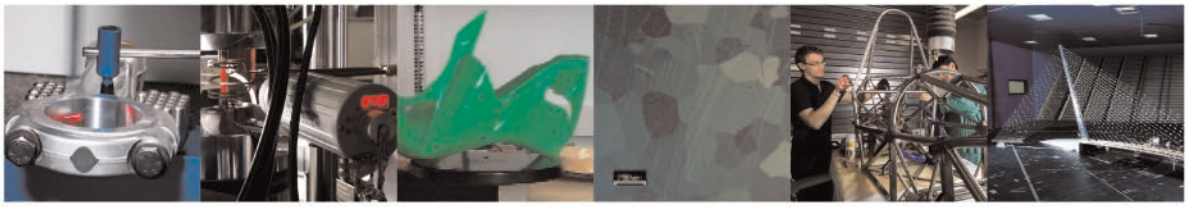
POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI MECCANICA

mecc



Verifica di una carrozzina O wheel® per uso specifico in palestra

Committente: API EDITRICI Srl a Socio Unico

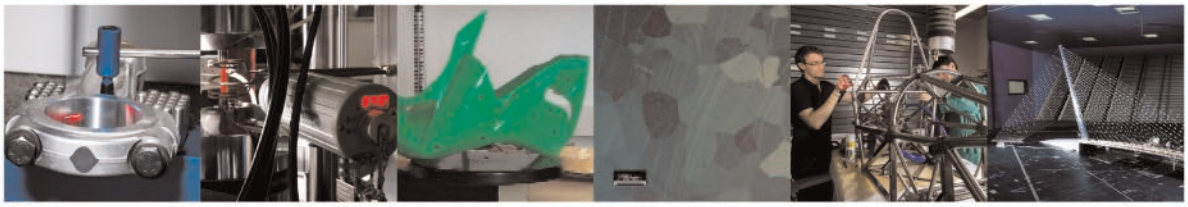
July 2021

POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI MECCANICA ■ POLITECNICO DI MILANO
via G. La Masa, 1 ■ 20156 Milano ■ Tel +39 02 2399 8458 ■ Fax +39 02 2399 8492
http://www.mecc.polimi.it

DIPARTIMENTO DI MECCANICA

mecc



CODICE COMMESSA / REFERENCE:

037/21PC/DMEC

DATA / DATE:

July 2021

TITOLO / TITLE:

Verifica di una carrozzina per uso specifico in palestra

AUTORE /AUTHOR:

Prof. Francesco Braghin
Ing. Stefano Bionda
Prof. Alessandra L.G. Pedrocchi, DEIB
Ing. Eleonora Guanziroli, Centro di Riabilitazione Villa Beretta, Ospedale Valduce

RESPONSABILE / PERSON IN CHARGE:

Prof. Francesco Braghin
Ing. Stefano Bionda

DIRETTORE / HEAD OF DEPARTMENT:

Prof. Marco Bocciolone

NUMERO PAGINE / NUMBER OF PAGES:

12

CONDIZIONI DI RISERVATEZZA / DISCLAIMER:

Sommario

1 Introduzione 5
2 Prova di carico 6
3 Prova di ribaltamento 7
4 Considerazioni sull'usabilità 11
Bibliografia 12

1 Introduzione

Per poter certificare la carrozzina O wheel® sono state effettuate le seguenti prove:

- prova di carico per valutare l'integrità della carrozzina O wheel®;
- prova di ribaltamento per valutare il rischio di ribaltamento della carrozzina O wheel®.

La carrozzina O wheel® in prova è stata fornita dal committente ed è considerata in condizioni nominali (non sono state fornite ulteriori indicazioni da parte del committente).

2 Prova di carico

La prova di carico è stata eseguita posizionando la carrozzina O wheel® al di sotto di un attuatore idraulico MTS 248 dotato di sensore di spostamento interno. Il carico applicato viene misurato direttamente tramite una cella di carico MTS U15 (numero di serie 015567S) posta in serie all'attuatore stesso.

