenti:

- albero centrale
- due tubolari per il calettamento dell'albero
- quattro attuatori rotanti
- quattro piedi per la calzata delle scarpe
- blocchetti per il fissaggio

Albero centrale

L'albero centrale permette la trasmissione del moto al gruppo gambe rotanti.

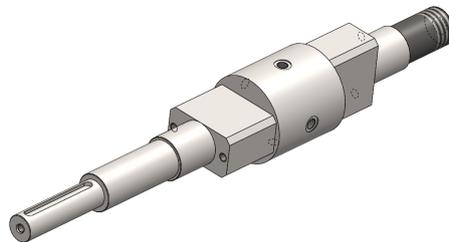


Figura 2.28. Albero centrale

La trasmissione del moto avviene tramite il collegamento a linguetta tra l'albero e il motoriduttore.

L'albero è forato internamente per metà lunghezza per i canali dell'aria compressa, i quali distribuiscono l'aria agli attuatori rotanti. L'albero è solidale con i tubolari, ai quali è fissato mediante collegamenti filettati presenti nelle due sezioni rettangolari.

Vi sono due sedi per il calettamento dei cuscinetti radiali a sfera e l'estremità opposta alla linguetta è accoppiata con un attuttore rotante per l'alimentazione dell'aria.

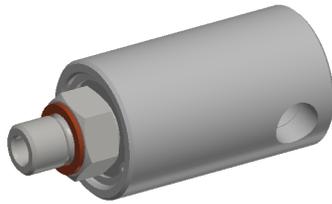


Figura 2.29. Collettore rotante

Verifica linguetta

Per la verifica è necessario verificare che la pressione agente sui lati della linguetta sia inferiore alla pressione ammissibile⁵:

$$p \leq p_{amm} \quad (2.6)$$

Per un contatto acciaio-acciaio, la pressione minima ammissibile è pari a 75 MPa. Sono stati utilizzati i seguenti dati di partenza (caso peggiorativo):

- potenza trasmessa: $P = 1 \text{ kW}$
- velocità lineare del nastro: $v = 5 \text{ m/s}$
- dimensioni linguetta (UNI 6604 A): 8 mm (b) x 5 mm (h) x 80 mm (L)

Si ricava la velocità angolare (considerando un braccio pari a $r = 500 \text{ mm}$):

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{5}{0,500} = 10 \text{ rad/s} \quad (2.7)$$

Dalla potenza si ricava la coppia trasmessa:

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ Nm} \quad (2.8)$$

La forza tangenziale che deve trasmettere la linguetta si ricava con la formula seguente (in cui d corrisponde al diametro dell'albero in corrispondenza della linguetta):

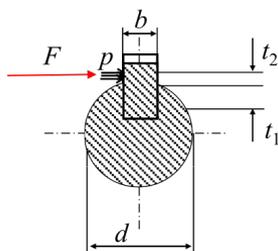


Figura 2.30. Forza agente sul lato della linguetta

$$F = \frac{2 \cdot M_t}{d} = \frac{2 \cdot 100}{0,025} = 8000 \text{ N} \quad (2.9)$$

⁵T. Berruti e E. Brusa. *Collegamenti mozzo-albero. Elementi di costruzione e disegno di macchine*. Politecnico di Torino, 2014-2015.

La pressione sulla linguetta viene valutata con la formula seguente (t_2 corrisponde all'altezza della sezione della linguetta al di fuori della cava, pari a 1,66 mm):

$$p = \frac{F}{L \cdot t_2} = \frac{8000}{80 \cdot 1,66} = 60,24 \text{ MPa} \quad (2.10)$$

La pressione nelle condizioni peggiori di esercizio è inferiore alla pressione ammissibile, perciò risulta verificata la condizione 2.6.

Tubolari

I tubolari sono costituiti da due profili rettangolari con sezione 80 mm x 60 mm, di lunghezza pari a 640 mm, chiusi alle estremità per ottenere l'ancoraggio per lo snodo delle caviglie.

Entrambi i tubolari sono forati al centro per il calettamento dell'albero.

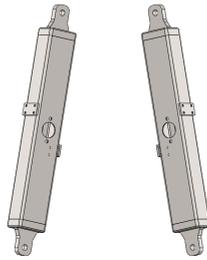


Figura 2.31. Tubolari

Ciascun tubolare è dotato di due piastre forate (su due lati tra loro opposti) per vincolare la testa dei rispettivi attuatori rotanti.

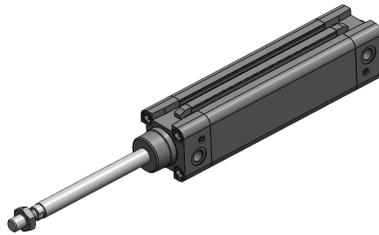


Figura 2.32. Attuatore rotante

Gli attuatori rotanti hanno un alesaggio di 32 mm, una corsa di 100 mm e lavorano con una pressione fino a 10 bar.

Piedi

Ciascun piede è costituito da due laminati metallici su cui sono saldati due blocchetti cilindrici:

- uno simula la funzione della caviglia
- l'altro serve per l'ancoraggio dello stelo dell'attuatore rotante.

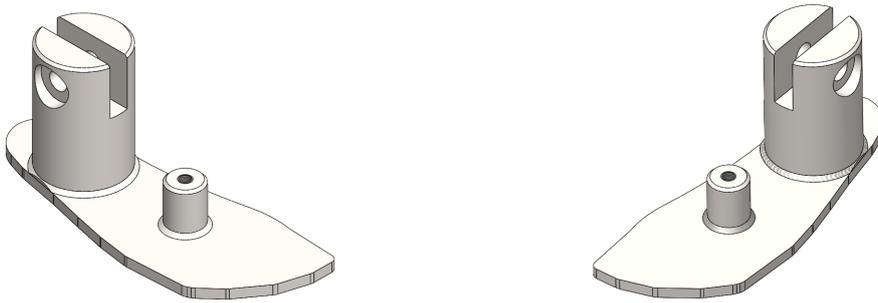


Figura 2.33. Struttura metallica piedi

L'articolazione della caviglia è rappresentata dal collegamento del blocchetto posteriore al tubolare per mezzo di un perno che funziona come fulcro.
Il blocchetto anteriore è collegato rigidamente allo stelo del pistone.

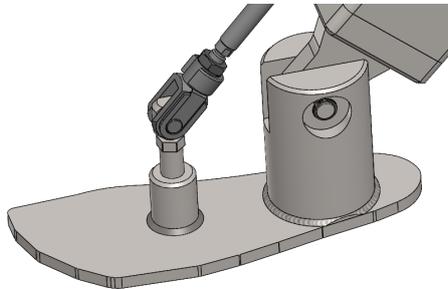


Figura 2.34. Collegamenti del piede

Motore asse tubolari

Il gruppo è azionato da un motore elettrico collegato ad un moto-riduttore a vite senza fine. Il motore ha i seguenti dati di targa:

- Classe di protezione: IP 55
- Potenza nominale: $P_N = 3 \text{ kW}$
- Frequenza di alimentazione: $f_N = 50 \text{ Hz}$
- Numero di giri nominale: $n_N = 1425 \text{ RPM}$
- Tensione di alimentazione V_N : connessione a triangolo Δ 230 V — connessione a stella Y 400 V
- Corrente nominale i_N : connessione a triangolo Δ 10,90 A — connessione a stella Y 6,30 A



Figura 2.35. Motore elettrico con moto-riduttore

2.5.7 Gruppo fulcro

Il gruppo fulcro permette il calettamento dell'albero e dei componenti rotanti.

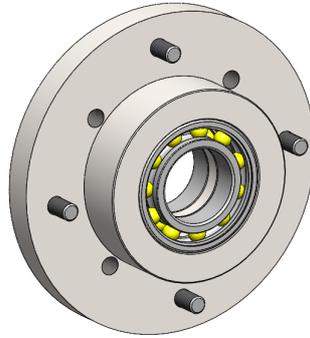


Figura 2.36. Gruppo fulcro

È composto dal mozzo, in cui sono calettati due cuscinetti radiali a sfera separati da due distanziali.

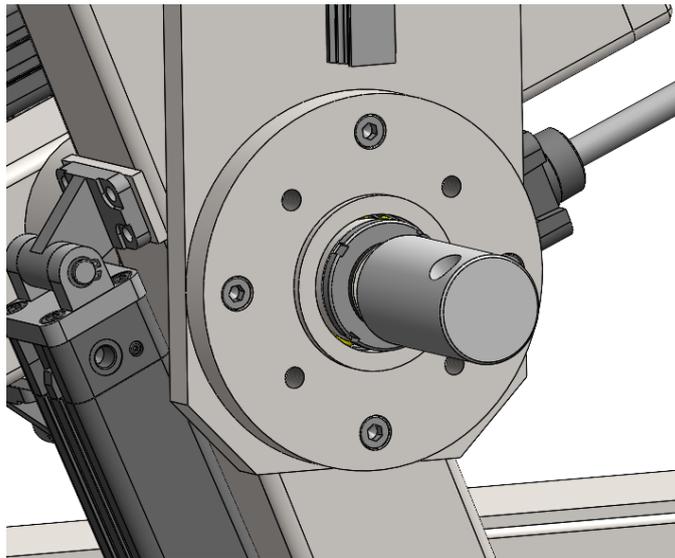


Figura 2.37. Gruppo fulcro nel complessivo

2.6 Piano di scorrimento

Questo componente ha un'importanza decisiva nell'utilizzo del tapis roulant per ciò che riguarda comfort, sicurezza e salute dell'individuo.

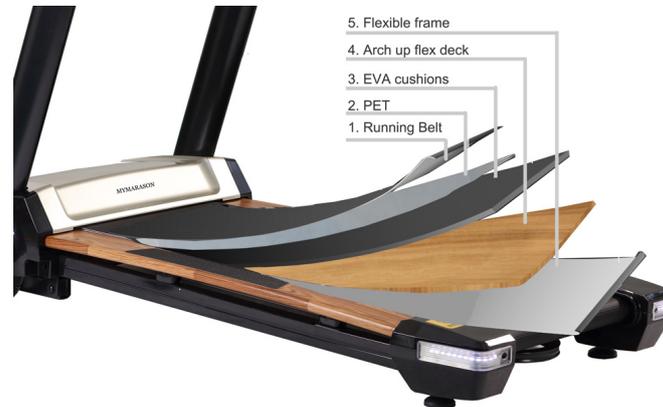


Figura 2.38. Componenti piano di scorrimento

Vi sono due tipologie di piani di scorrimento:

- composto truciolare
- fogli di fibra legnosa sovrapposti

Le pedane più economiche sono realizzate con composti truciolari. Il truciolo è lo scarto delle lavorazioni del legno. Per ottenere la pedana, il truciolo è impastato con materiali leganti e successivamente pressato per ottenere il prodotto finale.