Per meglio distribuire il carico sul sedile della carrozzina O wheel® è stata utilizzata una piastra metallica avente spessore di 20 mm e di dimensioni pressoché uguali a quella del sedile. Per evitare di rovinare il cuscino della seduta, tra la piastra metallica e il cuscino è stata interposta una lamina di gomma dura dello spessore totale di circa 5 mm.

Durante la prova di carico, la carrozzina O wheel® è frenata. Inoltre, essendo il test effettuato in controllo di forza, per evitare che la carrozzina O wheel® scivolasse via, sono stati utilizzati arresti meccanici aggiuntivi su ciascuna ruota.

La frequenza di campionamento è stata impostata pari a 5Hz e la velocità di carico è stata impostata pari a 12 N/s, ovvero è stata eseguita una prova quasi statica. Sono stati considerati sia il carico che lo scarico.

La figura 1 mostra il risultato della prova di carico eseguita.

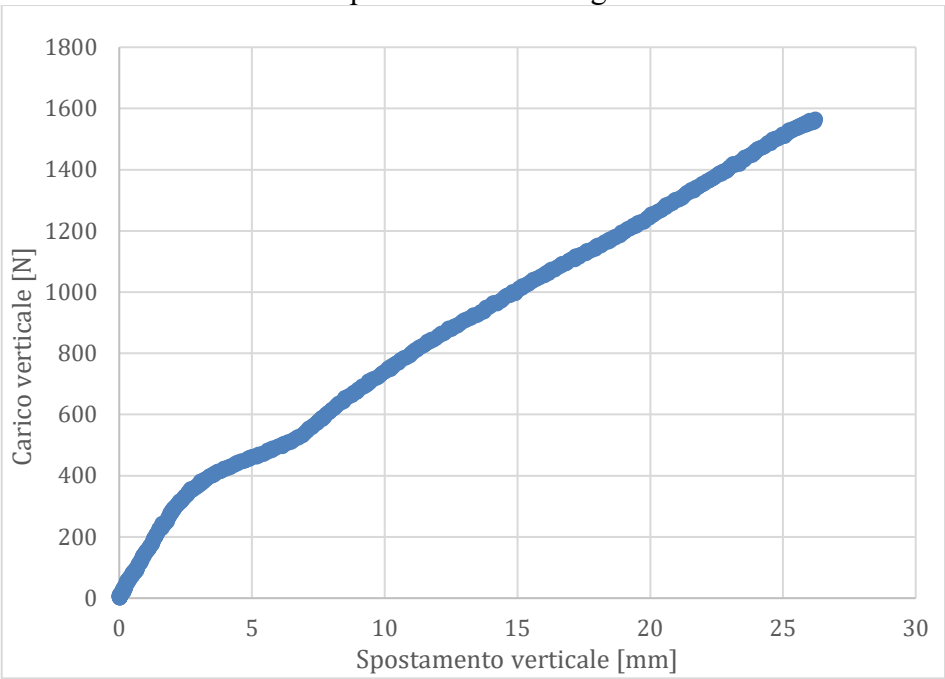


Figura 1 – Prova di carico della carrozzina O wheel® (fase di carico)

Si può chiaramente osservare come la curva di carico sia quasi perfettamente lineare dopo una prima zona di assestamento. Inoltre, non si osserva alcuna variazione (diminuzione) della pendenza al raggiungimento del valore di carico massimo. Ciò evidenzia il fatto che non sono stati osservati danni strutturali fino al carico massimo (quasi 1600 N, ovvero 160 kg di peso).

Un altro risultato che può essere dedotto dalla Figura 1 è che la rigidezza (lineare) misurata è pari a ca. 50 N/mm. Questa rigidità relativamente bassa è associata al fatto che il carico non è stato applicato direttamente alla struttura metallica della carrozzina O wheel® ma sul cuscino morbido.