Le pedane ottenute mediante questo sistema sono prive di omogeneità e scarsamente propense ad assorbire e ridistribuire l'impatto durante la corsa. Inoltre, il calore prodotto dallo scorrimento del nastro altera le proprietà dei collanti, con conseguente aumento dell'usura⁶.

Le pedane di gamma più alta presentano invece una struttura multistrato di fogli di fibra legnosa. Gli strati di legno sono incollati tra loro disponendo le fibre in senso alternato per garantire una notevole robustezza grande affidabilità. Permettono di ottenere diversi gradi di cedimento, con un effetto sinergico al sistema

⁶ *Takari Cicli & Fitness*. Takari è un'azienda a conduzione familiare che da 40 anni mette al servizio del cliente la competenza acquisita negli anni nel campo del fitness e del ciclismo. URL: <https://www.takari.it/>

ammortizzante. La pedana quindi partecipa attivamente all'assorbimento dell'impatto, distribuendo su una superficie più ampia possibile la pressione del piede.

Un'altra caratteristica importante è la qualità del rivestimento superficiale, cioè la parte che viene direttamente a contatto con il nastro. Questa deve essere di materiale resistente all'usura, scorrevolissimo, e privo di rugosità.

I piani migliori sono pre-trattati con lubrificanti ad elevato fattore di scivolamento, e prevedono che la tavola sia trattata su entrambi i lati (esaurito uno dei due lati sarà quindi possibile utilizzare l'altro lato, semplicemente capovolgendo il piano di scorrimento).

Piano di scorrimento utilizzato

Per il banco prova è stato scelto un piano di scorrimento composto da fogli di fibra lignosa sovrapposti, per ottenere una simulazione fedele della corsa.



Figura 2.39. Piano di scorrimento del banco prova

Il piano ha dimensioni pari a 1200 mm x 626 mm e ha uno spessore di 27 mm. Per rilevare l'intensità degli impatti della corsa, il piano è equipaggiato con delle celle di carico (2.40) che permettono il monitoraggio in tempo reale della forza agente su di esso.



Figura 2.40. Celle di carico

2.7 Il banco prova

La struttura complessiva è racchiusa in una cabina avente un ingombro pari a 2500 mm (lunghezza) x 1000 mm (profondità) x 1800 mm (altezza).



Figura 2.41. Banco prova complessivo

La cabina permette una buona insonorizzazione in relazione alla rumorosità dovuta all'impatto dei piedi sul nastro.

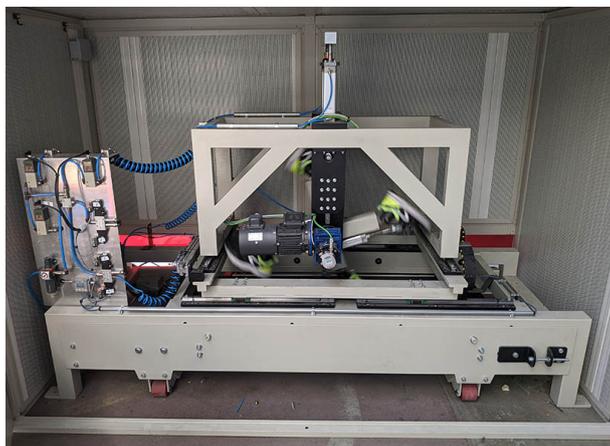


Figura 2.42. Interno cabina banco prova

Nella parte sinistra della cabina sono presenti i sensori del circuito pneumatico per avere un feedback in tempo reale sulla pressione degli attuatori pneumatici.

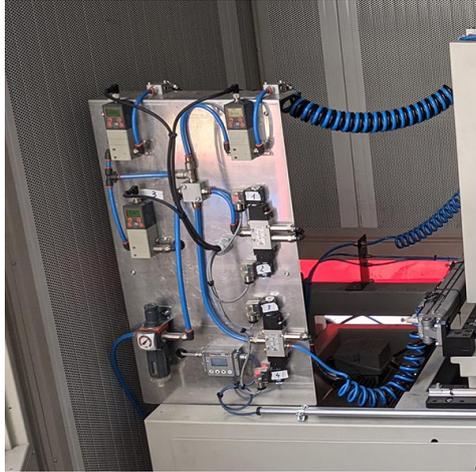


Figura 2.43. Sensori circuito pneumatico

In prossimità del cilindro condotto è presente un sensore per il rilevamento della temperatura del nastro. Il feedback in tempo reale si può leggere sia sul PLC di controllo, sia sul display presente nell'area dei sensori del circuito pneumatico.

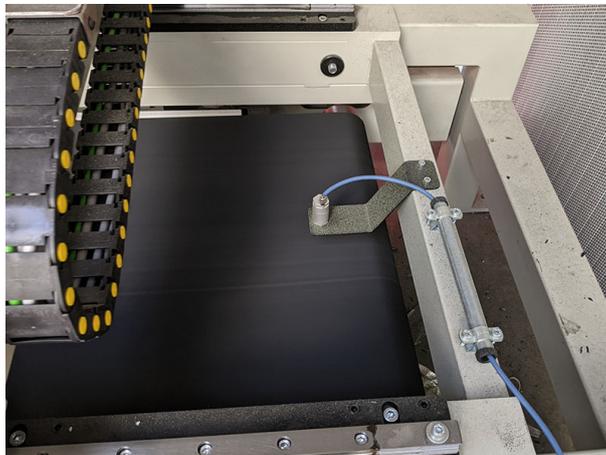


Figura 2.44. Sensore temperatura nastro

2.7.1 PLC di controllo

La struttura è collegata ad un PLC per il comando e il controllo illustrato in figura 2.45.