3 Prova di ribaltamento

La prova di ribaltamento è stata effettuata misurando l'altezza del baricentro della carrozzina O wheel®. A tale proposito la carrozzina O wheel® frenata è stata posizionata su un piano inclinato ed è stato misurato il carico statico sotto le quattro ruote. Quindi, come mostrato in figura 2, attraverso semplici equilibri statici è possibile determinare sia l'altezza che la posizione in piano del baricentro della carrozzina O wheel®.

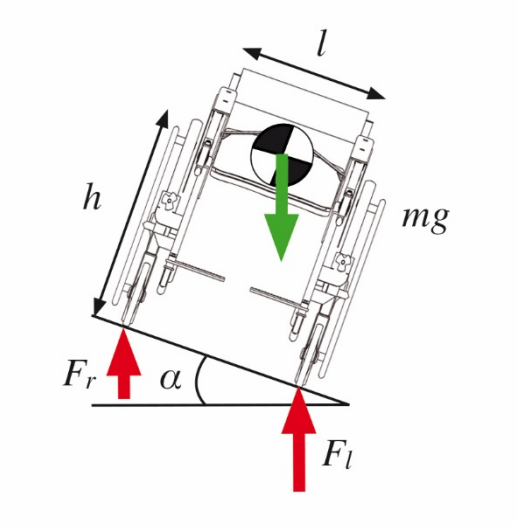


Figura 2 – vista frontale: schema della carrozzina O wheel® nel quale sono evidenziate le forze statiche a terra e le dimensioni caratteristiche più significative

Assumendo la simmetria nella direzione laterale e conoscendo l'angolo di inclinazione del piano inclinato nonché la carreggiata l della carrozzina O wheel®, è possibile determinare l'altezza del baricentro attraverso l'equilibrio alla rotazione, ossia attraverso la seguente equazione

$$h = \frac{mg\frac{l}{2}cos\alpha - F_r l cos\alpha}{mgsin\alpha}$$

dove m è la massa della carrozzina O wheel®, g è l'accelerazione gravitazionale, e il prodotto mg è uguale a $F_r + F_l$ (ottenuto dall'equilibrio verticale). Quindi, una volta misurati F_r e F_l (F_r è la somma dei due carichi sotto le ruote di destra mentre F_l è la somma dei due carichi sotto le ruote di sinistra), si può determinare l'altezza del baricentro della carrozzina O wheel®. Nel nostro caso l'altezza è pari a 449,3 mm da terra (a vuoto). Lo stesso valore è stato determinato considerando due diversi angoli di inclinazione, ovvero $\alpha = 5°$ e $\alpha = 10°$.

Per valutare il rischio di ribaltamento occorre determinare anche la posizione longitudinale del baricentro. Conoscendo il passo b, si può facilmente determinare la posizione longitudinale del baricentro posizionando la carrozzina O wheel® su un terreno piano e misurando il carico F_f sotto le ruote anteriori e il carico F_b sotto le ruote posteriori (figura 3).

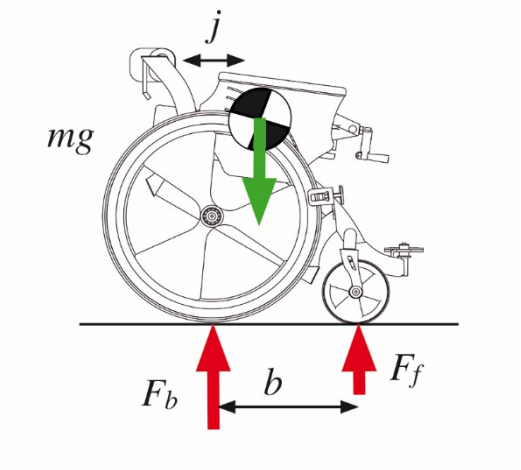


Figura 3 – vista laterale: schema della carrozzina O wheel® nel quale sono evidenziate le forze statiche a terra e le dimensioni caratteristiche più significative

Infatti, attraverso un equilibrio alla rotazione è possibile calcolare la posizione j del baricentro rispetto al piano di mezzeria delle ruote posteriori:

$$j = \frac{(mg - F_b)b}{mg}$$

Per la carrozzina O wheel® in esame j è risultato pari a 92,8 mm.