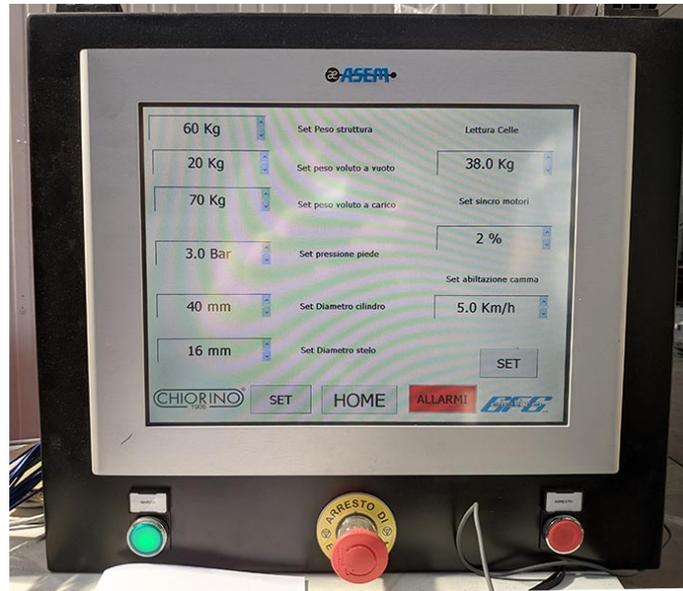


Figura 2.45. PLC di comando del camminatoio

Nel dettaglio, è possibile effettuare le seguenti operazioni:

- regolare la velocità dei motori (del nastro e del gruppo gambe rotanti)
- regolare la traslazione longitudinale e trasversale della struttura tramite la pressione degli attuatori sul basamento
- regolare la pressione dell'aria negli attuatori per l'impostazione del carico sul nastro
- impostare la durata delle prove
- impostare la frequenza di campionamento dei dati

Il PLC consente di estrarre i dati relativi al monitoraggio delle impostazioni mediante l'interfaccia USB type-A.

La schermata del monitoraggio consente di visualizzare i dati in tempo reale relativi ai seguenti parametri:

- assorbimento del motore del gruppo gambe rotanti
- assorbimento del motore del nastro
- temperatura del nastro
- pressione degli attuatori
- velocità del nastro
- distanza percorsa da inizio prova

Per i test sui nastri, è possibile movimentare manualmente la struttura mobile (con il comando dei pistoni) oppure si può impostare un percorso automatico (variabile) per simulare le condizioni di impiego più realistiche.

Tramite il PLC è stato impostato un percorso a “8” per la movimentazione della struttura mobile per far impattare il gruppo gambe rotanti in punti diversi del nastro.



Figura 2.46. Percorso struttura mobile sul nastro

Parte III
Test sui nastri

Capitolo 3

Tipologie di test

Per valutare l'idoneità dei nastri al loro impiego, sarà necessario eseguire i seguenti test:

1. durata
2. assorbimento motore elettrico
3. temperatura del nastro
4. conduttività elettrica
5. potenziale superficiale

Sono stati eseguiti i test relativi ai punti 1, 2 e 3. Le prove condotte sui punti 2 e 3 hanno avuto la durata di 4 ore, successivamente di 8 ore.

Le prove indicate con la lettera A indicano i test della durata di 4 ore, quelli con la lettera B sono relativi ai test di 8 ore.

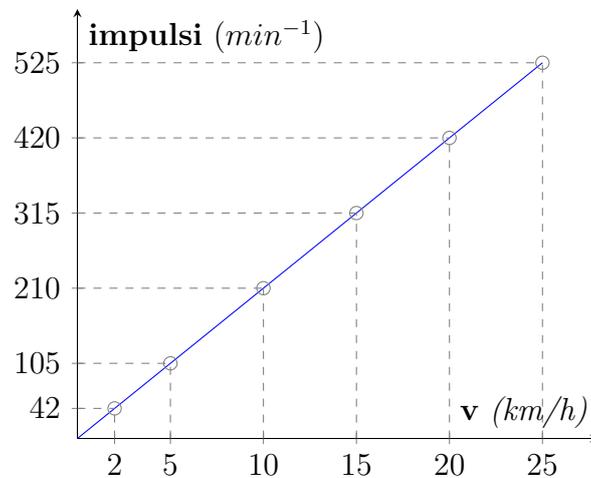
Per i test è stato utilizzato un nastro autolubrificante a due tele con copertura in PVC. Il vantaggio di questo tipo di nastro è dato dall'applicazione di un prodotto lubrificante durante la fase di confezionamento dell'anello chiuso. In tal modo, il nastro non necessita più di lubrificazione durante l'esercizio.

3.1 Durata

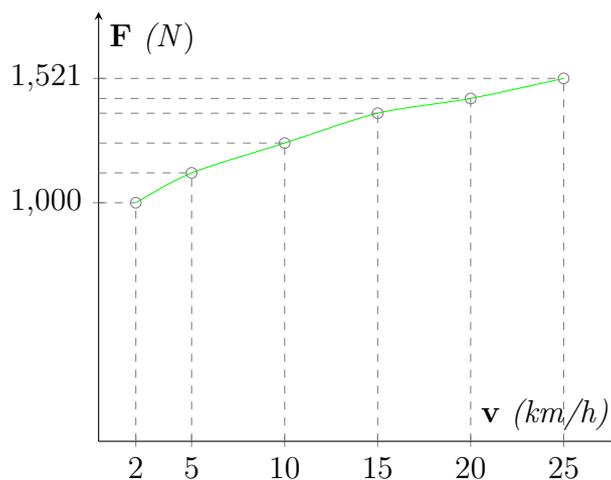
Questo test è necessario per verificare se il nastro continua ad operare in modo corretto durante il funzionamento in continuo. Il nastro dev'essere testato per una distanza percorsa pari a 20 000 km.

Per via delle tempistiche aziendali, è stato possibile testare il nastro per una durata pari a circa 800 km.

Nel grafico seguente sono rappresentati gli impulsi sul nastro in funzione della velocità di esercizio.



Nel grafico seguente è rappresentata la forza d'impatto della velocità di esercizio, con un carico impostato di 75 kg. L'andamento è crescente in funzione della velocità.



Nella tabella seguente sono riportati i valori di velocità, gli impulsi al minuto e la forza d’impatto relativi ai grafici precedenti.

Tabella 3.1. Prove condotte con differenti valori di velocità

velocità <i>(km/h)</i>	impulsi <i>(min⁻¹)</i>	forza <i>(N)</i>
2	42	1000
4	84	1063
5	105	1125
8	168	1187
10	210	1250
12	252	1313
15	315	1375
20	420	1437
25	525	1521

Dalle prove effettuate, il nastro ha mostrato una resistenza eccellente senza alcuna evidenza di usura superficiale, il che lascia sperare in ottimi risultati per le prove future più intensive.

Andamento della forza nel tempo

Il profilo della forza applicata sul nastro (in funzione del tempo) è dato dal grafico seguente.

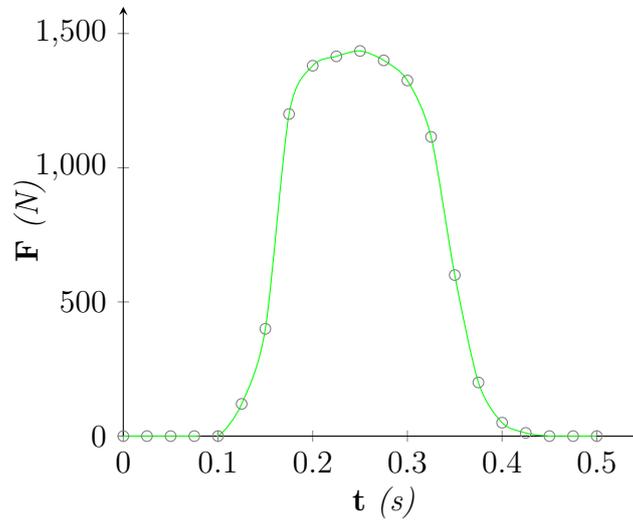


Tabella 3.2. Valori istantanei forza sul nastro

tempo (s)	forza (N)
0	0
0,05	0
0,10	0
0,15	400
0,20	1380
0,25	1435
0,30	1325
0,35	600
0,40	50
0,45	0
0,50	0

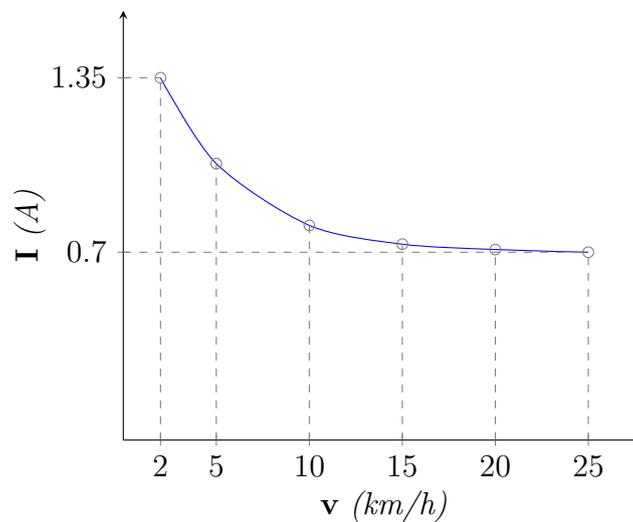
3.2 Assorbimento motore elettrico

Le prove di assorbimento sono condotte in due differenti configurazioni:

- a vuoto: il macchinario è in funzione, non è applicato alcun carico sul nastro
- a carico: viene attivato il gruppo gambe rotanti per la corsa sul nastro

Prova a vuoto

La prova a vuoto è focalizzata sulla verifica delle proprietà flessionali del nastro. In questa configurazione la caratteristica che influenza maggiormente il valore di assorbimento è legato alla flessibilità longitudinale. Dalle analisi di laboratorio il peso specifico (espresso in kg/m^2) dei nastri per camminatoi prodotti dalla CHIORINO e dalla concorrenza sono molto simili e quindi questa differenza è considerata trascurabile.