Ora, supponendo che l'altezza n del baricentro dell'utilizzatore sia 300 mm sopra il cuscino (ipotesi conservativa) e 50 mm davanti allo schienale (k), possiamo effettuare l'analisi del ribaltamento.

Consideriamo dapprima il ribaltamento in direzione laterale. La Figura 4 riassume tutte le grandezze rilevanti per l'analisi del ribaltamento.

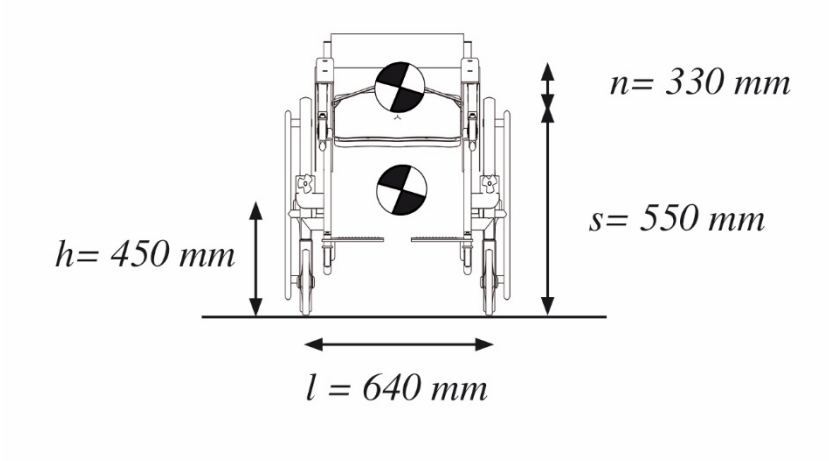


Figura 5 – vista laterale: dimensioni rilevanti per l'analisi di ribaltamento

La condizione limite per il ribaltamento si verifica quando il carico su una delle ruote si riduce a zero. Attraverso semplici calcoli si ottiene che la forza d'inerzia laterale che permette di raggiungere tale condizione limite di ribaltamento è pari a:

$$Ma_{lateral} = \frac{(M+m)g\frac{l}{2}}{s+n}$$

dove M è la massa dell'utilizzatore e s è l'altezza del cuscino. La tabella 1 riassume le accelerazioni laterali massime consentite per diverse masse di utenti.

Massa dell'utilizzatore [kg]	Massima accelerazione laterale consentita [m/s^2]
70 kg	7.67
80 kg	7.17
90 kg	6.79
100 kg	6.48
110 kg	6.22
120 kg	6.01

Tabella 1 – accelerazioni laterali massime consentite

Consideriamo ora il ribaltamento in direzione longitudinale. La Figura 5 riassume tutte le grandezze rilevanti per l'analisi del ribaltamento.