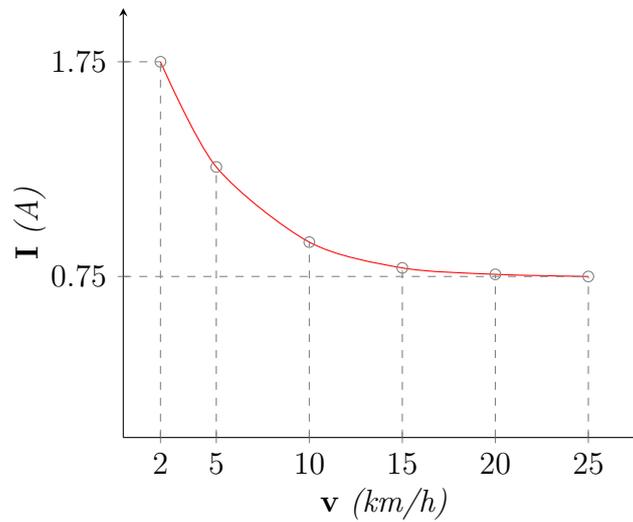


velocità (v)	assorbimento (A)
2	1.35
5	1.03
10	0.80
15	0.73
20	0.71
25	0.70

Il grafico evidenzia come il motore assorba più corrente per bassi regimi di rotazione. Infatti, la curva caratteristica della coppia del motore elettrico è molto bassa a in corrispondenza di velocità ridotte: il motore assorbe molta corrente. Ne consegue anche un rapido surriscaldamento, a scapito della vita del motore e delle proprietà del nastro.

Prova a carico

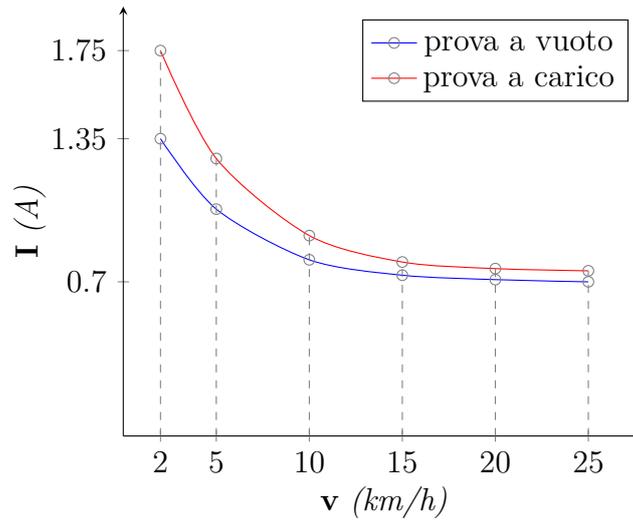
La prova a carico è eseguita in condizioni standard di utilizzo, impostando un carico di 75 kg. Questa prova serve per valutare il comportamento del nastro dal punto di vista dell'attrito con il piano di scorrimento.



velocità (v)	assorbimento (A)
2	1.75
5	1.26
10	0.91
15	0.79
20	0.76
25	0.75

Confronto prove a vuoto - a carico (75 kg)

Si riportano i risultati delle prove di assorbimento in un unico grafico. Come si può osservare, la prova a carico comporta un assorbimento maggiore rispetto alla prova a vuoto, ma solamente di una differenza pari al 25% per valori bassi di velocità e pari al 5% per velocità più elevate.



velocità (v)	prova 1 (A)	prova 2 (A)
2	1.35	1.75
5	1.03	1.26
10	0.80	0.91
15	0.73	0.79
20	0.71	0.76
25	0.70	0.75

Seconda prova a carico

Per avere un termine di confronto, si è condotto un altro test a carico impostando il valore a 90 kg.

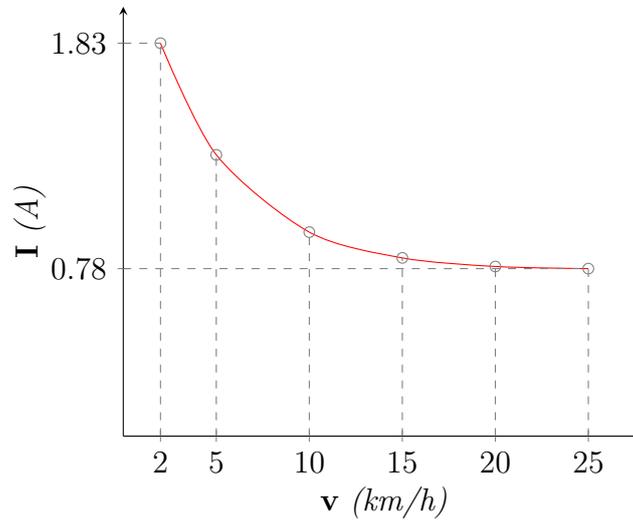
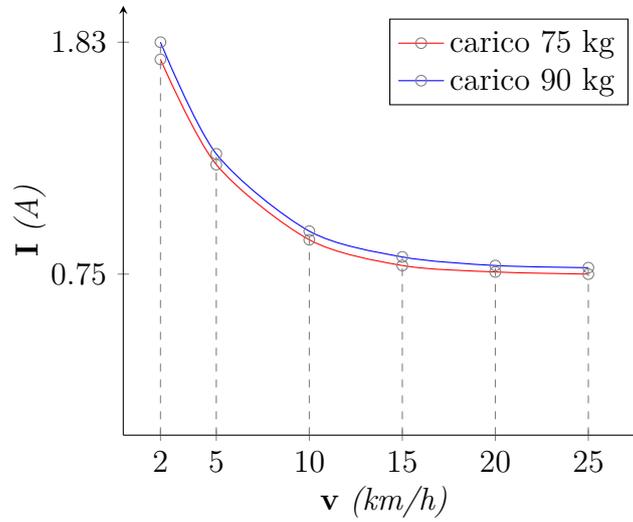