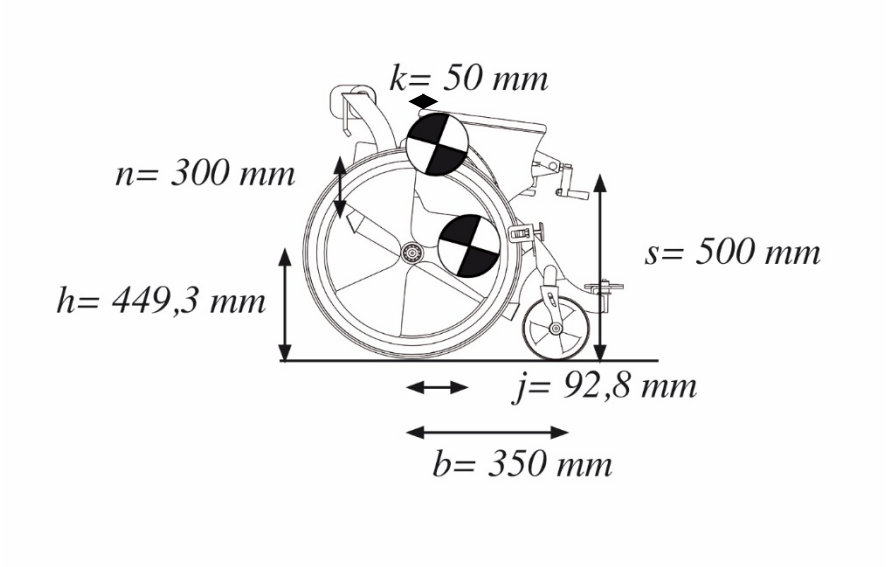


Figura 5 – vista laterale: dimensioni rilevanti per l'analisi di ribaltamento

La condizione limite per il ribaltamento si verifica quando il carico su una delle ruote si riduce a zero. Attraverso semplici calcoli si ottiene che la forza di inerzia longitudinale in direzione di avanzamento che permette di raggiungere tale condizione limite di ribaltamento è pari a:

$$Ma_{forward} = \frac{Mg(b-k)+mg(b-j)}{s+n}$$

mentre la forza di inerzia longitudinale in direzione opposta che permette di raggiungere la condizione limite di ribaltamento è pari a:

$$Ma_{backward} = \frac{Mgk+mgj}{s+n}$$

La tabella 2 riassume le accelerazioni longitudinali in avanti e all'indietro massime consentite per diverse masse di utenti.

Massa dell'utilizzatore [kg]	Massima accelerazione longitudinale consentita nella direzione di avanzamento [m/s^2]	Massima accelerazione longitudinale consentita nella direzione di arretramento [m/s^2]
70 kg	6.66	1.73
80 kg	6.26	1.59
90 kg	5.95	1.47
100 kg	5.70	1.38
110 kg	5.50	1.31
120 kg	5.33	1.25

Tabella 2 – accelerazioni longitudinali massime consentite in direzione di avanzamento e di arretramento

Poiché è improbabile che vengano misurate le accelerazioni longitudinali e laterali massime che l'utente effettuerà sulla carrozzina O wheel®, è opportuno considerare un sistema di ritenuta che impedisca il ribaltamento.

4 Considerazioni sull'usabilità

In relazione alla usabilità e sicurezza di uso, il prototipo di O-Wheel è stato analizzato dalla prof.ssa Alessandra L. G. Pedrocchi del DEIB e dall'ing. Eleonora Guanziroli del Centro di Neuroriabilitazione Villa Beretta dell'Ospedale Valduce il giorno 26 Agosto 2021 presso il Centro di Riabilitazione Villa Beretta in presenza del sig. Salgaro.

A valle delle verifiche effettuate, si delineano le seguenti indicazioni per un utilizzo sicuro dello strumento O-Wheel da parte di una persona con disabilità durante esercizio fisico.

1) Ogni soggetto con disabilità che intenda utilizzare O-Wheel deve avere una certificazione firmata da un medico che identifichi l'opportunità di utilizzo in sicurezza del dispositivo e anche la tipologia di allenamento adeguato (esercizi, livello di carichi, eventuali macchinari utilizzati)

2) L'utilizzo da parte di una persona con disabilità deve essere in ogni caso svolto sotto sorveglianza di una persona esperta di terapia fisica adattata e che ha svolto un training specifico sul dispositivo. Tale persona deve essere presente nel centro durante l'utilizzo.

3) Una mancanza di controllo del tronco e la presenza di lesioni cutanee da decubito nelle zone di interfaccia sono elementi clinici di esclusione dall'uso del dispositivo.

4) L'utilizzo del dispositivo, accoppiato con un eventuale cuscino da decubito con valore preventivo, può essere previsto, stante un opportuno sistema di fissaggio che eviti lo scivolamento del cuscino aggiuntivo durante gli esercizi. Tale cuscino non è incluso nel prototipo attuale.

Bibliografia

[1] Nicolò Bachschmid, Stefano Bruni, Andrea Collina, Bruno Pizzigoni, Ferruccio Resta, Alberto Zasso – FONDAMENTI DI MECCANICA TEORICA E APPLICATA, McGraw-Hill Education, 2015