Tabella 3.3. Valori assorbimento per carico di 90 kg

velocità (v)	assorbimento (A)
2	1.83
5	1.31
10	0.95
15	0.83
20	0.79
25	0.78

Confronto prove a carico (75-90 kg)



velocità (v)	prova 75 kg (A)	prova 90 kg (A)
2	1.75	1.83
5	1.26	1.31
10	0.91	0.95
15	0.79	0.83
20	0.76	0.79
25	0.75	0.78

Dal confronto delle prove a carico, l'assorbimento del motore elettrico che aziona il nastro non varia sensibilmente in funzione del carico applicato. Infatti, la variazione dei valori di assorbimento è inferiore al 5%.

3.3 Temperatura del nastro

Il monitoraggio della temperatura è fondamentale per verificare che l'attrito del nastro con il piano di scorrimento non sviluppi calore eccessivo.

In una situazione di attrito oltre un certo valore, si avrebbero conseguenze negative:

- il calore generato causerebbe la degradazione delle proprietà del nastro, aumentandone l'usura;
- il motore consumerebbe più energia per via dell'ulteriore resistenza del nastro.

Sono stati effettuati dei test su più ore di funzionamento.

Il grafico 3.1 rappresenta l'andamento della temperatura in base a 4 ore di funzionamento continuativo con un carico pari a 75 kg e una velocità di 20 km/h (pari alla velocità media del record maschile della maratona).

Il grafico 3.2 rappresenta l'andamento della temperatura in base a 8 ore di funzionamento continuativo, con lo stesso carico di 75 kg e la stessa velocità di 20 km/h.

Tabella 3.4. Parametri del test

test	carico (kg)	velocità (km/h)	tempo funzionamento (h)
1°	75	20	4
2°	75	20	8

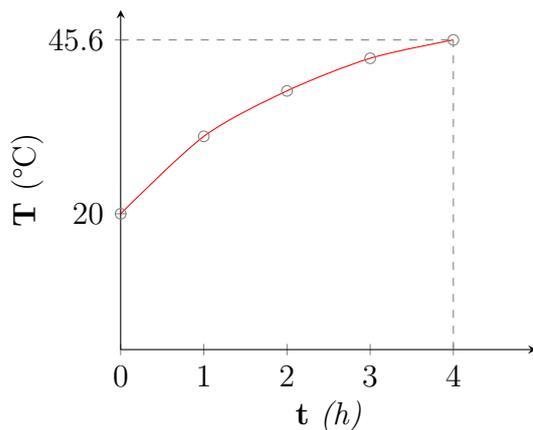


Figura 3.1. 4 ore di funzionamento

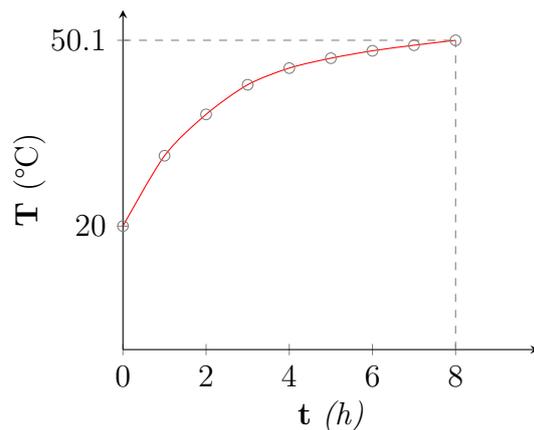


Figura 3.2. 8 ore di funzionamento

Tabella 3.5. Temperatura del nastro per 4 ore di esercizio

cronometro (<i>h</i>)	temperatura (°C)
0	20
1	31.4
2	38.1
3	42.9
4	45.6

Tabella 3.6. Temperatura per 8 ore di esercizio

cronometro (<i>h</i>)	temperatura (°C)
0	20
1	31.4
2	38.1
3	42.9
4	45.6
5	47.2
6	48.4
7	49.3
8	50.1

In entrambi i casi, la temperatura del nastro rimane intorno a 50 °C, valore assolutamente tollerabile per il corretto funzionamento del nastro e del macchinario.

3.4 Conduttività elettrica

La norma ISO 284 specifica quale sia la massima resistenza elettrica ($300\text{ M}\Omega$) di un nastro trasportatore e il corrispondente metodo di misura. Questo test è finalizzato ad assicurare che il nastro sia sufficientemente conduttivo per scaricare le cariche elettriche che si generano durante il suo funzionamento.

Per effettuare il test sono necessarie le seguenti attrezzature:

- due quadrati di nastro dalla lunghezza minima di 300 mm;
- un foglio di materiale isolante sufficientemente grande per ospitare il campione di prova;
- due elettrodi in ottone coassiali (uno cilindrico, l'altro anulare);
- strumento di misura da campo scala tra i 10^5 e 10^{10} Ω con un'accuratezza del $\pm 5\%$;
- sorgente di corrente continua con una tensione tra i 40 e i 1000 V e che non causi una dissipazione di energia superiore ad 1 W nel materiale.

3.5 Potenziale superficiale

Il fatto di non accumulare elettricità statica è fondamentale visto il campo di utilizzo in quanto un eccesso di carica potrebbe causare problemi all'elettronica della struttura.

Ci sono vari metodi per prevenire o disperdere le cariche elettrostatiche. La soluzione migliore è misurare la sorgente, la grandezza e la polarità della carica.

Principio di funzionamento e di misurazione

Il misuratore di campo elettrostatico ad influenza è un amplificatore parametrico. Le cariche indotte dal campo elettrico generano una corrente alternata proporzionale all'intensità di campo. La corrente viene amplificata mediante un amplificatore selettivo, de-modulata in fase e quindi visualizzata, con il risultato che non viene assorbita energia dal campo. Gli elettrodi chopper placcati oro assicurano che non vengano generati potenziali galvanici. Prima di effettuare la prova è necessaria la messa a terra dello strumento, per poter ottenere misure accurate della grandezza e della polarità del campo misurato, ed infine la regolazione del punto zero.

Per misurare l'intensità di campo è necessario esporre il sistema chopper che dovrà essere mantenuto perpendicolare alla superficie da misurare. Durante la prova, la distanza dal nastro deve rimanere costante perché la distanza è integrata nella misura. L'intensità di campo elettrico viene data dallo strumento in kV/m, moltiplicando i kV/m per la distanza in metri si avrà la carica in volt (V) sul nastro.

Il fatto di non accumulare elettricità statica è fondamentale in quanto un eccesso di carica potrebbe causare problemi all'elettronica della struttura. La peculiarità dei nastri prodotti dalla CHIORINO è la polarità della carica statica che si genera: i valori sono tutti negativi. I nastri restano più puliti perché non attirano le particelle di polvere eventualmente presenti nell'ambiente di utilizzo.

3.6 Conclusioni

I test condotti sul nastro hanno avuto esito positivo sotto ogni aspetto.

Dall'analisi complessiva dei test eseguiti sul banco prova si possono trarre le seguenti conclusioni:

- il nastro non ha riportato segni dovuti all'usura superficiale, il che lascia sperare in risultati positivi nelle prove future più intensive (sia per quanto riguarda la durata, sia per il carico applicato);
- la temperatura del nastro è rimasta al di sotto dei 50 °C, questo garantisce che non vi è attrito tra il nastro e il piano di scorrimento. L'attrito in eccesso produrrebbe calore, con conseguente aumento della temperatura del nastro, degradazione delle sue proprietà e porterebbe ad un'usura più rapida e a maggiori consumi elettrici;
- i valori di assorbimento sono in linea con quelli dei tapis roulant disponibili a livello commerciale, perciò il nastro è idoneo ad essere montato su tapis roulant di vario tipo.

In futuro verranno condotti test più estensivi, per verificare la durata fino a 20 000 km. Saranno oggetto dei test sia i nastri CHIORINO, sia quelli della concorrenza.

Ci si aspetta che i nastri prodotti dall'azienda risultino migliori sotto ogni aspetto. CHIORINO S.P.A. potrà così puntare ad allargare la propria posizione sia nel mercato nel fitness, sia nel mercato relativo ad altri settori.

Bibliografia

- [1] *Access spring*. Access Spring is a custom and stock spring company specialized on making different types of springs. URL: <https://www.accessspring.com/>.
- [2] G.F. Del Boca. “Progettazione e realizzazione di una stazione di prova per test comparativi su nastri per camminatoi e relativa attività di monitoraggio”. Politecnico di Torino, CHIORINO S.P.A, mag. 2007.
- [3] CHIORINO. *Catalogo generale. Nastri trasportatori e cinghie di trasmissione*. 2015.
- [4] Colin R. Firminger et al. “Joint kinematics and ground reaction forces in overground versus treadmill graded running”. In: *Gait & Posture* 63 (2018), pp. 109–113. ISSN: 0966-6362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.04.042>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636218304491>.
- [5] Akiko Kondo et al. “Motion and Force Analysis in Load Control Type Treadmill Using Wearable Sensor System”. In: *Proceedings* 49.1 (2020). ISSN: 2504-3900. DOI: 10.3390/proceedings2020049014. URL: <https://www.mdpi.com/2504-3900/49/1/14>.
- [6] T. Berruti e E. Brusa. *Collegamenti mozzo-albero. Elementi di costruzione e disegno di macchine*. Politecnico di Torino, 2014-2015.
- [7] *Takari Cicli & Fitness*. Takari è un’azienda a conduzione familiare che da 40 anni mette al servizio del cliente la competenza acquisita negli anni nel campo del fitness e del ciclismo. URL: <https://www.takari.it/>.
- [8] *Technogym - The Wellness Company*. URL: <http://corporate.technogym.com/>.

Ringraziamenti

Ringrazio la CHIORINO S.P.A. di Biella per avermi ospitato per le attività di tirocinio e di tesi.

È stata un'esperienza fondamentale per arricchire la mia figura professionale. Ho avuto modo di instaurare un ottimo rapporto umano e professionale con tutti i colleghi, e questo mi ha motivato ogni giorno a dare il meglio.

Ringrazio il prof. Carlo Rosso per avermi ascoltato durante il percorso di laurea magistrale e per avermi seguito costruttivamente e consigliato durante la stesura della tesi.